

fizikai szemle

The background of the entire page is a deep space photograph. It features a prominent, elongated, and somewhat twisted structure of glowing gas, primarily in shades of red and orange, which appears to be a nebula or a star-forming region. This structure is set against a dark, almost black background that is densely populated with numerous small, bright blue and white stars. Some of these stars exhibit prominent diffraction spikes, giving them a starburst appearance. The overall color palette is dominated by the cool blues and greens of the star field, contrasted with the warm, fiery tones of the central nebula.

2013/7–8

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

Főszerkesztő:

Szatmáry Zoltán

Szerkesztőbizottság:

Bencze Gyula, Czitrovsky Aladár,
Faigel Gyula, Gyulai József,
Horváth Gábor, Horváth Dezső,
Iglói Ferenc, Kiss Ádám, Lendvai János,
Németh Judit, Ormos Pál, Papp Katalin,
Simon Péter, Sükösd Csaba,
Szabados László, Szabó Gábor,
Trócsányi Zoltán, Turiné Frank Zsuzsa,
Ujvári Sándor

Szerkesztő:

Füstöss László

Műszaki szerkesztő:

Kármán Tamás

A folyóirat e-mail címe:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba zánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>



A címlapon:

A gyorsan mozgó zéta Ophiuchi
óriáscsillag szele által keltett
lökéshullám a csillagot beágyazó
intersztelláris anyagban. A felvételt a
Spitzer űrteleszkóppal készítették
(forrás: NASA/JPL-Caltech).
Sok más új keletű kép és számos
információ található e számunk
tanároknak szóló, Van új a Föld felett
című csillagászati mellékletében,
valamint annak az interneten elérhető
bővített változatában.

TARTALOM

Szabó Róbert, Szabó M. Gyula: Kepler-bolygók kavalkádja	217
Serényi Miklós, Csik Attila: Hidrogéntartalmú amorf szilícium/germánium multiréteg strukturális stabilitása – II. rész	222
Egri Ádám, Horváth Gábor: Gömbhibamentes egy- és kétfókuszúság: a trilobitalencsék magjának optikai szerepe – I. rész	226
Kertész Krisztián, Piszter Gábor, Vértessy Zofia, Biró László Péter, Bálint Zolt: Színek harmóniája: a boglárkalepkek szerkezeti kék színének fajfelismerési szerepe – I. rész	231
Hágen András: Az erdélyi iguanodon nyomfossziliából becsült mozgássebessége	234
Wirth Lajos: Kétszázötven éves a newtoni fizika hazánkban – Kerekgedei Makó Pál pályaképe	237
A. Szála Erzsébet: Szily Kálmán emlékezete	242
A FIZIKA TANÍTÁSA	
Egri Sándor, Máth János: Fizikatanítás: mit, hogyan, kinek?	244
Stonauksi Tamás: A követési távolság fizikája	248
Csörgő Tamás: Hogyan csinálhatunk kvarkanyagból Higgs-bozont? – II. rész	252
Nagy Mária, Radnóti Katalin: Problémamegoldás a Boltzmann-eloszlás témakörében	257
Radnóti Katalin: XVI. Szilárd Leó Nukleáris Tanulmányi Verseny – 1. rész	261
Baranyai Klára: Olvadó jéghegyek, melegedő tengerek A legnagyobb citromerőmű	267
VÉLEMÉNYEK	
Válas György: A klímaváltozásokról	270
Kérdés válasz nélkül (Trócsányi Zoltán, Horváth Dezső)	276
KÖNYVESPOLC	
HÍREK – ESEMÉNYEK	
R. Szabó, M. J. Szabó: Kepler planets discovered by the dozen	
M. Serényi, A. Csik: The structural stability of a multilayer system of amorphous silicon/germanium paired elements – part II	
Á. Egri, G. Horváth: Spherically corrected monofocality or bifocality: optical functions of the central core in lenses of trilobite eyes – part I	
K. Kertész, G. Piszter, Z. Vértessy, L. P. Biró, Zs. Bálint: The well-tuned blue: the role of structural colours as optical signals in species recognition of a local butterfly fauna – part I	
A. Hágen: The estimation of dinosaur velocities based on the analysis of their footprints	
L. Wirth: Two and a half centuries ago: Newton's physics presented in Hungary by P. Makó	
E. A. Szála: Remembrance K. Szily	
TEACHING PHYSICS	
S. Egri, J. Máth: Teaching physics: what, how, to whom?	
T. Stonauski: The physics of safety gaps	
T. Csörgő: How to "make" a Higgs-boson using quark matter – part II	
M. Nagy, K. Radnóti: The solving of Boltzmann distribution problems	
K. Radnóti: Report on the XVI. Leo Szilárd Contest in nuclear physics – part I	
K. Baranyai: Melting icebergs, warmer oceans The biggest lemon power station	
OPINIONS	
G. Válas: On climate changes Question without answer (Z. Trócsányi, D. Horváth)	
BOOKS, EVENTS	
R. Szabó, M. J. Szabó: Kepler-Planeten zu Dutzenden entdeckt	
M. Serényi, A. Csik: Die strukturelle Stabilität eines Vielplattensystems aus Elementen mit den zwei Schichten amorphes Si und Ge – Teil II.	
Á. Egri, G. Horváth: Abbildung mit einfachen und doppelten Brennweiten ohne sphärische Verzerrungen: ein Ergebnis spezieller Linsen bei Trilobiten – Teil I.	
K. Kertész, G. Piszter, Z. Vértessy, L. P. Biró, Zs. Bálint: Harmonie der Farben: die Rolle des strukturell bestimmten Blaus als optischem Signal zur Erkennung der arteigenen Schmetterlinge – Teil I.	
A. Hágen: Die Abschätzung der Geschwindigkeit von Dinosauriern aufgrund ihrer Tretpuren	
L. Wirth: Vor zweihundertfünfzig Jahren: die newtonsche Physik in Ungarn, dargestellt von P. Makó	
E. A. Szála: Erinnerungen an K. Szily	
PHYSIKUNTERRICHT	
S. Egri, J. Máth: Physikunterricht: was, wie, für wen?	
T. Stonauski: Die Physik der sicheren Folgeabstands	
T. Csörgő: Wie man ein Higgs-Boson aus Quarkmaterial erhält – Teil II.	
M. Nagy, K. Radnóti: Die Lösung von Aufgaben über Boltzmann-Verteilungen	
K. Radnóti: Bericht über den XVI. Leo-Szilárd-Wettbewerb in Kernphysik – Teil I.	
K. Baranyai: Schmelzende Eisberge, wärmere Meere Das größte Zitronen-Kraftwerk	
MEINUNGSÄUSSERUNGEN	
G. Válas: Über Klimaänderungen Frage ohne Antwort (Z. Trócsányi, D. Horváth)	
BÜCHER, EREIGNISSE	

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

Fizikai Szemle
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:



Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

A Matematikai és Természettudományi Értesítőt az Akadémia 1882-ben indította
A Matematikai és Fizikai Lapokat Eötvös Loránd 1891-ben alapította

LXIII. évfolyam

7–8. szám

2013. július–augusztus

KEPLER-BOLYGÓK KAVALKÁDJA

Szabó Róbert¹, Szabó M. Gyula^{1,2}

¹MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont
Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézete

²ELTE Gothard Asztrofizikai Observatórium, Szombathely

Meghosszabbított küldetés

Napjainkban csendes forradalom zajlik, amiről a szakembereken és néhány lelkes tudományos emberen kívül keveseknek van tudomása. A NASA Kepler-űrtávcsöve – amelynek elsődleges feladata a Földhöz hasonló, lakható bolygók keresése Nap-szerű csillagok körül – ugyanis olyan hatalmas számú bolygójelöltet és bolygórendszert fedezett fel eddigi négyéves működése alatt, hogy abból már pontos statisztikai vizsgálatok végezhetőek, és szemünk előtt tárul fel Földünk és Naprendszerünk helye a többi bolygórendszer között. Ez a szerep azonban egyre kevésbé kitüntetett. A kopernikuszi forradalom egyenes folytatásaként is aposztrofálható folyamat úgy indult jó fél évezrede, hogy gondolkodásunkban a Földünk kikerült a Világmindenség középpontjából. Miután bebizonyosodott, hogy a bolygók a Nap körül keringenek, ugyanez történt központi csillagunkkal is. A folyamat annak felismerésével folytatódott, hogy Napunk is csak egy átlagos csillag galaxisunk peremvidékén, és hogy galaxisból is sok milliárdnyi van.

A Naprendszeren kívül Naphoz hasonló csillag körüli bolygókról azonban 1995-ig nem volt tudomásunk. Azóta sokféle módszerrel mintegy 900 megerősített exobolygóról (Naprendszeren kívüli planétáról) tud az emberiség. A NASA Kepler-űrtávcsövének 2009-es felbocsátása óta egymaga több mint 2700 bolygójelöltet talált, ráadásul ezek felét többes rendszerekben. Megkezdődhetett tehát a naprendszerek és annak a kérdésnek a vizsgálata, hogy milyen gyakoriak a Földek a különböző típusú csillagok körül. A forradalmi eszköz fotometriai módszerrel keresi a lakhatósági zónában keringő Föld-szerű exobolygókat. Apró elhalványodásokra vadászik a megfigyelt

mintegy 150 ezer csillag fényében, amelyeket bolygók elhaladása (tranzitja) okoz a csillag korongja előtt.

A sikeres működés fényében nem meglepő, hogy a NASA meghosszabbította a Kepler-űrtávcső működését. A Kepler már eddig is egyedülálló eredményeket szolgáltatott a bolygók gyakoriságáról, méret- és pályaeloszlásáról, valamint az exobolygórendszerek felépítéséről, különösképpen a Föld-méretű és annál kisebb, valamint a kettőscsillagok körül keringő planéták tekintetében. A Kepler által felfedezett, több fedési bolygót tartalmazó rendszerek teljes mértékben átformálták tudásunkat ezen a területen. A meghosszabbított misszió alatt ugrásszerűen fog nőni a felfedezett Föld-szerű bolygók száma a hosszú keringési periódusú bolygók felfedezési lehetőségének és a folyamatosan megújított keresési módszereknek köszönhetően. Ez már önmagában is erős érv a program kiterjesztésére. Az indokláshoz nem felejtették el hozzátenni azt sem, hogy a Kepler a csillagok fényváltozásának vizsgálatát szintén forradalmasította, ami a csillagok működésének és belső szerkezetének jobb megértéséhez vezet. Példaként azt a váratlan eredményt említik, hogy csillagszeizmológiai módszerekkel megkülönböztethetőek a kívülről azonosnak tűnő, hidrogént egy mag körüli héjban égető, illetve a magjukban már héliumot égető vörös óriáscsillagok. Erre mai tudásunk szerint más módszer nem képes. De a hét-nyolc évet lefedő jövőbeli Kepler-fénygörbék utolérhetetlen potenciált jelentenek a kettőscsillagok fizikájának megértéséhez, a csillagok mágneses ciklusainak csillagszeizmológia révén történő tanulmányozásához, vagy éppen az RR Lyrae csillagok modulációja: az évszázados rejtélyt jelentő Blazskó-effektus megfejtéséhez is.

Ezenkívül valószínűleg az is hozzájárult a döntéshez, hogy a Nap típusú csillagokban megfigyelhető, főként a mágneses térrel összefüggő aktivitásból származó zaj nagyságát egyharmadával alábecsülték. Ez a kis zaj csak az ultrapontos Kepler-űrtávcsővel mérhe-

A magyar Kepler-csoport munkáját az MTA Lendület és Bolyai Ösztöndíj programja, az OTKA K83790, a MAG Zrt. HUMAN MB08C 81013 és a KTIA URKUT_10-1-2011-0019 sz. pályázatai támogatják.

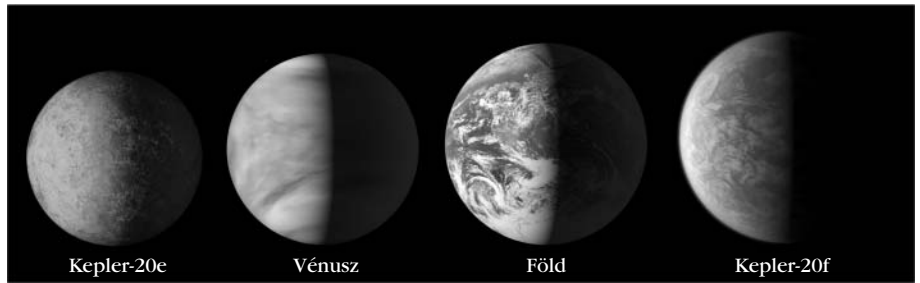
tő, de jelenléte fontos szerepet játszik a bolygók által okozott parányi elhalványodások kimutatásában. Ron Gilliland (Space Telescope Science Institute, Greenbelt, MD, USA) és munkatársai alaposan megvizsgálva a problémát paradox módon azt találták, hogy aktivitását tekintve Napunk nem egy átlagos, „Nap típusú” csillag (ebből indultak ki a Kepler tervezésekor), hanem a „csendes kisebbséghez” tartozik, míg a hasonló csillagok többsége átlagosan aktívabb a Napnál. Azért tehát, hogy az eredeti célkitűzés megvalósulhasson, vagyis a lakható földek gyakoriságát megbecsüljék, a fedési exobolygókat tartalmazó rendszerekben a tervezettnél több tranzitot kell megfigyelni, hogy a cél eléréséhez szükséges jel/zaj arány elérhető legyen.

Cikkünkben az exobolygókkal kapcsolatos fontosabb eredményekből válogattunk, amelyek a forradalmi űreszköz névleges, 3,5 éves működése során születtek, és amelyek küldetésének meghosszabbításához vezettek.

A méret a lényeg!

Minthogy a Kepler elsődleges célja a Föld típusú bolygók felfedezése a lakhatósági zónában, nagy lépés az ezer fényévre található Kepler-20 rendszer felfedezése. Az összesen öt ismert bolygót tartalmazó rendszerben, amelyben mind az öt mutat fedéseket, két olyan planéta is kering, amelyek méretben nagyon hasonlítanak a Földhöz (1. ábra). Az új égitestek valószínűleg kőzetbolygók. A Kepler-20e alig kisebb, mint a Vénusz, 0,87 földátmérő a mérete, míg a Kepler-20f valamivel nagyobb a Földnél, 1,03 földátmérőjű. A Kepler-20e 6,1 földi nap alatt, a Kepler-20f pedig 19,6 földi nap alatt kerüli meg a központi csillagot. A Kepler-20f felszínén 430 °C a hőmérséklet, a Kepler-20e-n pedig több mint 760 °C.

A Kepler-20 rendszerében három másik bolygó is található, amelyek nagyobbak a Földnél, de a Neptunusznál kisebbek. A Kepler-20b a legközelebbi bolygó, a Kepler-20c a harmadik, a Kepler-20d pedig az ötödik a sorban. Keringési idejük 3,7, 10,9 és 77,6 nap. A mi Naprendszerünkkel összehasonlítva mind az öt bolygó a Merkúr pályáján belül kering, vagyis ez egy dinamikailag teilitett bolygórendszer (a hosszú távú stabilitás elvesztése nélkül nem lehet több bolygót behelyezni, vagy a megélőket közelebb vinni egy-



1. ábra. Fantáziakép a Kepler-20e és Kepler-20f arányairól a Föld és a Vénusz mellett (forrás: NASA/Ames/JPL-Caltech).

máshoz). A központi csillag csak kicsivel kisebb és hűvösebb, mint a Nap. Míg a Naprendszerben a kőzetbolygók a Naphoz közelebb keringenek, a nagyobb gázóriások pedig távolabb, addig a Kepler-20 bolygókonfigurációja a következő: nagy, kicsi, nagy, kicsi, nagy, ami minden bizonnyal sok fejtorést okoz még a bolygókeletkezési elméletekkel foglalkozó szakembereknek.

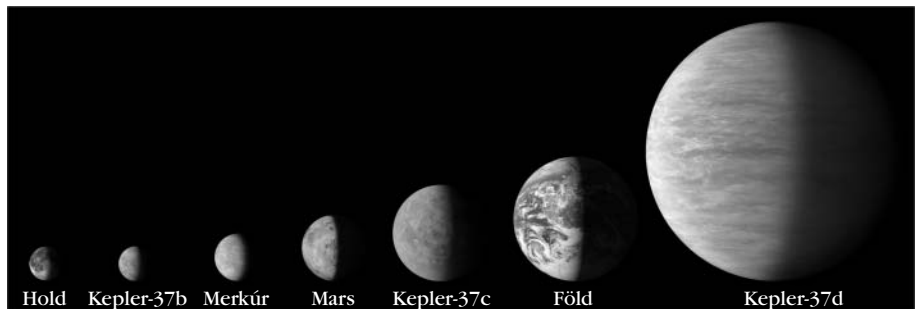
A Keplerrel tehát immár rutinszerűen fedezhetünk fel akár Földnél kisebb fedési bolygókat is. Nem zárható ki az sem, hogy a Kepler-20 rendszerben a csillagtól távolabb is keringenek bolygók, amelyeket – ha fednek – a Kepler-szonda mérési programjának 4-5 éves várható meghosszabbításával meg lehet figyelni. Hosszabb távon ugyancsak remélhető a csillaguktól távolabb keringő, nagyobb tömegű bolygók gravitációs perturbáló hatásának kimutatása.

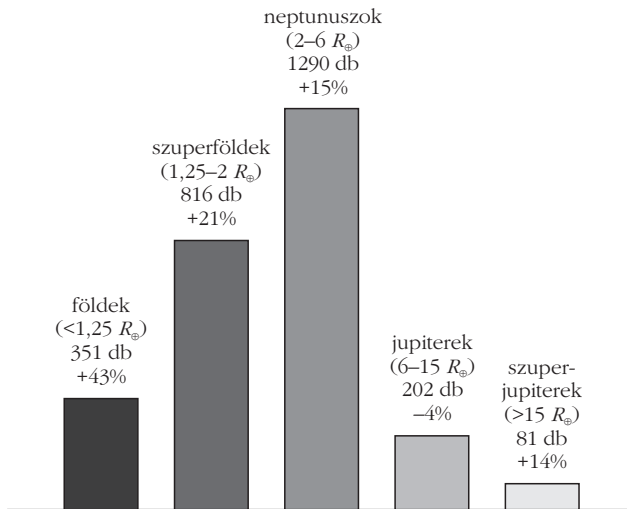
A Föld trónfosztása

A Kepler fontos célja – mint említettük – a Föld-méretű planéták megtalálása, de egy friss eredmény még a Kepler-20e megtalálásán is túltesz: a Kepler-adatokban olyan kisméretű bolygórendszert azonosítottak, amelynek legkisebb planétája kisebb a Merkúr bolygónál! A rendszer a Lyra (Lant) csillagképben található, távolsága körülbelül 210 fényév (2. ábra).

A Kepler-37 a Napnál valamivel kisebb méretű és hűvösebb csillag. Rendszerében három bolygót sikerült detektálni, mindegyik közelebb kering hozzá, mint a Merkúr-Nap távolság. A Kepler-37b nevű, a csillagához legközelebb keringő bolygó alig nagyobb

2. ábra. A Naprendszer és a Kepler-37 égitestjeinek méretarányos összehasonlítása. A Kepler-37b alig valamivel nagyobb a Holdnál, átmérője a Földének egyharmada. A Kepler-37c kicsit kisebb a Vénusznál, mérete a Földének háromnegyede, míg a legnagyobb, a Kepler-37d jelű kétszer akkora, mint a Föld (forrás: NASA/Ames/JPL-Caltech).



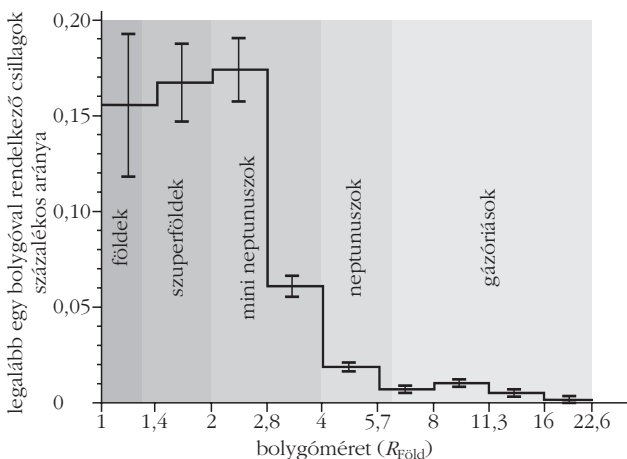


3. ábra. A Kepler-bolygók méreteloszlása. A növekmények a nemrég bejelentett 461 új jelölt hozzájárulásából származnak (forrás: NASA/Kepler).

a Holdnál, de kisebb, mint a Merkúr, így jelenleg az abszolút rekorder a méretversenyben. Tizenhárom nap alatt kerüli meg a csillagot, míg a c és d jelű planeták 21 és 40 nap alatt. Az előbbi valamivel kisebb, mint a Vénusz, míg az utóbbi átmérője a Földének kétszerese. A kicsiny Kepler-37b valószínűleg nem csak méretében hasonlít a Merkúrhoz: egy légkör nélküli, mintegy 500 °C felszíni hőmérsékletű kőzetbolygót kell elképzelnünk.

A kisméretű bolygók felfedezését a Kepler ultrapontos fotometriai adatsorai tették lehetővé, de mint-hogy a fedések mélységéből csak a bolygó és csillag méretarányára következtethetünk, a bolygó méretének meghatározásához a csillag átmérőjének ismerete is szükséges. Itt lép a képbe a csillagszeizmológia. A módszer lényege, hogy a belsejében terjedő akusztikus hullámok oszcillációra készítetik a csillagot, ami nagyon kis amplitúdójú, gyors fényváltozások formájában detektálható, feltéve, hogy a csillag elég fényes. Az eljárás hasonlít ahhoz, ahogyan a geofizikusok a Föld belső felépítését tanulmányozzák a földrengés-

4. ábra. A rövid (<85 nap) keringési idejű bolygófajták gyakorisága. A csillagok legalább 17%-ának van Föld méretű kísérője. Neptunusznál nagyobb közeli bolygók a csillagok néhány százaléka körül kering (forrás: F. Fressin és mtsai.).



hullámok segítségével. A csillagban megfigyelt egyedi rezgési módusok nemcsak a csillag szerkezetéről, de globális paramétereiről (tömeg, méret, kor) is egyedi lenyomatot hordoznak. Így meglepő, néhány százalékos pontosság érhető el a csillag méretének meghatározásában.

Ha a csillag nagyon aktív, akkor az általa produkált jelenségek (foltaktivitás, flarek stb.) okozta fényességváltozások elnyomhatják azokat a kicsiny ingadozásokat, amelyek alapján a méretére lehet következtetni. A Kepler kivételes pontosságának és a csillag inaktivitásának köszönhetően azonban a csillagunknál 25%-kal kisebb égitest átmérőjét 3% pontossággal sikerült megmérni, ami lehetővé tette, hogy bolygóinak méretét is hasonlóan kivételes pontossággal lehessen megadni. A Kepler-37 rendszer rávilágít arra, hogy a csillagokhoz nagyon közeli planeták kisebbek és sokkal nagyobbak is lehetnek, mint a Naprendszer bolygói, másrészt azt vetíti előre, hogy a bolygó méret csökkenésével az előfordulás várhatóan növekedni fog.

Százmilliárd bolygó

Ez a várakozás nem is bizonyult hiábavalónak. A 150 ezer csillag fényességében bolygóáthaladások nyomaira vadászó űrteleszkóp 22 hónap alatt gyűjtött adatmennyiségének átvizsgálása nyomán 2013 elején 461 új bolygójelöltet jelentettek be. Ezzel 2740-re emelkedett a Kepler felfedezéseinek száma. Ezek közül eddig száztizennégyet sikerült megerősíteni rádiósebesség-méréssel vagy a többszörös bolygórendszerek planetáinak egymásra gyakorolt gravitációs hatásának kimutatásával. A legújabb kutatások azt mutatják, hogy Jupiter- és nagyobb méretű bolygókból viszonylag kevés van. Ezeket természetesen a legkönnyebb felfedezni. A kisebb méretű bolygók viszont jóval gyakoribbak; a Keplerrel a hosszabb periódusúak is kezdenek a látókörünkbe kerülni. Rádásul a detektálási algoritmusok érzékenységét is sikerült jelentős mértékben növelni. Ennek megfelelően a bejelentett többelhez elsősorban a Föld- és szuperföld (1,25-2,0 Föld-sugár) méretkategóriába eső égitestek járulnak hozzá. A mintában 365-ről 467-re emelkedett a több bolygót tartalmazó rendszerek száma (3. ábra).

François Fressin (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, Cambridge, USA) és kollégái a Kepler-mintán statisztikai számításokat végeztek. Azt vizsgálták, hogy milyen gyakori a bolygók jelenléte a különböző típusú csillagok körül. Ehhez háromféle effektust is figyelembe kellett venniük: (1) a legkisebb bolygókat nehezebb detektálni, erre korrigálni kell, (2) az esetlegesen nem bolygók, hanem más asztrofizikai konfigurációk okozta hamis jelek előfordulását újra megbecsülték, és mintegy 10%-ot kaptak, (3) a szerencsés geometriának köszönhetően tranzitot mutató bolygók alapján egyszerű megfontolásokkal megkapható a fedést nem okozó, tehát a Kepler számára észrevehetetlen bolygórendszerek száma is. Az eredmény megdöbbentő (4. ábra).

Eszerint minden hatodik csillagnak van 85 napos periódusnál (tehát a Merkúrnál) közelebb keringő, Föld-méretű bolygója. Galaxisunk 100 milliárd csillagból kiindulva mintegy 17 milliárd Föld-méretű bolygó lehet a Tejútrendszerben. Ne feledjük, hogy a hosszabb periódusú bolygók még hiányoznak a Kepler-planéták képzeletbeli fényképalbumából, tehát a bolygók valódi számát tekintve alsó becslésről van szó. Az is kiderült, hogy a korábbi feltételezésekkel ellentétben a kisméretű bolygók minden csillag körül gyakorta előfordulnak, és nem részesítik előnyben a kisebb csillagokat.

Ha a Kepler 400 napnál rövidebb keringési idejű planéta-jelöltjeinek populációját tekintjük, az adódik, hogy a csillagok legalább 70%-ának van valamilyen bolygója, míg a Naphoz hasonló csillagok szinte mindegyike körül kering egy vagy több bolygókísérő. Úgy tűnik tehát, hogy a bolygó nélküli csillagok számitanak kivételnek.

Lakható bolygók?

Föld-méretű és kisebb bolygókat tehát már találtunk. Vannak-e a Földhöz hasonló bolygók a lakhatósági zónákban is? A Kepler bolygójelöltjei közül 10 Föld-méretű keringhet ebben a tartományban, ami azt jelenti, hogy folyékony víz lehet a felszínén. (Ez persze csak durva közelítés, nem veszi figyelembe a légkör, az esetleges üvegházhatású gázok, óceánok jelenlétét, nem is szólva az élet alkalmazkodási képességéről és az olyan életformák élettérigényeiről, amelyekre ma nem is gondolunk, és akkor még nem is említettük az óriásbolygók körül keringő – mindmáig ki nem mutatott – holdakat, amelyek szintén hordozhatnak életet.) A szóba jövő planéták közül az egyik legérdekesebb a Kepler-22b nevű, amelynek átmérője mindössze 2,4-szerese a Földének, tömege azonban nem ismert pontosan, így egyelőre nem tudjuk, hogy összetétele a kőzetbolygókhoz vagy inkább a gázóriásokhoz hasonlít-e, esetleg az elméletileg megjósolt, egzotikus vízbolygók családjába tartozik. Távolsága mintegy 600 fényév. Központi csillagát – amely a Napunknál kicsit kisebb és hűvösebb – 289 nap alatt járja körbe (5. ábra). Egy bolygójelölt felfedezéséhez legalább három tranzit kimutatása szükséges. A kutatóknak nagy szerencsájük volt a Kepler-22b-vel, hiszen az első tranzitot mindössze három nappal a keresés megkezdése után észlelték 2009-ben, a harmadikat pedig 2010 végén, mindössze néhány nappal egy kéthetes kényszerű technikai szünetet megelőzően, vagyis csak a véletlenül múlt, hogy a bolygót egyáltalán felfedezték.

Egy másik figyelemre méltó jelölt a KOI-172.02 nevű objektum (KOI: Kepler Object of Interest), ami egy Nap-szerű csillag körül kering. Ha bebizonyosodik, hogy tényleg bolygóról van szó, akkor ez lesz a Földünkre mindaddig legjobban hasonlító planéta: átmérője másfélszerese a Földének, és a Nap-Föld távolság háromnegyedére kering csillagától, 242 napos pályán. Megjegyezzük, hogy a rendszer tagja még

egy a központi csillagot 14 nap alatt megkerülő, 2,2-szeres Föld-sugarú szuperföld is.

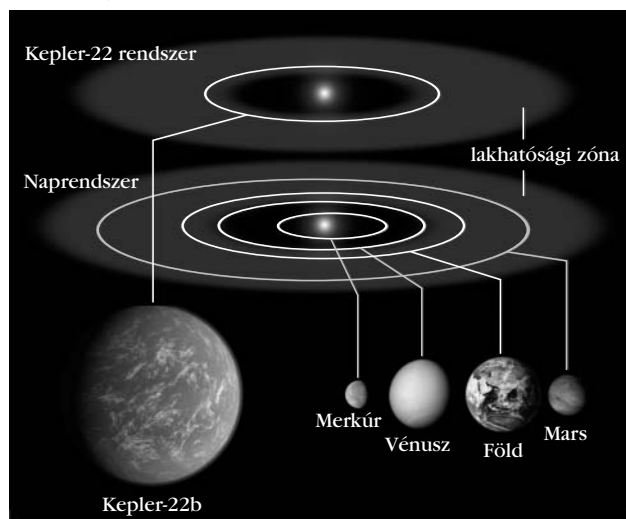
Összességében az űreszköz eredményei arra utalnak, hogy a Föld- és szuperföldméretű planéták gyakoriak galaxisunkban. Miután vannak Föld-méretű exobolygók, és találtunk planétát a lakhatósági tartományban is, valószínűleg hamarosan sikerül ötvözni a két tulajdonságot: az első lakható földek jelei talán már ott vannak a Kepler-bolygókat vizsgáló kutatócsoport számítógépeinek merevlemezein.

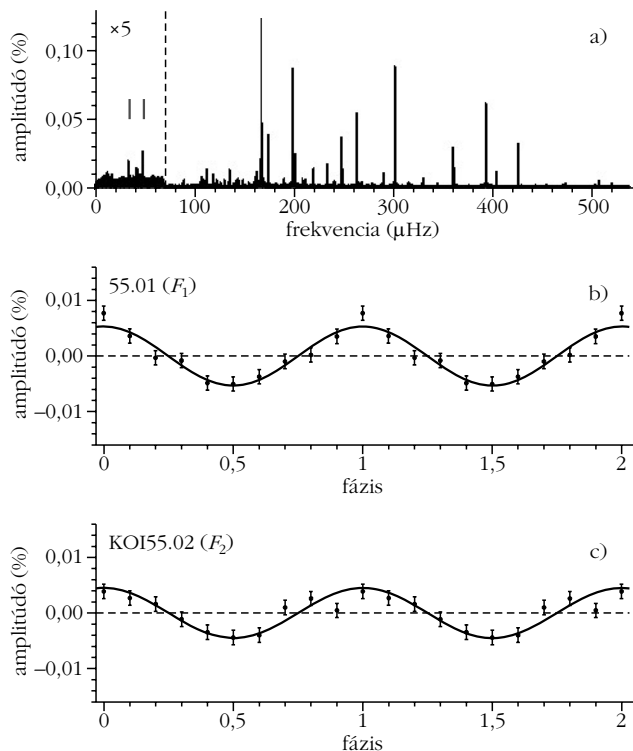
Pillantás a Naprendszer távoli jövőjébe

A csillagától kellemes távolságra keringő bolygók mellett újabb izgalmas bolygórendszer felfedezéséről adtak hírt a NASA Kepler-űrtávcsövével dolgozó csillagászok. A Földnél is kisebb két felfedezett bolygó egy egykori vörös óriáscsillag maradványa körül kering, Naprendszerünk jövőjébe engedve bepillantást. A Kepler által eddig talált fedési exobolygókkal ellentétben ezek létezését nem a csillaguk előtti elhaladásuk árulta el, hanem a róluk visszavert fény, ami a rendszer összfényességében szinte elképzelhetetlenül kicsiny, alig néhány milliomodrésznyi változást okoz. Ma egyedül a Kepler képes ezt a parányi modulációt kimutatni az optikai hullámhossztartományban. Az új bolygók egy vörös óriás fázison átesett csillag maradványa körül keringenek, és a KOI 55.01 és KOI 55.02 nevet kapták.

A halvány KIC 05807616 (KPD 1943+4058 vagy KOI 55) jelű csillag a Naphoz hasonló, idősebb csillag vörös óriás fázison is átesett forró maradványa, úgynevezett B szubtörpe. Felszíni hőmérséklete 28000 °C, fél Nap-tömegű, mérete mindössze egyötöde a Napénak. Ezek a csillagok gazdag pulzációs viselkedést mutatnak, ezért az objektumot a csillagszeizmológia szakértői vették alaposan górcső alá. Az elképzelés az volt, hogy a csillag rezgéseinek megfigyelésével a ku-

5. ábra. A Kepler-22 és a Naprendszer belső bolygóinak, valamint azok pályáinak méretarányos ábrázolása, a szürke gyűrű a lakhatósági zónát jelöli.





6. ábra. A KIC 05807616 fényességváltozásának frekvenciaspektruma. A két független szakasz (balra) a két bolygóra utaló frekvenciát jelöli. Közük sokkal gyengébben, egy hipotetikus 6,5 óra keringésű harmadik bolygóra utaló változás is látszik, ezt azonban a jelenleg rendelkezésre álló adatok alapján nem sikerült minden kétséget kizáróan igazolni. b–c) A KOI 55.01 és KOI 55.02 okozta fényességváltozás a keringésük időegységében ábrázolva. Figyeljük meg a mindössze néhány százvezredrésnyi változást (forrás: S. Charpinet és mtsai.)!

tatók pontosíthatják ezen csillagok szerkezetére és fejlődésére vonatkozó ismereteinket. Az eredeti cél mellett azonban megfigyelték, hogy a KIC 05807616 csillag 5,8 és 8,2 órás periódusokkal állandó és szabályos fényesedést-halványodást produkál (6. ábra).

Minden más eshetőség kizárásával egyetlen magyarázatként a bolygókísérők jelenléte kínálkozott. A két égitest nagyon közel, 750 ezer, illetve 1 millió km-re kering a csillagmaradványtól. Keringésük kötött, vagyis mindig azonos oldalukat fordítják a csillag felé. A Földről (pontosabban a Nap körül keringő Keplerről) nézve azonban kimutatható a megvilágított nappali oldal hozzájárulásának változása az összfényességhez. A számítások azt mutatták, hogy a két bolygó átmérője 0,76 és 0,87 Föld-átmérőnek felel meg, és minden bizonnyal kőzetbolygókról van szó. Felszínükön azonban kibírhatatlan, közel 8-9000 °C hőmérséklet uralkodik. A rendszer távolsága több mint 3800 fényév.

A különlegességek azonban itt nem érnek véget: a legérdekesebb az, hogy a csillag kiterjedt, vörös óriás állapotában a bolygók a csillag légkörén belül keringtek! Ez az állapot mintegy 18 millió évvel ezelőtt ért véget. Valószínű, hogy a planéták jóval távolabb, nagyobb méretű gázbolygóként kezdték pályafutásukat, majd beljebb sodródtak a csillag légkörével történt kölcsönhatás következtében. Amit most látunk, az a külső

burkuk elpárolgása után előbukkant, lecsupaszított maradványuk, a gázbolygók mélyén szinte minden esetben megbújó kőzetmag. Ha ez igaz, akkor nem csak a planéták sýnylették meg a találkozást: a két bolygó a csillag burkának eltávolításában is hatékonyan segédkezett gravitációs hatásuk révén. A legtöbb B szubtörpe szoros kettőscsillag, és a csillagászok a csillagkísérőket okolták a felfúvódó csillagok tömege jelentős részének elszippantásáért. Azonban a KIC 05807616 esete azt mutatja, hogy a csillag közelébe jutó bolygók éppoly hatékony katalizátorok lehetnek a tömegvesztésben, mint a csillagok. Más elképzelések szerint a bolygók a vörös óriás fázist követően jöttek létre. Ha az előbbi forgatókönyv beigazolódik, akkor a felfedezés a bolygóknak a csillagok fejlődésére gyakorolt meglepően erős, közvetlen befolyását mutatja.

A különleges rendszer a Nap-Föld kapcsolatra nézve is új információval szolgál: mintegy 5 milliárd év múlva Napunk – fejlődése következtében – több százszorosára puffad, miközben bekebelezi a belső kőzetbolygókat, köztük valószínűleg a Földet is. Eddig azt gondoltuk, hogy ez a „kaland” a bolygók végétét jelenti. Most a „túlélő” KOI 55.01-02 bolygópáros példája nyomán újra kell gondolnunk ezt az elképzelést is. A Nap azonban kissé másképp fejlődik majd, nem utolsósorban azért, mert Naprendszerünkben a bolygók kis tömege nem befolyásolja a Nap tömegvesztését. Az eredmény szép példája annak, hogy milyen szoros kétirányú kapcsolat lehet egy csillag és bolygókísérői között, de arra is rávilágít, hogy a bolygók és a csillagok jobb megismerése csak egyszerre lehetséges, és ez a szimbiózis gyümölcsözően hat mindkét területre.



A Kepler eredetileg tervezett 3,5 éves működése 2012 novemberéig tartott. A hosszabbítás további négy évnnyi működés anyagi fedezetét tartalmazza. A távcső működése technikai szempontból többé-kevésbé zavartalan, a 42 digitális érzékelőből (CCD) eddig mindössze kettő vált használhatatlanná. A távcső pontos irányításához három giroszkóp szükséges (7. ábra).

7. ábra. A Kepler-űrtávcső összeszerelés közben, középen felül négy giroszkópjából kettő látható (forrás: NASA/Kepler).



A fedélzeten található négyből egy sajnos felmondta a szolgálatot 2012 nyarán, egy további pedig idén májusban hibásodott meg, így az űreszköz alkalmatlanná vált a nagy pontosságú fényességmérés folytatására. A NASA szakemberei többszöri kísérletet tesznek a hiba kijavítására, illetve alternatív megfigyelési stratégiák kidolgozása is folyamatban van.

A Kepler már eddigi eredményeivel is beírta magát a következő generációk tankönyveibe. Reméljük, hogy ez a folyamat a technikai problémák megoldása

után folytatódhat, a közérdeklődésre számot tartó eredményekről pedig időről időre a *Fizikai Szemle* hasábjain is beszámolunk.

Irodalom

NASA Science News 2011.12.20.

NASA Kepler News 2013.02.20.

S. Charpinet, G. Fontaine, P. Brassard és mtsai., *Nature* 480 (2011) 496–499.

F. Fressin, G. Torres, D. Charbonneau és mtsai., *Astrophysical Journal* 766 (2013) 81.

HIDROGÉNTARTALMÚ AMORF SZILÍCIUM/GERMÁNÍUM MULTIRÉTEG STRUKTURÁLIS STABILITÁSA – II. RÉSZ

Serényi Miklós – MTA TTK MFA

Csík Attila – MTA Atomki, Debrecen

Írásunk első részében röntgendiffrakciós kísérleti eredményekre alapozva ismertettük, hogyan befolyásolja a hidrogén a Si és Ge vékonyrétegekben a különböző atomok diffúziós viselkedését. A továbbiakban a hidrogéntartalom, valamint a H-Si és a H-Ge kötési állapotok meghatározására irányult mikroszkópos, ionszórásos és infravörös spektroszkópiai vizsgálataink eredményeit mutatjuk be.

Mikroszkópos vizsgálatok

A minták egyik csoportját tekintve (400 °C, H₂ = 0,8 és 1,5 ml/perc) megállapítottuk, hogy a hőkezelések során a minta felületén csak csekély mértékben figyelhetünk meg buborékképződést; a diffúziós keveredés kinetikája lassabb a hidrogénmentes mintákhoz viszonyítva. Magasabb hőmérsékleten történő hőkezelés hatására a multiréteg hidrogéntartalma felszabadul, felülete felhólyagosodik (mint a piskótatészta), a leválasztott réteg tönkremegy.

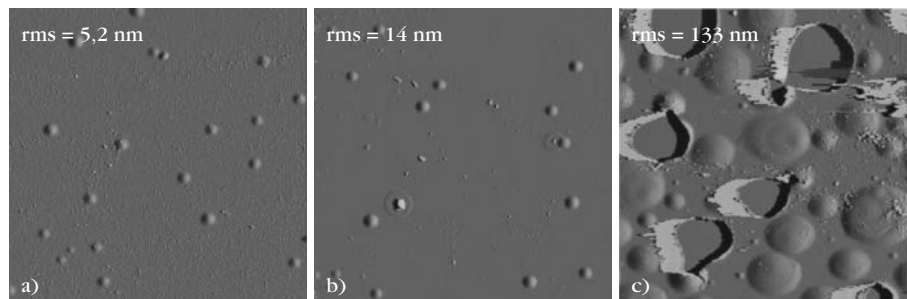
A növesztés, majd az azt követő hőkezelés paramétereit illetően határvonalat szükséges húznunk: a maximum 1,5 ml/perc hidrogéntartalmú plazmával katódporlasztott multirétegek 400 °C-ig hőkezelhetők úgy, hogy a szerkezet megőrzi termikus stabilitását. Azokon a mintákon, ahol a felület felhólyagosodása figyelhető meg, a diffrakciós vizsgálatokból kvalitatív következtetést nem tudunk levonni. Célszerűnek látszik a felület morfológiai változását (buborék-, illetve kráterképződés) AFM és TEM segítségével megvizsgálni.

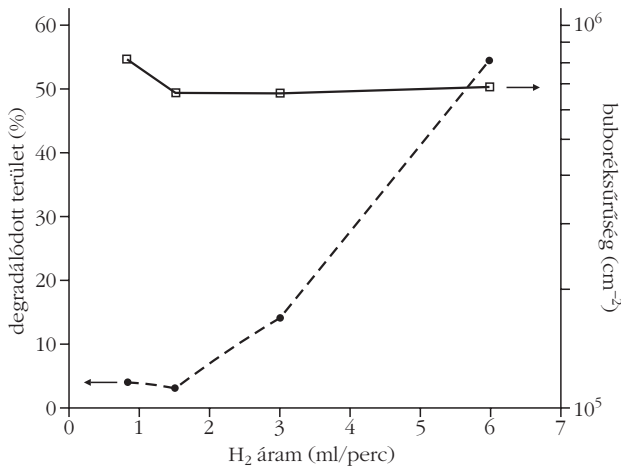
Példaként néhány hőkezelt a-Si/Ge:H multiréteg 50×50 μm² felületéről készült AFM felvételt a 6. ábrán láthatunk.

Az AFM felvételek készítésére használt berendezés lehetővé tette a felvételeken látható jellegzetes alakzatok méreteinek statisztikus kiértékelését. Azt a megállapításunkat, hogy a felületi elváltozások – buborékok, kráterek – mértéke arányos a porlasztáshoz használt gázkeverékbe történő H₂ áramlás sebességével, a 7. ábrával illusztrálhatjuk. A 400 °C feletti hőmérsékleten hőkezelt minták degradált felülete a teljes felület több mint felét teszi ki, ha a H₂ beáramlás sebessége 6 ml/perc, azaz a plazma hidrogéntartalma meghaladja a 6%-ot. A jelentős mennyiségű hidrogén ellenére éles, sima határátmenetekkel rendelkező szerkezet növeszthető szobahőmérsékleti körülmények között. A nagy mennyiségű hidrogént tartalmazó rétegek AFM vizsgálata egy érdekes eredménnyel is szolgált: a felületi elváltozások – buborékok, kráterek – egységnyi területre eső száma (sűrűsége) független a hidrogén mennyiségétől, értéke 6–8·10⁵ cm⁻².

Érdeemes bemutatni a buborékok és egy kráter AFM szoftvere által analizált képét. A 8. ábra a 450 °C-on,

6. ábra. A hőkezelt multirétegekről készült AFM felvétel különböző hidrogén beáramlási sebesség, valamint hőkezelési hőmérséklet mellett: a) H₂ = 0,8 ml/perc és 350 °C; b) H₂ = 1,5 ml/perc és 400 °C; c) H₂ = 6 ml/perc és 450 °C. Az AFM felvételeken a felületi érdességet jellemző négyzetes középérték, az RMS van feltüntetve.



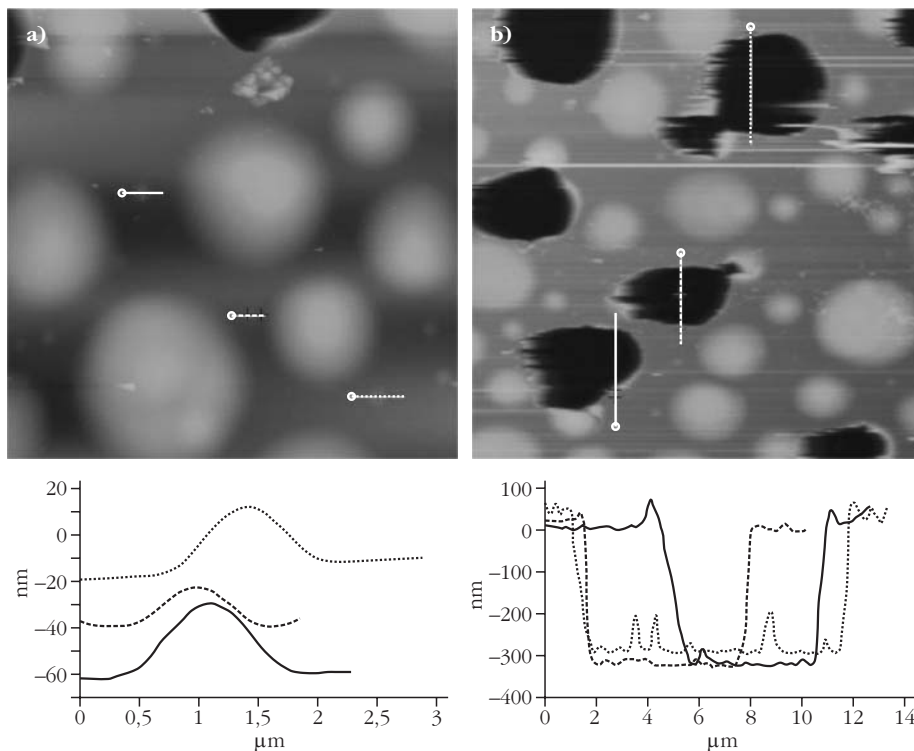


7. ábra. A degradálódott felület nagysága és a buboréksűrűség a növesztésnél használt hidrogénáramlás függvényében.

5 óráig hőkezelt minta ($H_2 = 6 \text{ ml/min}$) $25 \times 25 \mu\text{m}^2$ -os részletét mutatja be. A 300 nm mély (ez az eredeti multiréteg vastagsága) kráter alján jól látszik a szubsztrát sík felülete.

A rétegek degradációja ellenére a hőkezelés közben elvégezhető *in-situ* SAXRD mérések (5. ábra) arra utaltak, hogy a degradáció és diffúzió ellenére a minta megőrzi réteges szerkezetét. Az 9. ábrán a 350 °C-os hőkezelésnek kitett, 6 ml/perc hidrogénáramban porlasztott minta HAADF felvétele látható. Megfigyelhető, hogy a Si- és Ge-rétegek a hőkezelés után is jól elkülönülnek egymástól, az energiaszelektív EDX detektor Ge jele határozottabb amplitúdójú periodicitást mutat a Si jelhez képest. Az 5. és 9. ábrák eredményeinek össze-

8. ábra. 450 °C-on, 5 órán keresztül hőkezelt minta. a) buborékok és b) egy kráter az AFM szoftver által, a világos vonalak mentén analizált képe.

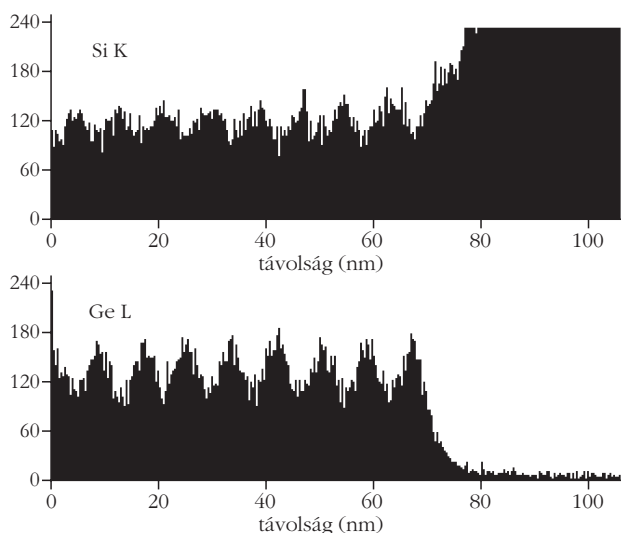
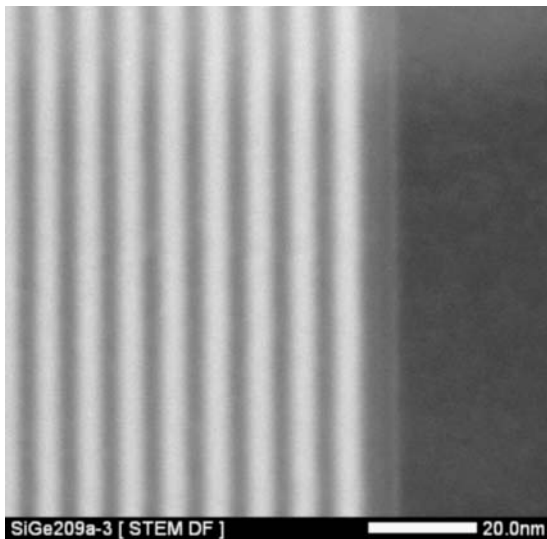


vetéséből választ kaphatunk a hidrogén szerepére a diffúziós mechanizmusban. A hidrogén jelenléte az a-Si/Ge:H multirétegben a felszakadt kötések számának csökkentése révén lassítja a két anyag diffúziós keveredését és a korábban bemutatott [3] aszimmetrikus diffúziót feltételező modellnek megfelelően a Ge-atomok gyakorlatilag nem képesek behatolni a Si-mátrixba, míg a határfelület közelében levő Si-atomok könnyebben bediffundálnak a Ge-rétegbe.

Az irodalmi adatok alapján valószínűsíthető, hogy a hőkezelés termikus energiájának hatására először a Ge-H kötések szakadnak fel, mivel kötési energiájuk kisebb, mint a Si-H kötésé (2,99 eV szemben a 3,29 eV-tal). További energiajárulékot adhat a termikusan gerjesztett töltéshordozó párok rekombinációja, ami a rétegszerkezet inhomogén tilossáv-eloszlásának minimumhelyein valószínű. Ha feltételezzük, hogy a H-eloszlás a rétegszerkezetben a hőkezelés elején inhomogénné válik, akkor több H-kötés felszabadulására számíthatunk a gázkepződés környezetében, tekintve, hogy a kisebb H-tartalmú tartományokban a tiltott sáv is kisebb. Ez az összetett mechanizmus lehet a magyarázata az intenzív H_2 buborékképződésnek, amivel kapcsolatban több kísérleti evidenciát az infravörös abszorpció (IR) mérés ad.

A hidrogéntartalom meghatározása

A hidrogéntartalmú plazmában növesztett rétegek – a porlasztáshoz használt gázkeverék hidrogéntartalmától függetlenül – sima, tükrös felületű, jól tapadó rétegek. A hidrogén tényleges beépüléséről először csak közvetett módon bizonyosodhattunk meg. Ezek közül az első a galvanomágneses mérések eredménye volt, ami bebizonyította, hogy a magasabb hidrogéntartalmú SiGe-ötvözet vezetőképessége kisebb. Ebből azt a következtetést vonhattuk le, hogy a H-atomok passzíválják a szabad kötések egy részét [5]. Sokáig nem sikerült igazolni azt, hogy ténylegesen mennyi, és a hidrogén beáramlásával arányos mennyiség építhető-e be a gázkeverékben történő porlasztással. Ez a magyarázata annak, hogy egy réteg H-tartalmának jellemzésére a gázáram sebességének ml/perc-ben mért mérőszámát használtuk. 2010-ben N. Q. Khanb (MFA) a He⁺ rugalmas ütköztetése által kilökött hidrogénatomok számát ERD (*Elastic Re-*

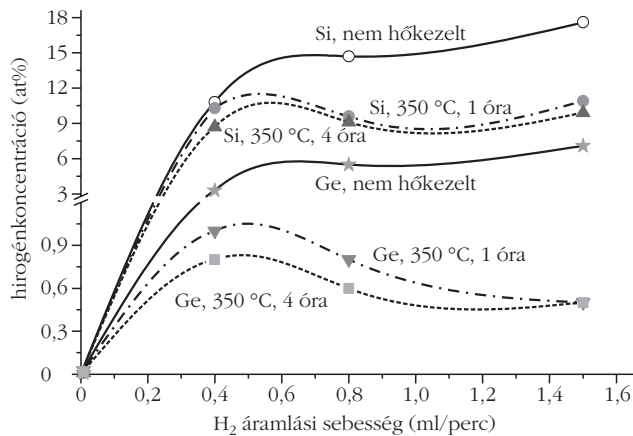


9. ábra. 350 °C-on hőkezelt a-Si/Ge:H multiréteg ($H_2 = 6$ ml/perc). HAADF kép (föül), a Si-substrát a kép jobb oldalán látható. Alul az EDX vonal menti analízis a bemutatott részleten, fent a Si, alatta a Ge.

coil Detection) spektrum mérésével határozta meg [6]. Az erre a célra porlasztott, 40 nm vastag szilícium- és Ge-rétegekben a beépült hidrogéntartalmat a porlasztáshoz használt argon alapú gázkeverék H_2 gázáramának függvényében a 10. ábrán mutatjuk be. Látható, hogy a ténylegesen beépült H-tartalom monoton nő és 0,8 ml/perc áram érték után erősen telítődő jelleg mutat. Ebből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a korábban leírt katódporlasztási technológia – csupán a plazma hidrogéntartalmának növelésével – nem alkalmas több hidrogén bevitelére.

A Ge-rétegek a hőkezelés hatására jelentősen több H-t veszítenek, mint a Si-réteg: a hidrogéntartalom 5,5%-ról 0,8% atomi százalékra csökken, míg a Si-nál ez a változás csupán a hőkezeletlen tartalom 35%-a. Ez annak tulajdonítható, hogy a hőkezelés termikus energiájának hatására a Ge-H kötések könnyebben szakadnak fel, mivel kötési energiájuk kisebb, mint a Si-H kötésé.

Érdekes megfigyelni, hogy azonos porlasztási körülmények több hidrogén beépülését eredményezik a



10. ábra. Si- és Ge-réteg hidrogéntartalma a porlasztáshoz használt H_2 gázáram függvényében.

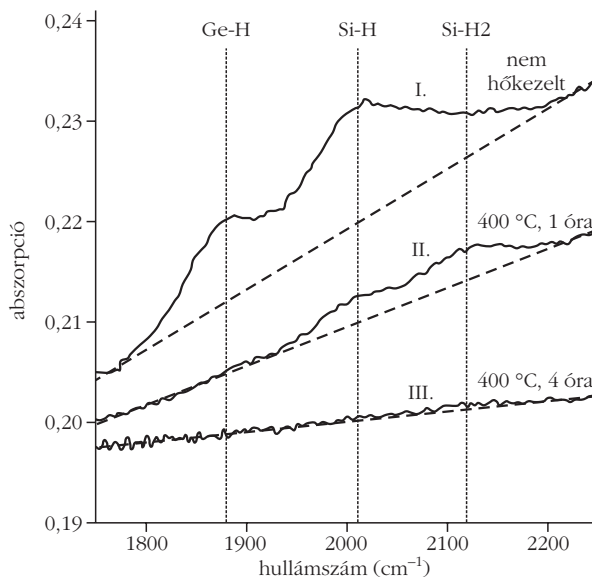
Si-ba a Ge-hoz képest. Ennek magyarázata, hogy a mintakészítés alatt diffúziójuk során a H-atomok a gyenge Si-Si kötések bonthatók, ezáltal növekszik a telítetlen kötések száma. Ugyanez a mechanizmus a Ge-ban nem játszik jelentős szerepet; az amorf mátrixban a nagyobb Ge-atomok egymáshoz közelebb helyezkednek el, ezért a H-atomok rácsközi diffúziója nem bontja a Ge-Ge kötések.

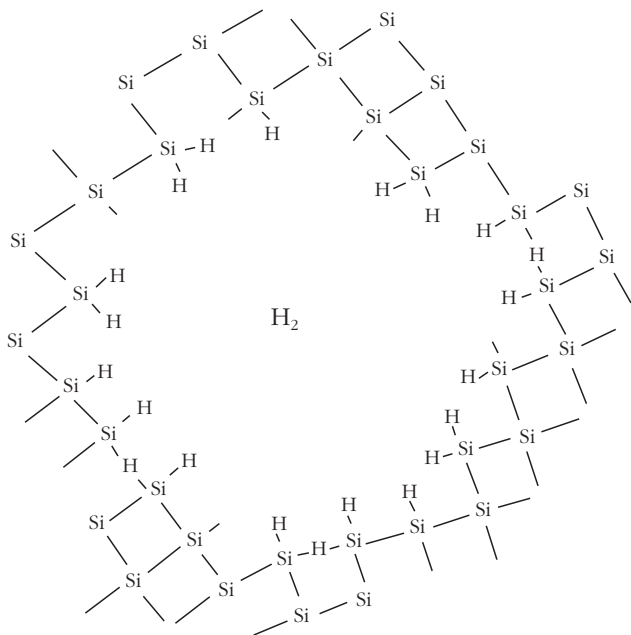
Infravörös spektroszkópia alkalmazása

A 11. ábra egy a-Si/Ge:H multiréteg tipikus IR abszorbancia spektrumát mutatja be a hullámszám függvényében. A spektrumok a 0,8 ml/perc H_2 áramlási sebességgel növesztett mintákhoz tartoznak: a I. spektrum hőkezelés nélküli, a II. 400 °C-on 1 órá, míg a III. 4 órá keresztül hőkezelt minta.

A I. spektrumnak két csúcsa 1880 és a 2010 cm^{-1} hullámszámmal jellemezhető, ezek az H-Ge, illetve H-Si monohidrid kötések abszorpciós vonalai. A

11. ábra. Amorf Si/Ge:H multiréteg tipikus IR abszorbancia spektruma.





12. ábra. Lehetséges kötési konfigurációk sematikus ábrája.

spektrum alakja jelzi, hogy a Si-H csúcs több elnyelési vonal szuperpozíciója, a mellékmaximum körülbelül 2140 cm^{-1} -nél van. Az irodalom szerint a 2100 cm^{-1} elnyelési vonal $(\text{Si-H}_2)_n$ polihidridek jelenlétére, továbbá a hidridek oxigén által szennyezett komplexére utal. Ez utóbbi szennyeződés a porlasztó vákuumrendszeréből származik [7]. A Ge-H csúcs magasabb hullámhosszú oldalán a Ge polihidrid csúcs nem azonosítható. A II. spektrum 2140 cm^{-1} -nél található csúcsa a Si-H₂ kötések abszorpciójának tulajdonítható. A H-koncentráció hőkezelés hatására létrejövő változása nyomon követhető az ábráról, ugyanis az abszorpciós csúcs magassága (pontosabban az általa lefedett terület) arányos a kötések koncentrációjával. Hőkezelés hatására a 1880 és a 2010 cm^{-1} hullámszámú H-Ge, illetve H-Si monohidrid kötések száma csökken, a négyórás hőkezelés után gyakorlatilag eltűnik. Ez a következtetés összecseng az ERD mérés eredményével, de az IR abszorpciós mérés többletinformációt is hordoz: a hőkezelés hatására H-Si-H kötések (di-hidrid) száma a hőkezelés első fázisában átmenetileg jelentősen növekszik úgy, hogy a tényleges H atomi koncentráció csökken.

Az IR mérés alapján a buborékképződés mechanizmusára modellt alkothatunk. Feltételezhetjük, hogy a H-Si, továbbá a kötésben nem lévő H a hőkezelés hatására a mikro- és nanoüregek falán és a hártárfelületeknél dúsul fel, hiszen itt a „-Si-” gyökök előfordulása valószínűbb (12. ábra). További energiajűlékot adhat a termikusan gerjesztett töltéshordozó párok rekombinációja, ami a rétegszerkezet inhomogén tilossáv-eloszlásának minimumhelyein valószínű. Ha feltételezzük, hogy a H-eloszlás a rétegszerkezetben a hőkezelés elején inhomogénné válik, akkor több hidrogénkötés felszabadulására számíthatunk a gázképződés környezetében, tekintve, hogy a kisebb H-tartalmú tartományokban a *tilos*

sáv is kisebb. Ez az oka a H utánpótlásának, vagy – másképp fogalmazva – elegendő hidrogén gyűlhet össze az üregek környezetében. Ez az összetett mechanizmus lehet a magyarázata az intenzív buborékképződésnek: a hőkezelés hatására a H energetikailag kedvezőbb molekuláris állapotba kerül, mert a H-Si-H kötések energiája nagyobb, mint a két hidrogén molekula és a Si-Si kötési energiája együttesen. Ha az üreg hidrogén gázzal akkumulálódik, akkor melegítés hatására nyomása megnő, buborék keletkezik. A további növekedés pedig a már jól ismert kráterek kialakulásához vezet.

Amint láttuk, a magasabb hőmérsékleten történő hőkezelés hatására a multiréteg hidrogéntartalma felszabadul, felülete felhólyagosodik, a leválasztott réteg tönkremegy. A jelenséget látva felmerül, hogy a folyamat hasznosítható rétegleválasztás-technológiai (*Smart-Cut*ként ismert) lépésként [8]. Szilícium alapú szerkezetek szigetelő rétegre történő integrálásának (*Silicon On Insulator*, SOI) ismert eljárása a H⁺ implantációját alkalmazza. A hőkezelés előtt a rétegszerkezetre szigetelő vagy oxidréteggel bevont szilíciumszeletet (direkt vagy köztes réteg segítségével) kötve, megfelelő hőkezelés után, a porlasztott szerkezet egy másik hordozóra vihető át. Így lehetne a szélsőséges porlasztási paraméterek hatására létrejött folyamatokat igényes technológiai lépéssé tenni.

Írásunk a klasszikus vékonyréteg-technológiával készíthető napelemek élettartam-problémájának természetes határait vizsgálta a fizika, az anyagtudomány eszközeivel. Megpróbáltuk megkeresni a határokat, amelyeken belül stabil a-SiGe:H alapanyagú rétegek, illetve szerkezetek készíthetők. Reméljük, hogy sikerült érzékeltetni az olvasóval egy ilyen és hasonló probléma összetettségét. Ezek után a megfelelő piskótatészta receptjére is más szemmel nézhetünk, amelyben ugyan kevés vizsgálat, de rengeteg konyhai tapasztalat van felhalmozva. És mindig vannak jobb receptek.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki *Beke Dezső*, *Gyulai József*, *Nqwen Khanb*, *Jankóné Rózsa Mária* kollégáknak a munkák során nyújtott támogatásukért és segítségükért, *C. Frigerinek*, *L. Nasinak* a TEM, AFM felvételekért. A kutatás egy része a TAMOP 4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0036 pályázat támogatásával valósult meg.

Irodalom

- A. Csik, G. A. Langer, et al., *J. Applied Physics* 89/1 (2001) 804; http://jap.aip.org/resource/1/japiau/v89/i1/p804_s1?isAuthorized=no
- M. Serényi, J. Betko, et al., *Microelectronics Reliability* 45/7-8 (2005) 1252; <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026271405000648>
- N. Q. Khánh, M. Serényi, A. Csik, C. Frigeri, *Vacuum* 86 (2012) 711; <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0042207X11002971>
- M. Serényi, C. Frigeri, et al., *Nanoscale Research Letters* 8 (2013) 84; <http://www.nanoscalereslett.com/content/8/1/84>
- G. Taraschi, Z. Y. Cheng, et al.: Relaxed SiGe on insulator fabricated via wafer bonding and layer transfer: etch-back and smart-cut alternatives; <http://sauvignon.mit.edu/fitz/papers/2001/Gianni-ECS-2001-Conf.pdf>

GÖMBIHI BAMENTES EGY- ÉS KÉTFÓKUSZÚSÁG: A TRILOBITALENCSEK MAGJÁNAK OPTIKAI SZEREPE

– I. RÉSZ

Egri Ádám, Horváth Gábor

ELTE Biológiai Fizika Tanszék, Környezetoptika Laboratórium

A háromkaréjos ósrákok (trilobiták) kültakarója testszövetbe ágyazódott kalcitból állt [1]. A trilobiták túlnyomó része összetett szemekkel rendelkezett, amelyek lencsési ugyancsak kalcitot tartalmaztak [2–5]. Az első, szemmel rendelkező trilobiták 520 millió évvel ezelőtt jelentek meg a kambriumban, és nagyjából 220 millió éve haltak ki a perm-triász átmenet idején. Csak a megkövesedett bőrszövet (kutikula) és a szemlencsék őrződtek meg, a fotoreceptorok és minden egyéb belső szerv nyomtalanul lebomlott az évszázmilliók alatt. A trilobitaszemek három fajtáját különböztetjük meg: holochroális, schizochroális és abatochroális [6].

A holochroális szem a legősibb a három közül. Ezt sok apró, 10-20 μm átmérőjű, egymás mellett szorosan elhelyezkedő, hatszög vagy kör keresztmetszetű, domború felső és alsó törőfelületű kalcitlencse alkotja. Mivel a kalcit kettőtörő kristály, ezért a belőle álló lencse két képet alkot a lencsétől két különböző távolságban. Egyedül a kristálytani c tengely mentén haladó fénysugár nem válik ketté a kalciton való áthaladáskor. Minden trilobitafaj szemlencséjében a kristálytani c tengely megegyezett az optikai tengellyel, így a kettőtörésből adódó képalkotási probléma minimális volt. Bizonyos trilobitafajok holochroális szeme a fénygazdag környezethez alkalmazkodott, míg másoké a fényszegény viszonyokhoz [7]. A vese alakú holochroális összetett szemmel rendelkező trilobiták inkább a gyéribb fényintenzitásokhoz alkalmazkodtak, és egészen a perm végéig jelen voltak a Földön.

A schizochroális összetett trilobitaszemek egészen nagyok voltak és viszonylag kevés (maximum pár száz) lencsét tartalmaztak [6]. Az alul és felül domború schizochroális lencsék 100-350 μm -es mérete jóval nagyobb volt a holochroális lencsékénél. A schizochroális lencsék ritkán pakolva helyezkedtek el, jól elkülönülve egymástól [6]. Általában két fő elemük volt: a kalcitból álló felső lencsetag és az alsó lencsetag, ami valamilyen szerves anyagból épült föl [6]. Például a *Crozonaspis struvei* trilobitafaj alsó és felső lencsetagját elválasztó határfelület hullámos volt. E Huygens-i hullámos törőfelület szerepe az volt, hogy kiküszöbölje a lencse gömbi hibáját [8–10]. Az alsó lencsetag $n = 1,40$ - $1,53$ közepes törésmutatójának köszönhetően csökkentette a fénysugarak lencsén belüli visszaverődéseit, miközben a nagy törésmutatójú ($n = 1,66$) kalcitból álló felső lencsetagból a kis törésmutatójú ($n = 1,36$) testfolyadékba jutottak [9, 11].

A *Dalmanitina socialis* trilobita felső lencsetagjának alsó felülete közepén egy apró kitüremkedés volt, ami kétfókuszúságot kölcsönzött a lencsének [12]. Ezért e faj annak ellenére láthatott egyszerre élesen távoli és közeli tárgyakat, hogy a szemlencséje merev volt.

A *Phacops rana milleri* és *Eldredgeops rana rana* trilobiták alsó lencsetagjának közepe nagyon elvékonyodott, vagy teljesen hiányzott, továbbá a lencse közepében egy mag fordult elő, aminek anyaga az alsó lencsetagéhoz hasonlított [13]. Néhány más trilobitafaj szemlencséjében is voltak ilyen magok, de kevésbé markánsan. A schizochroális szemek holochroális ősből eredeztethetőek [14].

A schizochroális trilobitaszemeknek a ma élő állatok körében is léteznek megfelelői: például bizonyos rovarlárvák pontszemei (*stemma*) ugyancsak két lencsetagból állnak [15]. A schizochroális szemre különleg leginkább hasonlító szemmel a Strepsipterák rendjébe tartozó rovarok rendelkeznek. Szemlencséik az apró, összetett szemhez képest nagyok. Minden lencséjük alatt egy-egy retina található [16]. E feltűnő alaki hasonlóságból kifolyólag feltételezhető, hogy az egyes schizochroális trilobitalencsék alatt is 1000 vagy akár még több fotoreceptor alkothattott önálló retinát [6, 14].

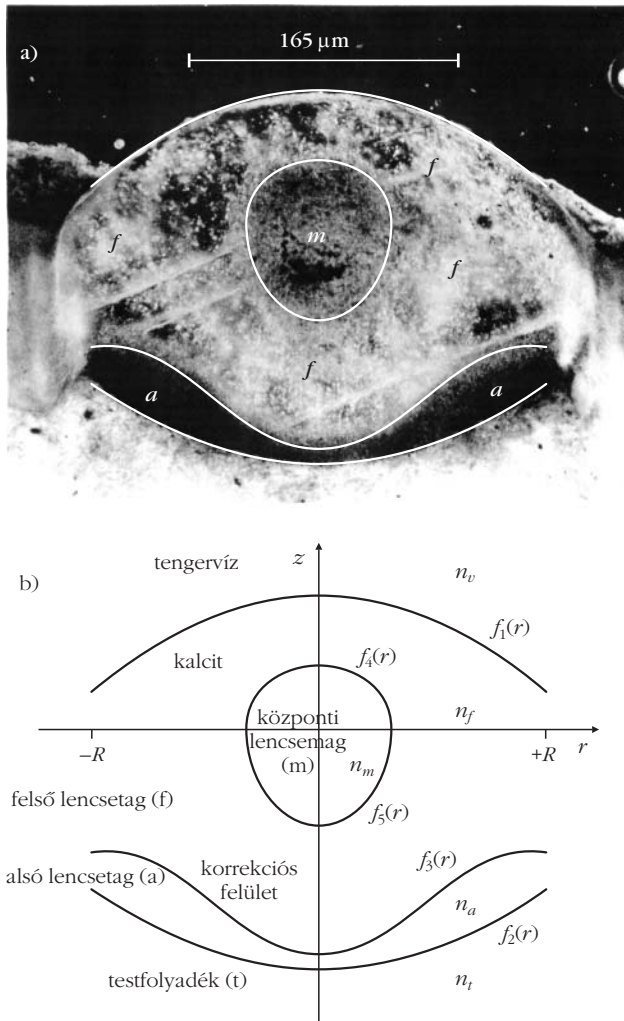
Az abatochroális trilobitaszem a schizochroális szemhez hasonló, de a lencsék között nincs kutikuláris elválasztó réteg, és a lencsék rendezetlenebbül helyezkednek el benne [17]. Az abatochroális szemű *Neocobboldia chinlinica* alsó lencsetagján volt egy apró dudor, ami a lencse kétfókuszúságához vezetett, így e trilobita is egyszerre láthatott élesen közelre és távolra. A trilobitaszemekről további érdekes részletek olvashatók [14] és [18]-ban.

A trilobitalencsék központi magjának elméletileg lehetett mechanikai szerepe is (például szilárdság növelése), bár ez nem valószínű, mivel maga a felső lencsetag, amely tartalmazta e rejtélyes magot, kalcitból állt, ami önmagában is elég erős anyag. A lencsemagnak inkább optikai szerepe lehetett. Úgy gondoljuk, hogy a lencsemag az egy- vagy kétfókuszúságot biztosította a gömbi hiba kiküszöbölése mellett. Cikkünkben e föltevést vizsgáljuk meg egy tipikus, maggal rendelkező trilobitalencsén végzett számítógépes sugárkövetéssel. Bemutatjuk az ezzel kapcsolatos eredményeinket [19] és megmutatjuk, hogy melyek azok a körülmények, amelyek esetén a lencse egy vagy két éles fókusszal rendelkezik.

Vizsgálati módszerek

A központi maggal rendelkező trilobitalencse alakja

A központi lencsemag homogénnek tűnő volta arra enged következtetni, hogy korábban is homogén lehetett [6]. A fosszilis maradványok szerint a megkövesedés során a lencsemag helyzete, mérete és alakja



1. ábra. (a) A szilur kori *Dalmanites* központi magot tartalmazó szemlencsájének főtengelybeli, optikai tengellyel párhuzamos metszete [8] 3. ábrája, 664. oldal). *m*: központi lencsemag; *f*: felső lencsetag; *a*: alsó lencsetag. (b) A *Dalmanites* szemlencsájének törőfelületeit leíró függvények. $f_1(r)$: külső (felső) lencsefelület; $f_2(r)$: belső (alsó) lencsefelület; $f_3(r)$: az alsó és felső lencsetag határfelülete; $f_4(r)$: a lencsemag felső felülete; $f_5(r)$: a lencsemag alsó felülete; R : a lencse sugara; n_v : a tengervíz törésmutatója; n_f : a felső lencsetag törésmutatója; n_a : az alsó lencsetag törésmutatója; n_m : a lencsemag törésmutatója; n_t : a testfolyadék törésmutatója; z : a lencse optikai tengelye, ami egyben a forgásszimmetria tengelye is.

nem változott [14]. A szilur kori *Dalmanites* trilobitafaj tipikus maggal rendelkező szemlencsáját vizsgáltuk (1.a ábra). A szemlencse optikai tengellyel párhuzamos főtengelymetszete [8]-ból származik. A legkisebb négyzetek módszerével a főtengelymetszetben a következő öt függvényt illesztettük a törőfelületekre az r - z koordináta-rendszerben (1.b ábra): $f_1(r)$ a külső lencsefelület, $f_2(r)$ a belső lencsefelület, $f_3(r)$ az alsó és felső lencsetag határfelülete, $f_4(r)$ a központi lencsemag felső felülete, $f_5(r)$ a mag alsó felülete, ahol $r = (x^2 + y^2)^{1/2}$. Ez az öt függvény szolgáltatja a vizsgált lencse matematikai modelljét, ahol az optikai tengely maga a z tengely, ami egyben a forgásszimmetria tengelye is. Feltételeztük, hogy a külső lencsefelszín tengervízzel érintkezett (hiszen a trilobiták tengerben éltek), aminek törésmutatója $n_v = 1,33$, a belső lencse-

felület pedig az $n_t = 1,36$ törésmutatójú testfolyadékkal. A kalcitból álló felső lencsetag törésmutatója $n_f = 1,66$. Az alsó lencsetag n_a és a lencsemag n_m törésmutatóját szabad paramétereknek vettük.

A szilur kori *Dalmanites* szemlencsáját leíró öt függvény alakja a következőnek adódott (1. ábra):

$$\begin{aligned}
 f_1(r) &= A_1 + B_1 r^2, \\
 f_2(r) &= A_2 + B_2 r^2, \\
 f_3(r) &= A_3 + B_3 \cos(C_3 r), \\
 f_4(r) &= \begin{cases} A_4 \sqrt{1 - \frac{r^2}{B_4^2}} & |r| \leq B_4, \\ 0 & \text{egyébként} \end{cases}, \\
 f_5(r) &= \begin{cases} A_5 \sqrt{1 - \frac{r^2}{B_5^2}} & |r| \leq B_5, \\ 0 & \text{egyébként} \end{cases}, \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$A_1 = 0,572039 R, \quad B_1 = -0,425220 / R,$$

$$A_2 = -1,065815 R, \quad B_2 = 0,358080 / R,$$

$$A_3 = -0,774962 R, \quad B_3 = -0,224472 R,$$

$$C_3 = 3,368190 / R, \quad A_4 = 0,268429 R,$$

$$B_4 = 0,316354 R, \quad A_5 = -0,437346 R,$$

$$B_5 = B_4,$$

ahol R a lencse sugara és $r = \sqrt{x^2 + y^2}$.

Sugárkövetés a lencsén keresztül

Az előbbieken definiált lencsére (1. ábra) háromdimenziós számítógépes sugárkövetést alkalmaztunk.

Egy fénysugár és a törőfelület metszéspontja

Képzelnünk el a 3-dimenziós térben egy törőfelületet, amit az $f(x, y)$ kétváltozós függvény ír le, és egy fénysugarat, ami a $\mathbf{p}_0 = (p_{0x}, p_{0y}, p_{0z})$ pontból indul az $\mathbf{e}_0 = (e_{0x}, e_{0y}, e_{0z})$ egységvektorral jellemzett irányba (2. ábra). A fénysugár útja paraméteres formában a következőképpen írható le:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{p}(t) &= \mathbf{p}_0 + \mathbf{e}_0 t \rightarrow x(t) = x_0 + e_{0x} t \\
 & y(t) = y_0 + e_{0y} t \quad (2) \\
 & z(t) = z_0 + e_{0z} t,
 \end{aligned}$$

ahol t a paraméter. A fénysugár és az $f(x, y)$ felület metszéspontjához tartozó t érték a következő egyenletből számítható:

$$f(x_0 + e_{0x} t, y_0 + e_{0y} t) = z_0 + e_{0z} t. \quad (3)$$

Fénytörés a lencse felületein

Miután meghatároztuk a fénysugár metszéspontját a törőfelülettel, a Snellius–Descartes-törvény segítségével kiszámítható a megtört fénysugár iránya. Az $f(x,y)$ törőfelület normálvektora (2. ábra):

$$\mathbf{N} = \frac{\mathbf{e}_1 \times \mathbf{e}_2}{|\mathbf{e}_1 \times \mathbf{e}_2|}, \quad \text{ahol } \mathbf{e}_1 = \left(1, 0, \frac{\partial f(x,y)}{\partial x}\right), \quad (4)$$

$$\mathbf{e}_2 = \left(0, 1, \frac{\partial f(x,y)}{\partial y}\right).$$

A határfelületen áthaladó, majd megtört fénysugár új irányát megadó egységvektor:

$$\mathbf{e}_{\text{új}} = \frac{\mathbf{e}_{\text{előző}}}{n} - \left(\cos\beta - \frac{\cos\alpha}{n}\right)\mathbf{N}, \quad (5)$$

ahol α és β a bejövő és megtört fénysugár beesési merőlegestől mért szöge, és $n = n_{\text{új}}/n_{\text{előző}}$ a relatív törésmutató (2. ábra): ha $n_{\text{előző}} = n_0$, akkor $n_{\text{új}} = n_1$, és ha $n_{\text{előző}} = n_1$, akkor $n_{\text{új}} = n_2$.

A lencse alatt kialakuló fényintenzitás eloszlása

A lencsén és annak $f_1(r), f_2(r), f_3(r), f_4(r)$ és $f_5(r)$ függvények által leírt, (1) szerinti törőfelületein áthaladó sugarakat tanulmányoztuk (1. ábra). Ezt az öt függvényt a z tengely körül megforgatva kapjuk a forgásszimmetrikus szemlencse 3-dimenziós modelljét. Képzeljünk el egy ilyen lencsét, amit felülről világítunk meg az optikai tengellyel párhuzamos, kör keresztmetszetű fénynyalábbal! Ekkor a nyaláb és a lencse is forgásszimmetrikus, ezért a geometriai optikai probléma 2-dimenzióssá egyszerűsíthető: osszuk föl a megvilágító homogén nyaláb keresztmetszetét m darab koncentrikus zónára (például $m = 10$ a 3. ábrán). A $k = 1$ -hez tartozó zóna egy r sugarú körlap, míg azon zónák amelyekre $1 < k < m$, gyűrűk, amelyek vastagsága:

$$r = \frac{R}{m}, \quad (6)$$

ahol R a lencse sugara és $r = (x^2 + y^2)^{1/2}$. A k -edik zóna területe:

$$A_k = (k r)^2 \pi - [(k-1)r]^2 \pi = (2k-1)r^2 \pi = \frac{(2k-1)R^2 \pi}{m^2}, \quad k = 1, 2, \dots, m, \quad (7)$$

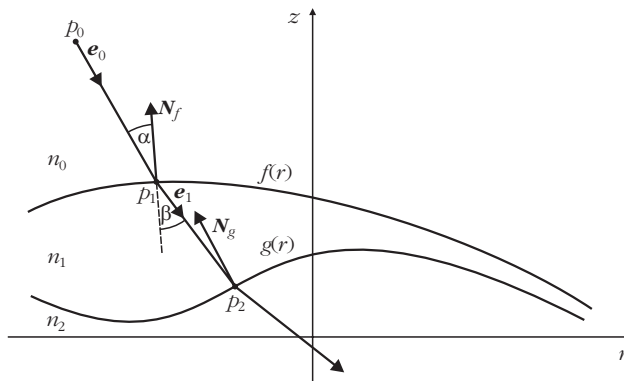
a bejövő nyaláb keresztmetszete pedig (3.a ábra):

$$A_{\text{nyaláb}} = R^2 \pi. \quad (8)$$

A teljes nyaláb fényerőssége:

$$P_{\text{nyaláb}} = I_{\text{nyaláb}} A_{\text{nyaláb}}, \quad (9)$$

ahol $I_{\text{nyaláb}}$ a homogén nyaláb intenzitása. A k -edik zóna fényerőssége:

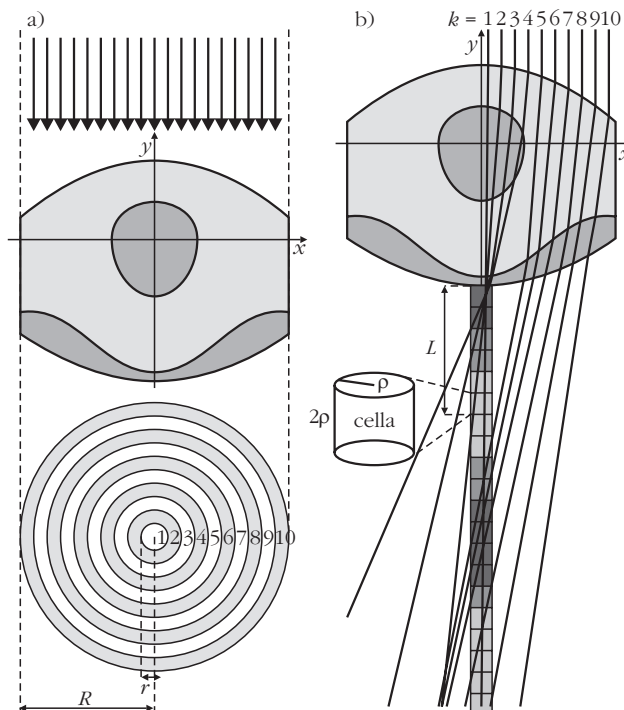


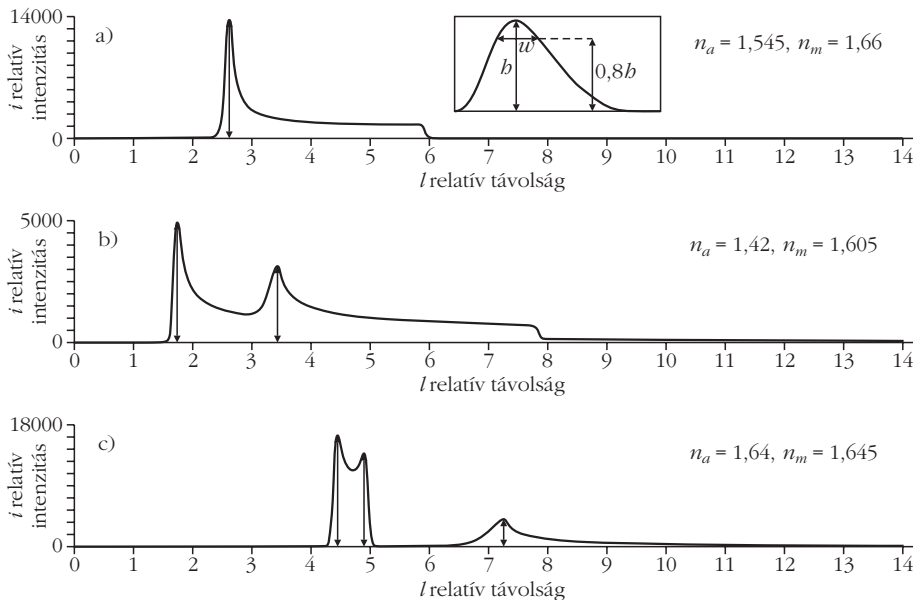
2. ábra. A P_0 pontból \mathbf{e}_0 irányba induló fénysugár útja két törőfelületen keresztül, ahol a felületek metszetét leíró függvény $f(r)$ és $g(r)$. A különböző tartományok törésmutatói n_0, n_1 és n_2 . A fénysugár először a P_1 pontban tör meg és \mathbf{e}_1 irányában halad tovább. Az α és β a bejövő és megtört fénysugár beesési merőlegestől mért szöge. Az $f(r)$ és $g(r)$ függvények normálvektorait \mathbf{N}_f és \mathbf{N}_g jelöli rendre a P_1 és P_2 pontban. Az $\mathbf{e}_0, \mathbf{e}_1, \mathbf{N}_f$ és \mathbf{N}_g egységvektorok.

$$P_k = \frac{P_{\text{nyaláb}} A_k}{A_{\text{nyaláb}}} = I_{\text{nyaláb}} A_k, \quad (10)$$

ahol A_k a k -edik zóna keresztmetszetének területe. Kiszámítottuk a lencse alatt az optikai tengely mentén a fényintenzitást. Definiáltunk egy henger alakú, $14R$ hosszúságú, $\rho = 0,002R$ sugarú tartományt, amit 2ρ hosszúságú elemi cellákra osztottunk föl (3.b ábra). Így az optikai tengely mentén a lencse alatt 3500 elemi cellát kaptunk. Az optikai tengellyel párhuzamo-

3. ábra. (a) A beeső párhuzamos sugarakból álló fénynyaláb felosztása $m = 10$ zónára. (b) Sugárkövetés a központi maggal rendelkező trilobitallencsén keresztül az optikai tengelyen kialakuló intenzitásmintázat számításához. Minél sötétebb egy cella (sugár: ρ , magasság: 2ρ), annál több fénysugár halad át rajta.





4. ábra. Példák a központi maggal rendelkező trilobalencse (1. ábra) optikai tengelyének mentén kialakuló $i = I/I_{nyaláb}$ relatív intenzitás az $l = L/R$ relatív távolság függvényében. (a) Egy intenzitáscsúcs, $n_a = 1,545$, $n_m = 1,66$. (b) Két intenzitáscsúcs, $n_a = 1,42$, $n_m = 1,605$. (c) Három intenzitáscsúcs, $n_a = 1,64$, $n_m = 1,645$. Az (a) betétabráján látható a $Q = b/w$ csúcstelenség definíciója, ahol b a csúcs magassága, w pedig a csúcs $i = 0,8b$ magasságához tartozó szélessége.

san beeső fénynyaláb mellett egy adott lencsezónából érkező minden beeső fénysugár az optikai tengely ugyanazon pontjában, azaz ugyanabban az elemi cellában metszi az optikai tengelyt. A metszéspontot minden egyes fénysugárra a fönt bemutatott sugárkövetéssel számoltuk. A számítás első lépéseként minden cellához 0 értéket rendeltünk. Ezután $m = 500\,000$ fénysugár útját követtük végig a lencsén keresztül. A k -edik beeső fénysugár a k -edik gyűrűzóna járulékát képviselte. A megtört fénysugár lencséből való kilépése után kiszámítottuk az optikai tengellyel való metszéspontját, és meghatároztuk azon cellákat, amelyekben áthaladt. Minden olyan cella tartalmát, amit érintett a nyomon követett fénysugár, a következő mennyiséggel növeltük:

$$\Delta I_k = \frac{P_k}{A_{cella}}, \quad (11)$$

ahol $A_{cella} = \rho^2 \pi$ a cella keresztmetszetének területe. (10) és (11)-ből következik:

$$\Delta I_k = \frac{I_{nyaláb} A_k}{\rho^2 \pi}. \quad (12)$$

Az összes m fénysugárra elvégezve az előbbi eljárást, az optikai tengelyen a cellákban (3.b ábra) megkapjuk az I intenzitást a lencsétől mért L távolság függvényében (3.b ábra). A továbbiakban az $i = I/I_{nyaláb}$ relatív intenzitást és a lencsétől mért $l = L/R$ relatív távolságot tekintjük. $\Delta n_a = \Delta n_m = 0,0025$ törésmutatófelbontással vizsgáltuk, hogy az $i(l)$ függvény alakja miként függ az alsó lencsetag és a központi lencsemag n_a és n_m törésmutatójától a következő paramétertartományokban:

$$\begin{aligned} n_a &= 1,545, n_m = 1,66 & 1,36 < n_a < 1,68, \\ & & 1,52 < n_m < 1,74. \end{aligned} \quad (13)$$

A paraméterek így módon történő behatárolásának magyarázata a következő: az alsó lencsetag n_a törésmutatója nem lehetett kisebb, mint az alatta levő testfolyadéké ($n_t = 1,36$) és nem lehetett sokkal nagyobb, mint a fölötte levő kalcité ($n_f = 1,66$). Másrészt, a lencsemag n_m törésmutatója nem lehetett kisebb, mint a száraz kité ($1,56$) és nem érte el a guaninét ($1,80$). n_a és n_m különböző értékei eltérő $i(l)$ görbékhez vezetnek egy (4.a ábra), kettő (4.b ábra) vagy három (4.c ábra) csúccsal. Így a központi maggal bíró trilobalencsék a törésmutatóktól függően egy-, két-, illetve háromfókuszúak lehetnek. Minden $i(l)$ görbét Gauss-simításnak vetettük alá:

$$i(l)_{simított} = \int_{k=-\alpha}^{\alpha} i(l) \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(l-k)^2}{2\sigma^2}} dk, \quad (14)$$

ahol $\sigma = 0,02R (= 10$ cellahossz) és $\alpha = 5\sigma$. Az $i(l)$ relatív intenzitásgörbén minden csúcs és környezete egy fókuszstartományt alkot. A fókuszstartomány élességét a

$$Q = \frac{b}{w} \quad (15)$$

mennyiséggel definiáltuk, ahol b az intenzitáscsúcs magassága, w pedig az $i = 0,8b$ magassághoz tartozó szélessége (4.a ábra). A Q mennyiséget a gömbi hiba kiküszöbölése mérőszámának tekintjük. Egy adott intenzitáscsúcs w szélességének $0,8b$ magassághoz való rendelése önkényesnek tűnik, azonban ha kisebbre választjuk az intenzitást (például $i = 0,5b$), akkor egyre nehezebbé válik két közeli intenzitáscsúcs automatikus fölismerése (4.c ábra). Így tehát nagy b és kicsi w vezet nagy Q értékekhez, azaz éles fókuszáláshoz. Csúcsnak azokat a helyeket tekintettük, amelyekre igazak a következő feltételek:

$$i(l_{i-1}) < i(l_i) > i(l_{i+1}) \text{ és } Q \geq 4000. \quad (16)$$

Tapasztalataink azt mutatták, hogy a $Q^* = 4000$ küszöbérték megfelelő volt, hogy minden intenzitáscsúcsot föl tudjunk ismerni. Természetesen, az $i(l)$ alakja függ m -től is. Ha m túl kicsi, akkor hamis eredményt kapunk. Megvizsgáltuk, hogy miként függ m nagyságától az $i(l)$, és arra jutottunk, hogy ha $m < 10^3$, akkor $i(l)$ erősen változik m -mel, míg ha $m > 10^5$, akkor már nincs jelentős változás az $i(l)$ -ben, hiába növeljük m -et.

A 2-dimenzióra egyszerűsített és a valódi 3-dimenziós sugárkövetés összehasonlítása

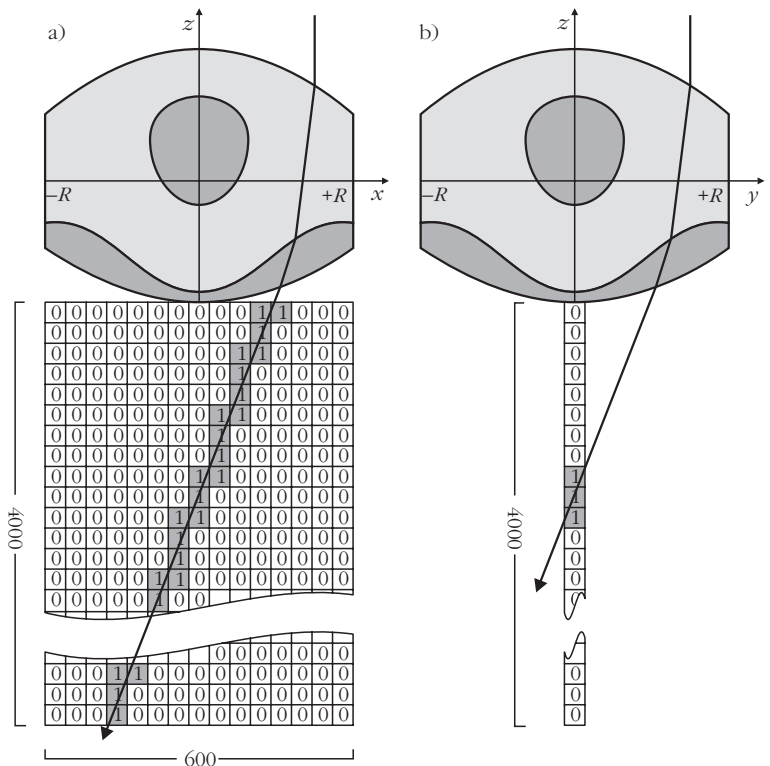
Hogy megbizonyosodjunk arról, hogy jó eredményt kapunk a fönti 2-dimenziósra egyszerűsített sugárkövetéssel, 3-dimenziós számításokat is végeztünk. A sugárkövetés folyamata teljesen hasonló három dimenzióban is, csak a törőfelületeket leíró $f_1(x, y)$, ... $f_5(x, y)$ függvények ekkor kétváltozósak (x, y) és 3-dimenziós vektorokkal kell számolnunk. Egy korábbi munkánkban [20] éppen e módszert alkalmaztuk, ahol napsütötte vízcseppek alatt kialakuló fényintenzitás-mintázatokat számítottunk. A 3-dimenziós számításban a lencse alatti x - z síkban egy 600×4000 elemből álló mátrixot definiáltunk (5. ábra). Kezdetben minden mátrixelem 0 értéket kapott. Minden fénysugár útját végigkövettük a lencsén, majd miután alul kilépett abból, meghatároztuk azon mátrixelemeket, amelyeket a vizsgált sugár érintett, majd 1-gyel növeltük a mátrixelemek értékét. $4 \cdot 10^6$ fénysugarat követtünk így nyomon, amelyek egy, a lencse fölötti, az optikai tengelyre merőleges, négyzet alakú tartományból érkeztek. A számítás végére a mátrix a lencse alatti térfogatban levő hengerszimmetrikus intenzitáseloszlás főtengelemetszetével arányosan töltődött fel értékekkel. A mátrix 300-adik oszlopa tartalmazta az optikai tengelyen mérhető intenzitáseloszlást. A 2- és 3-dimenziós számolás eredményét összevetve, ugyanazt az eredményt kaptuk. Mivel a 3-dimenziós térben végzett sugárkövetés sokkal több számítógépidőt igényel, ezért a 2-dimenzióra egyszerűsített sugárkövetést alkalmaztuk.



Cikkünk II. részében a számítógépes sugármenet-követéssel kapott paleo-biooptikai eredményeinket mutatjuk be a *Dalmanites* trilobita központi magot tartalmazó szemlencséje esetén.

Irodalom

- Whittington, H. B.: *Fossils Illustrated 2 – Trilobites*. Boydell Press, Woodbridge, England, 1992.
- Towe, K. M.: Trilobite eyes: calcified lenses in vivo. *Science* 179 (1973) 1007–1009.
- Clarkson, E. N. K.: The visual system of trilobites. *Palaeontology* 22 (1979) 1–22.
- Levi-Setti, R.: *Trilobites*. (2nd ed.) University of Chicago Press, Chicago and London, 1993.
- Thomas, A. T.: Developmental palaeobiology of trilobite eyes and its evolutionary significance. *Earth Science Reviews* 71 (2005) 77–93.
- Levi-Setti, R.; Clarkson, E. N. K.; Horváth, G.: The Eye: Paleontology. In: *Frontiers of Biology – Italian Encyclopedia. Part I. Origin and Evolution of Life. Section 7. Construction of the Organism*. Eds.: D. Baltimore, R. Dulbecco, F. Jacob, R. Levi-Montalcini (2002) 379–395.
- McCormick, T.; Fortey, R. A.: Independent testing of a paleobiological hypothesis: the optical design of two pelagic trilobites reveals their relative palaeobathymetry. *Paleobiology* 24 (1998) 235–253.
- Clarkson, E. N. K.; R. Levi-Setti: Trilobite eyes and the optics of Des Cartes and Huygens. *Nature* 254 (1975) 663–667.



5. ábra. A központi maggal rendelkező trilobitalencse alatti intenzitáseloszlás számítása az x - z síkban definiált 600×4000 méretű mátrixban, aminek elemeit kezdetben 0-ra állítjuk. Minden egyes cella értékét, amit érint egy fénysugár 1-gyel növeljük. Példaként két ilyen fénysugarat láthatunk [(a), (b)], amelyek a $\mathbf{p}_A = (0, 75R, 0, R)$ és $\mathbf{p}_B = (0, 0, 75R, R)$ pontokból indultak, ahol R a lencse sugara.

- Horváth, G.: Geometric optics of trilobite eyes: a theoretical study of the shape of aspherical interface in the cornea of schizochroal eyes of phacopid trilobites. *Mathematical Biosciences* 96 (1989) 79–94.
- Horváth, G.; Clarkson, E. N. K.: Computational reconstruction of the probable change of form of the corneal lens and maturation of optics in the post-ecdysial development of the schizochroal eye of the Devonian trilobite *Phacops rana milleri* Stewart 1927. *Journal of Theoretical Biology* 160 (1993) 343–373.
- Horváth, G.: The lower lens unit in schizochroal trilobite eyes reduces reflectivity: on the possible optical function of the intralensar bowl. *Historical Biology* 12 (1996) 83–92.
- Gál, J.; Horváth, G.; Clarkson, E. N. K.; Haiman, O.: Image formation by bifocal lenses in a trilobite eye? *Vision Research* 40 (2000) 843–853.
- Lee, M.; Torney, C.; Owen, A. W.: Magnesium-rich intralensar structures in schizochroal trilobite eyes. *Palaeontology* 50 (2007) 1031–1038.
- Clarkson, E.; Levi-Setti, R.; Horváth, G.: The eyes of trilobites: The oldest preserved visual system. *Arthropod Structure and Development* 35 (2006) 247–259.
- Horváth, G.; Clarkson, E. N. K.; Pix, W.: Survey of modern counterparts of schizochroal trilobite eyes: structural and functional similarities and differences. *Historical Biology* 12 (1997) 229–263.
- Buschbeck, E.; Ehmer, B.; Hoy, R.: Chunk versus point sampling: visual imaging in a small insect. *Science* 286 (1999) 1178–1180.
- Zhang, X. G.; Clarkson, E. N. K.: The eyes of Lower Cambrian eodiscid trilobites. *Palaeontology* 33 (1990) 911–933.
- Horváth, G.: *Biooptika: a geometriai optika biológiai alkalmazásai*. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2004.
- Egri, Á.; Horváth, G.: Possible optical functions of the central core in lenses of trilobite eyes: spherically corrected monofocality or bifocality. *Journal of the Optical Society of America A* 29 (2012) 1965–1976.
- 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 + electronic supplement.

SZÍNEK HARMÓNIAJA: A BOGLÁRKALEPKÉK SZERKEZETI KÉK SZÍNÉNEK FAJFELISMERÉSI SZEREPE – I. RÉSZ

Kertész Krisztián, Piszter Gábor, Vértesy Zofia, Biró László Péter
MTA TTK Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet¹

Bálint Zsolt
Magyar Természettudományi Múzeum²

Az MTA TTK MFA Nanoszerkezetek Osztályán pásztázó és transzmissziós elektronmikroszkópos módszerekkel, valamint optikai reflexiós spektrometriával tanulmányoztuk kilenc boglárkalepké faj szárnyainak kék színét adó pikkelyek nanoszerkezetét és optikai tulajdonságait, valamint ezek kapcsolatát a lepkék rajzási idejével. A lepképikkelyek fotonikus nanoszerkezeti jellemzőit egy saját fejlesztésű számítógépes program segítségével jellemeztük a pásztázó és transzmissziós elektronmikroszkóppal készült felvételeken, míg a színt a szárnyakon mért fényvisszaverési spektrumok alapján határoztuk meg. Az így nyert szerkezeti és spektrális információk alapján mesterséges neurális hálózat segítségével kimutattuk a lepkék színének és pikkelyeik fotonikus nanoszerkezetének fajspecifikusságát. Ezek alapján megállapítottuk, hogy mind a spektrális, mind pedig a szerkezeti adatok alapján 90%-ot meghaladó pontossággal végezhető el a lepké fajok azonosítása. A reflexiós spektrumokat további elemzésnek is alávetettük: közös színínger-diagramban ábrázoltuk a megvizsgált egyedek színínger-koordinátáit úgy, hogy számításba vettük a tanulmányozott boglárkalepkék szemének négyféle színérzékelő receptorát. Az így adódó háromdimenziós színíngertérben fajonként sokkal jobban elkülönülnek az egyedek színínger-koordinátái, mint a három emberi színérzékelő receptor érzékenységi görbéit felhasználó, korábban alkalmazott kétdimenziós színíngertérben. Megvizsgáltuk továbbá a lepké fajokra jellemző színek és a lepkék rajzási idejének korrelációját, amiből több mint 100 példány fényvisszaverését mértük roncsolásmentesen. Kimutattuk, hogy a basonló színű fajok életükben időben elkülönülnek, így eredményesen kiküszöbölik a szín helytelen azonosításából eredő tévesztéseket, egyben lehetővé téve a sikeresebb párválasztást.

A Boglárka-rokonúak (Polyommata) nemzetsége fontos részét alkotja az északi félgömb nappali lepkefaunájának, mivel nyílt füves területeken igen nagy egyedszámban képviselik magukat. A boglárkakat kutató entomológusok az egyes fajokat rendszerint a szárnyuk fonákján látható bonyolult mintázatokat összehasonlítva határozzák meg [1], ami magas szintű szaktudást és sok éves gyakorlatot kíván. Ezzel szemben igen valószínűtlen, hogy a lepkék agya elégséges adatfeldolgozási kapacitással rendelkezik ahhoz,

hogy repülés közben képes legyen fajtársai azonosítására a fonák összetett rajzolata alapján.

A nemzetséget képviselő lepké fajok hímjei többnyire a kék különböző árnyalataiban pompázó szárnyakkal rendelkeznek. A csillogó kék szín összetett nanoszerkezetektől származik, amelyek szelektíven kölcsönhatásba lépnek a rájuk eső fehér fény különböző hullámhossz-tartományaival, aminek következtében bizonyos hullámok behatolnak a szerkezetbe, míg más hullámhosszak teljesen visszaverődnek [2, 3]. Az ilyen típusú nanostruktúrákat fotonikus kristály típusú szerkezeteknek nevezzük [4]. A lepkék esetében ezek bonyolult, önszerveződő folyamatok során jönnek létre az egyedfejlődés utolsó (bábállapot) szakaszában. A lepkeszárnyakat borító pikkelyekben található bonyolult és jellegzetes nanoarchitektúrák kifejlesztése valószínűleg fontos előnyökkel szolgálhatott az evolúciós versenyben. Korábban kimutatták, hogy a boglárkalepkéknél a szárnyak kék színe fontos szerepet játszik az egyedek szexuális kommunikációjában, megvalósítva a szín alapján történő fajazonosítást. A hímek szárnyszínének fontosságát tovább hangsúlyozzák az egymást követő generációkon át ható változások [5].

A fotonikus kristály (tökéletesen rendezett vagy kvázirendezett) típusú anyagok olyan nanokompozitok, amelyekben a két áttetsző összetevő dielektromos állandója váltakozik a fény hullámhosszával összemerhető periodicitással, ami a látható tartományban néhány 100 nanométert jelent. A fotonikus kristályra eső fény kölcsönhatásba lép ezzel a periodikus nanoszerkezettel, aminek következtében bizonyos hullámhossz-tartományok nem tudnak terjedni a szerkezetben, arról teljes egészében visszaverődnek. Ezt a visszaverődési hullámhossz-tartományt nevezzük fotonikus tiltott sávnak [4]. Ennek kialakulási módja a félvezető fizikából jól ismert tiltott sáv (vegyérték- és vezetési sáv között) analógja.

A lepkék pikkelyeiben található fotonikus kristályszerkezet az esetek többségében kitinből és levegőből áll: ezek periodikus váltakozása alakítja ki a szelektív fényvisszaveréshez szükséges törésmutató-különbséget [2]. A visszavert fény hullámhossza a fotonikus kristályszerkezet tulajdonságaitól függ. Amennyiben a törésmutató-különbséget állandónak tételezzük fel (jelen esetben kitin/levegő kompozit), a fotonikus tiltott sáv spektrális helyzetét a kristályszerkezet jellemző méretei és szimmetriatulajdonságai határozzák meg, hasonlóan a félvezetőkben található „elektronikus” tiltott sávhoz [4]. A gyakorlatban ez úgy jelentke-

¹ www.nanotechnology.hu

² www.nhmus.hu

zik, hogy a karakterisztikus visszaverési spektrum előállításához olyan jellegzetes nanoszerkezetre van szükség, amelynek tulajdonságai jól meghatározottak. A lepkéknél ez nemzedékről nemzedékre öröklődő fajspecifikus nanoszerkezetet jelent.

A lepkék szárnyait többnyire élénk színekkel rendelkező pikkelyek borítják. Átlagos méretük $100 \times 50 \times 1 \mu\text{m}^3$. Széles körű kutatások folytak és folynak a lepkeszárnyak színének eredetével kapcsolatban. A kémiai (festék/pigment) szín eredete mindig valamilyen festékanyag, jelen cikkünkben ilyen színekkel nem foglalkozunk. A fizikai vagy szerkezeti színeket [6] fotonikus szerkezet állítja elő, amit többnyire a pikkelyek felszínét tagoló hosszanti gerincek, keresztbordák, rácsok és ablakocskák, továbbá a pikkelytestet kitöltő rétegek vagy szivacsos anyag együttesen alkotják. Az általunk vizsgált lepkefajok szárnyainak kék színárnyalatai fizikai (szerkezeti) színek [2].

A boglárkalepkék élőhelyét és biológiai tulajdonságait tekintetbe véve rendkívüli fontossággal bírhatnak az élénk szerkezeti színek. Egyszerű, ugyanakkor feltűnő (nagy távolságból is észlelhető) vizuális jelzésként jelentősen leegyszerűsíthetik a fajtársak, illetve a potenciális versenytársak természetes körülmények közötti helyes azonosítását. E jelzésnek olyannyira egyértelműnek kell lennie, hogy a lepke repülés közben is képes legyen felismerni, még abban az optikailag rendkívül bonyolult közegben is, ami az élőhelyet jellemzi (a boglárkák rendszerint alacsonyan szállnak a füves, virágos mezők felett). Ez a távolra ható optikai jelzés valószínűsíthetően csak az udvarlás nyitó akkordját jelenti, amit ezután a közelre ható, a szaglószerkezethez kapcsolódó kémiai jelzés kibocsátása követ. A hím nőtényhez való közeledését és udvarlását a párosodás követi, hogy megtörténjen a genetikai állományok továbbörökítése.

Korábbi kutatásaink során arra a feltételezésre jutottunk, hogy a sikeres párválasztást elősegítő jelzés optikai eredetű, és valóban a szerkezeti színekhez köthető. A lepkék természetes élőhelyén történő megfigyelések is igazolják, hogy a hímek szárnyának felülete fontos szerepet játszik a sikeres udvarlás elkezdésében. A lepke vizuális jelzésekkel kommunikál a fajtársaival, ezért színének fajspecifikusnak kell lennie. E hipotézisünket a Magyar Természettudományi Múzeum Állattára által rendelkezésünkre bocsátott lepkepéldányok esetében igazoltuk is. Olyan módszert fejlesztettünk ki, amellyel a boglárkalepkék rendszertani (taxonómiai) összehasonlítása elvégezhető: pusztán a szárnyak színe alapján elkülöníthetők az egymással közeli rokonságban levő fajok.

Jelen munkában megvizsgáljuk 9 boglárkalepkefaj színének spektrális és szárnypikkelyeinek szerkezeti tulajdonságait, majd megmutatjuk, hogy a kék ivari jelzőszín árnyalata összehangolt a lepkék jól behatárolt repülési idejével, vagyis azzal az időtartammal, amíg az adott lepkefaj az élőhelyén kifejllett (imágó) formában megtalálható [7]. Ezért feltételezhető, hogy a spektrálisan különböző, fajspecifikus nanoszerkezetek reflexiójából eredő színárnyalatok felhasználhatók a

lepkék egymás közötti, hosszútávú szexuális kommunikációjához. E feltételezés igazolásához megmértük több mint 100 lepke szárnyának fényvisszaverési spektrumát, és az így kapott adatsorok faj szerinti osztályozásához mesterséges neurális hálózat elvű szoftvert használtunk fel [8]. Az általunk kiválasztott és megvizsgált 9 lepkefaj minden példánya azonos élőhelyről származott, így azonos környezeti viszonyok között éltek. Továbbá maguk a fajok levezethetőek egy nem túl távoli feltételezett közös őstől, tehát közeli rokonok. Mivel az élőhelyek drasztikus különbségéből fakadó és az esetleges távoli rokonságból adódó szélsőséges változókat kiküszöböltük, ezek tudatában már valóban érdemes volt megvizsgálni, hogy milyen mértékben lehetséges a hímek kék színét előállító fotonikus nanoszerkezet fajok szerinti osztályozása a mesterséges neurális hálózatos megközelítésben. Vizsgálataink alapján feltételezhető, hogy a boglárkákra olyannyira jellemző szivacszerű (*pepper-pot structure*) fotonikus nanoszerkezet [7] fajoként különböző tulajdonságokkal rendelkezik. Ezt a szerkezet által visszavert fény szabad szemmel történő megfigyelése (a színes 1. ábra a hátsó belső borítón) is jól mutatja. A 9 faj vizsgálatával olyan tudásra tehetünk szert, amely segít feltérképezni a fotonikus nanoszerkezet és az általa reflektált szín közötti kapcsolatot.

A vizsgált lepkék

A Boglárka-rokonúak (Polyommata) nemzetsége (tribusza) Közép-Európa gazdag nappali lepkefaunájának körülbelül egy tizedét adja. Vizsgálataink során a nemzetségnek a Budai-hegységben található Normafa környezetében élő 9 fajt tanulmányoztuk. A vizsgált lepkék a Magyar Természettudományi Múzeum Állattárából származnak, a példányokat 1930 és 2010 között gyűjtötték. A kiválasztott fajok jól megalapozott monofiliát alkotnak (egyetlen közös őstől származnak) a nemzetségen belül: külön meggyező ivarszervi felépítéssel, illatpikkely-szerkezettel, fonákmin-tázattal és nagyon hasonló életmóddal rendelkeznek. Molekuláris vizsgálatok alapján kijelenthető, hogy a monofilián belül a fenti fajok 7 monofiletikus csoportot (génuszt) alkotnak, amelyeket az 1. táblázatban zárójelben tüntettünk fel.

A fent bemutatott hasonlóságokon túl a vizsgált hímek mindegyike kék szárnyfelszínnel rendelkezik, fajoként különböző árnyalatban, míg a nőtények szárnyai barnák (ez alól kivételt képez a csipkés boglárka nőténye, amit nem vontunk be a vizsgálatokba). Ennek okán hasonló párkeresési stratégiát alkalmaznak a hímek: az élőhelyük teljes egészét bejárják a nőtények után kutatva, ellentétben a közeli rokon *Plebejus* fajokkal, amelyek területüket őrzik, ami egy sokkal helyhez kötöttebb viselkedésmód.

A vizsgált lepkék mindegyikét hasonló félszáraz irtásrét, száraz és erdős sztyepprét jellegű élőhelyeken (például Normafa) gyűjtötték. A spektrális és szerkezeti méréseinkben minden fajból legalább 10

1. táblázat

A megvizsgált fajok nevei és darabszáma

magyar név	tudományos (latin) név	db
csíkos boglárka	<i>Polyommatus (Agrodiaetus) damon</i>	10
aprószemes boglárka	<i>Polyommatus (Cyaniris) semiargus</i>	10
égszínkék boglárka	<i>Polyommatus (Lysandra) bellargus</i>	20
ezüstkék boglárka	<i>Polyommatus (Lysandra) coridon</i>	10
csipkés boglárka	<i>Polyommatus (Meleageria) daphnis</i>	10
amandusz boglárka	<i>Polyommatus (Neolysandra) amandus</i>	10
mezei boglárka	<i>Polyommatus (Plebicula) dorylas</i>	20
ikarusz boglárka	<i>Polyommatus (Polyommatus) icarus</i>	10
terzitész boglárka	<i>Polyommatus (Polyommatus) iberistes</i>	10

példányt vizsgáltunk. Az egyes fajokra jellemző repülési időszakok feltérképezéséhez (repülési hisztogram) 285 lepke adatait használtuk, amely példányokat Normafa 20 kilométeres körzetében gyűjtötték, ami kizárja a geológiai és makroklimatikus különbözőségekből fakadó változásokat.

Vizsgálati módszerek

A fizikai színt előállító fotonikus kristályszerkezetet pásztázó (SEM) és transzmissziós (TEM) elektronmikroszkóppal vizsgáltuk a korábban bevált minta-előkészítési eljárás alkalmazásával. Mind a SEM (LEO 1540 XB készülék), mind a TEM (TECNAI 10 készülék) felvételek esetében a lepkék jobb hátulsó szárnyát használtuk. A SEM vizsgálatokhoz mindig ugyanazt, a szárny főerei által körülzárt darabot vágtuk ki és szén-szalaggal rögzítettük a mintatartóhoz. Az ideális elektromos vezetési tulajdonságok eléréséhez a szárnyakból készült mintákra vékony aranyréteget porlasztottunk. A SEM képek elkészítése során mindenkor 50 000-szeres nagyítást használtunk, lehetővé téve a felvételek későbbi pontos összehasonlítását. A keresztmetszeti TEM felvételek elkészítéséhez a szárnyakból ultramikrotom használatával 70 nm vastagságú metszeteket készítettünk és azokat rézrácsra rögzítettük.

A szárnyak spektrális tulajdonságának vizsgálatához Avantes 2048-2 moduláris spektrofotométert használtunk. Tekintve a vizsgált sérülékeny szárnyminták nagy számát, szükséges volt egy könnyen megismételhető, gyors és roncsolásmentes mérési mód kifejlesztésére. E célból készítettük el a „spektrodeszkát”, amely a szárnyfelületre merőleges reflexiómérést tesz lehetővé az említett kívánalmak teljesítésével [8]. A spektrodeszka használatakor minden lepke jobb elülső szárnyán, a főerek között (a „sejtben”) mértük a reflexiós spektrumokat. A megvilágítás deuterium-halogén fényforrással történt, a detektálást a szárnyra merőleges optikai szál végezte. Ez vezette a

spektrométerhez a visszavert fényt. A mérésekben fehér diffúziós standardhoz (Avantes WS-2) viszonyítva vizsgáltuk a boglárkalepkék színét; ez tette lehetővé a spektrumok összehasonlítását. A mért görbék, várakozásainknak megfelelően, a kék tartományban rendelkeznek legnagyobb intenzitású csúccsal. Az összehasonlítás megkönnyítése érdekében minden egyes spektrumot a kék csúcs maximumához normáltunk, továbbá az egyedi spektrumokat fajonként is átlagoltuk. Korábbi munkánkban [8] megmutattuk, hogy az egy fajba tartozó egyedek színe gyakorlatilag megegyezik egymással. Emiatt végezhető el a fajonkénti átlagolás. A módszer segítségével azt a fajspecifikus reflexiós spektrumot kapjuk, ami jellemzi az általunk vizsgált lepkefajt.

A SEM és TEM felvételek feltárják a boglárkák szárnyán található pikkelyek fotonikus nanoszerkezetét. A struktúra egy többrétegű, lyukacsos, szivacszerű kitin-levegő nanokompozit (1. ábra). A felvételeken látható nanoszerkezetek látszólag nagyon hasonlóak, mégis elegendő különbség fedezhető fel köztük, így kissé eltérően befolyásolják a róluk visszavert fény hullámhossz szerinti intenzitáseloszlását.

Ahhoz, hogy a SEM és TEM felvételekből kinyerjük a fotonikus nanoszerkezet jellemző paramétereit, felhasználtuk az osztályunkon korábban kifejlesztett BioPhot Analyzer szoftvert. Segítségével kijelölhetők a pikkelyszerkezet általunk érdekesnek vélt tartományai, amelyek szerkezeti paramétereit a program automatikusan kiszámítja és tárolja.

A reflexiós spektrumok és a fotonikus nanoszerkezet mért paramétereit mesterséges neurális hálózat (MNH) elvű szoftverrel értékeltük ki [9]. A mesterséges neurális hálózatok olyan bioinspirált számítási rendszerek, amelyeket a biológiai neurális hálózatok mintájára készítettek. A természetes neurális hálózatokhoz hasonlóan nagy mértékben párhuzamos felépítéssel és tanulási képességgel rendelkeznek, amelyek különféle, nem vagy nehezen algoritmizálható feladatok megoldására használhatók fel.

Egy mesterséges neurális hálózat azonos helyi dolgozást végző művelési elemek, úgynevezett „virtuális neuronok” bonyolultan összekapcsolt rendszeréből áll. A neuron működése során a bemenetere kapcsolt értékek súlyozott átlagát összeszorozza a benne található nemlineáris függvényel (esetünkben tangens hiperbolikus), és az így kapott értéket küldi a kimenetre. A neuronokat rétegekbe szervezhetjük, ahol egy rétegbe hasonló típusú neuronok tartoznak. Vizsgálatainkban három réteg neuront (bemeneti – rejtett – kimeneti) használtunk, amelyek elemszámát az adott feladathoz igazítottuk. A spektrális és szerkezeti vizsgálatoknál a bemenetek számát a problémára jellemző paraméterek száma határozta meg, míg a kimeneti neuronok mindkét esetben a vizsgált 9 lepkefaj számával egyeztek meg. A rejtett réteg neuronjainak száma a két neurális hálózat optimalizációja közben került meghatározásra. A hálózat használata betanítással kezdődik, a bemeneti adatok felével, így lesz alkalmas újabb egyedek fájának meghatározására.

Irodalom

1. Gozmány L.: *Fauna hungariae 75, Lepidoptera – Lepkék*. Akadémiai kiadó, Budapest, 1965.
2. Biró L. P., Vigneron J. P.: Photonic nanoarchitectures in butterflies and beetles: valuable sources for bioinspiration. *Laser Photonics Rev.* 5 (2011) 27–51. (doi:10.1002/lpor.200900018)
3. Márk G. I., Bálint Zs., Kertész K., Vértesy Z., Biró L. P.: A biológiai eredetű fotonikus kristályok csodái. *Fizikai Szemle* 57/4 (2007) 116–121.
4. Joannopoulos J. D., Meade R., Winn D. J. N.: *Photonic Crystals: Molding the Flow of Light*. Princeton University Press, Princeton NJ USA, 1995.
5. Bálint Zs., Biró L. P.: A lepkék színeváltozása. *Természet Világa* 135/7 (2004) 311–313.
6. Rajkovits Zs.: Szerkezeti színek az élővilágban. *Fizikai Szemle* 57/4 (2007) 121–126.
7. Bálint Zs., Kertész K., Piszter G., Vértesy Z., Biró L. P.: The well-tuned blues: the role of structural colours as optical signals in species recognition of a local butterfly fauna (Lepidoptera: Lycaenidae: Polyommatainae). *J. R. Soc. Interface* 9 (2012) 1745–1756. és a kiegészítő anyagok a <http://rsif.royalsocietypublishing.org/content/9/73/1745/suppl/DC1> oldalon
8. Piszter G., Kertész K., Vértesy Z., Bálint Zs., Biró L. P.: Color based discrimination of chitin–air nanocomposites in butterfly scales and their role in conspecific recognition. *Anal. Methods* 3 (2010) 78–83. (doi:10.1039/c0ay00410c)
9. Horváth G. (szerk.): *Neurális bálványok és műszaki alkalmazásai*. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1998.

AZ ERDÉLYI IGUANODON NYOMFOSSZÍLIÁBÓL BECSÜLT MOZGÁSSÉBESSÉGE

Hágen András
Újvárosi Általános Iskola, Baja

A Föld története során élőlények által hátrahagyott nyomokat az életnyomtan (ichnológia) vizsgálja [1]. Az életnyomkutatás szoros kapcsolatban áll a paleo-ökológiával. Életnyomnak vagy nyomfossziliának nevezünk minden olyan szerkezetet az üledékben, az üledék felszínén vagy valamilyen kemény aljazaton, amelyet élő szervezet hagyott hátra. E nyomfossziliák könnyen megkülönböztethetők a testfossziliáktól, viszont gyakran nehezen különíthetők el az áramlások által létrehozott nyomoktól (mechanoglifáktól).

Az ichnológia két fő csoportra bontható: paleoichnológia (ősnymotan: az ősi nyomok kutatása) és neoichnológia (újnyomtan: a jelenkori nyomok kutatása). A kutatók nagy része paleoichnológiával foglalkozik, de nagy jelentőségűek azon kutatások is, amelyek a jelenkori nyomokat és azok hátrahagyóit vizsgálják,

hiszen ezek alapján következtethetünk a kőzetekben található ősi nyomokat hagyó élőlényekre és azok életmódjára.

Világszerte a dinoszauruszok lábnyomait csak ritkán jegyzetelik le, csupán néhány dinonyomos hely ismeretes. Az emlősök ősnymairól gyakrabban emlékeznek meg (lásd például Ipolytarnóc). Ez jellemző Romániára is, ahol Erdélyben a Keleti-Kárpátokban gyakran találunk oligocén-miocén ősemleős nyomokat, viszont a Kárpátok bércein nem gyakoriak a mezo-zoos dinolábnyomok.

Ennek ellenére az első főljegyzés Erdélyből, a Máramarosi havasokban előkerült ismeretlen állat lábnyomáról szólt. A jegyzet készítője *Koch Antal* volt 1900-ban. Az elmúlt tizenöt évben újrakezdődtek a nyomfossziliák utáni kutatások, és 2000-ben a Sebesvölgyben Lancrám (Lámkerék) település határában (1.

Méret: 6-10 méter

Korszak: korai kréta (130-120 millió éve)

Terület: Észak-Amerika, Európa, Ázsia

Táplálkozás: növényevő

Felfedező: Gideon Mantell, 1822

Név jelentése: „leguán fogú”

Ez a nagyméretű, növényevő dinoszaurusz az ornitophodák közé tartozik. Két lábon is tudott járni, de többnyire inkább négy lábon közlekedett. Nagyon jól ismert ősszállat, több lelőhelyről számos csontváz került elő, némelyik szinte hiánytalan állapotban, még az őslénykutatás hajnalában. Ennek köszönhetően a *Megalosaurus* után az *Iguanodon* volt a második olyan dinoszaurusz, amely hivatalos nevet kapott.

Az *Iguanodon* jellegzetessége a nagy, hegyes szarutüske a hüvelykujján. Ezt valószínűleg a ragadozók elleni védekezésre, vagy az élelem beszerzésében használta. A kutatók eleinte azt hitték, hogy egy szarv, és az állat orrán ült, de a leletekből később rájöttek, hogy a dinoszaurusz a mellső lábán viselte ezeket a szarutöröket. Eleinte néhány tudós úgy vélte, hogy az *Iguanodon* tuskéje mérgezett volt, de ezt az elméletet elvetették, mert a szaruképződményben sem mirigy, sem mérgecsatorna nyomát nem találták.

A faj több fontos leletanyaga közül az egyik a maidsstone-i kőtábla, amely alapján elkészült az első csontváz-rekonstrukció. (Jelenleg ez a lelet a londoni Természettudományi Múzeumot gazdagítja.) Az *Iguanodon* fajleírás sarkkőve mégis a belgiumi Bernissart szénbánya, ahonnan minimum 38 *Iguanodon* fosszília került napvilágra 1878-ban. Az itt ta-

lált példányok túlnyomó többsége az *Iguanodon bernissartensis* fajba tartozik, de egy *Dollodon* is előkerült.

A kutatók véleménye megoszlik arról, hogy az *Iguanodonok* csordákban éltek-e. A tömegesen előkerülő csontvázak erre utalnak, viszont a bernissarti leletegyüttes nem egyetlen katasztrófa, hanem egy 10-100 éves időszak eredménye. A csordaelmélet ellen szól, hogy a bányából nagyon kevés fiatal egyed került elő. Egy másik fontos lelő-

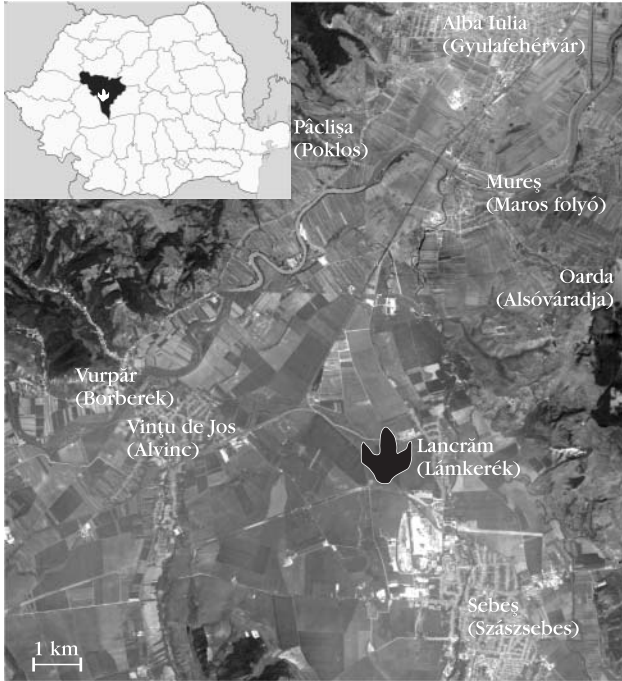


Iguanodon lábfej a párizsi Természettudományi Múzeumban.

hely, a németországi Nehden területén nagyobb volt az egyes példányok között a korkülönbség, de mivel itt *Dollodon* és *Mantellisaurus* fossziliákat is találtak, valószínűbb, hogy a különböző csordák tagjait a folyón való átkelés közben ragadta el az ár. A tetemek egy tóba vagy mocsárba gyűltek a folyó alsóbb szakaszán, és itt kövültek meg.

Az *Iguanodon* közeli rokonai: *Dollodon*, *Dryosaurus*, *Camptosaurus*, *Ouranosaurus*, *Hadrosaurusok*.

A faj egyéb nevei: *Hikano-don*, *Therosaurus*, *Iguanosaurus* (forrás: dinoportal.hu)



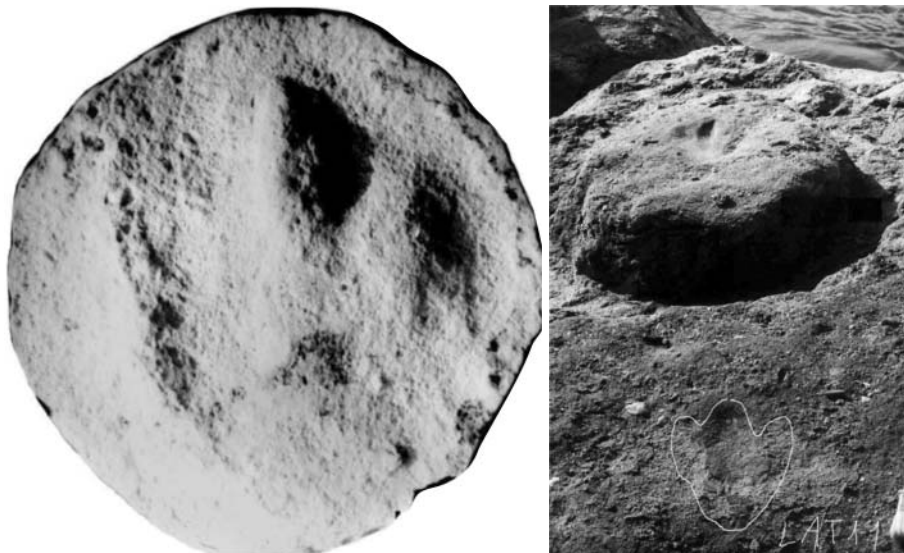
1. ábra. Az erdélyi Sebes-völgybeli Lăncrăm település határában föllett kései krétakorú nyomfosszília – dinoszaurusz talpnyommal jelölt – elhelyezkedése egy műholdképen. A térkép Románián belül mutatja a lelőhelyet.

ábra) egy kései krétakorú nyomfosszília került elő, amiből két nyom (2. ábra) volt azonosítható [2].

Az erdélyi iguanodon lábnyoma

A kutatók a lăncrămi ősi lábnyomokat összehasonlították az Erdély más részén talált krétakori dinolábnyomokkal, és azt kapták, hogy nagy hasonlóságot mutatnak az Ornithopodák (Ornithopodoidei) ősi lábnyomaival (2. ábra). A kréta végi maastrichti korszakban csak néhány Ornithopoda hadroszauruszt

2. ábra. Fényképek a lăncrămi ősi talpnyomokról [2].



azonosítottak Erdélyből: *Telmatosaurus transylvanicus*, *Rhabdodon priscus* és *Rhabdodon robustus* [2]. A kréta korban nagyon gyakoriak voltak a *Rhabdodon* Iguanodonok, ezért elképzelhető, hogy Erdélyben is a *Rhabdodon* lábnyomait fedezték föl. A rétegtani bizonyítékok szerint a terület valaha egy itatóhelyként szolgált, ahová a hadroszaurusz-félék jártak inni.

Mozgássebesség Froude-szám nélkül

A legjobban feltárt két lăncrămi lábnyomból látható, hogy a talp l hossza 23,3 cm, a két talpnyom távolsága pedig 103 cm volt [2]. A mozgássebesség megállapításához Alexander [3] képletét felhasználva:

$$v = \frac{d^{1,67} b^{-1,17}}{4} \sqrt{g}, \quad (1)$$

ahol v a járássebesség, b a csípőmagasság, amit az ilyen méretű állatokra talphossz 4,6-szerese, jelen esetben 107 cm, d a lépéshossz – amint Vremir és Codrea [2] figyelembe vette a lelet geometriai viszonyait – a két talpnyom távolságának kevesebb mint duplája, mintegy 180 cm, g pedig a gravitációs állandó. Az értékeket behelyettesítve azt kapjuk, hogy $v = 1,9 \text{ m/s} \approx 6,9 \text{ km/h}$.

A lăncrămi hadroszaurusz tehát 6,9 km/h sebességgel haladhatott a kréta végi erdélyi aljzaton.

Thulborn [4] kimutatta, hogy lépéshossz és csípőmagasság d/b aránya gyalogláskor 2-nél kisebb, viszont futáskor 2,9-nél nagyobb. Futás esetén a következő képlet érvényes:

$$v = \sqrt{g b \left(\frac{d}{1,8 b} \right)^{2,56}}. \quad (2)$$

A numerikus adatok behelyettesítésével, d/b arányra mintegy 4,5-et feltételezve adódik, hogy $v = 10,5 \text{ m/s} \approx 37,8 \text{ km/h}$. Alexander [5, 6] később egy másik, a Froude-számra épülő módszert fejlesztett ki a mozgássebesség lábnyomokból történő becslésére.

A Froude-szám és a dinamika

Ha egy állat mozgássebessége v , lábhossza L , a földi nehézségi gyorsulás pedig g , akkor az állat f Froude-száma:

$$f = \frac{v^2}{gL}.$$

E számot William Froude angol hajómérnökről nevezték el. Két állat dinamikája akkor hasonló, ha az m tömegű, v

átlagsebességű és L hosszúságú lábaik $mv^2/2$ mozgási és $mgL/2$ helyzeti energiájának $v^2/(gL)$ hányadosa azonos, ami éppen az f Froude-szám [7, 8]. Alexander [5, 6] vetette föl először, hogy a különböző méretű állatok járásmódja, mozgása dinamikailag közel hasonló, ha a mozgásuk Froude-számjai azonosak. Teljes dinamikai hasonlóság azért nem teljesülhet, mert az eltérő méretű állatok általában alakjukban is különböznek egymástól. Teljes dinamikai hasonlóság csak szigorú geometriai hasonlóság esetén állhat fenn.

Az elmélet a lépéshosszra, azaz egyazon láb két egymást követő nyomának d távolságára is érvényes. Minél gyorsabban halad egy állat, annál hosszabbakat lép. A különböző méretű, de azonos Froude-számú állatok d lépéshossza és L lábhossza a dinamikai hasonlóság folytán hasonlóképpen aránylik egymáshoz. Ebből következően, ha az $r = s/L$ relatív lépéshosszat az f Froude-szám függvényében ábrázoljuk különféle két- és négylábú állat esetén, akkor mindig ugyanazt az $r(f)$ függvényt kapjuk [7, 8].

Mozgássebesség Froude-számmal

Fölhasználva az állatok L lábhosszára és l talphosszára érvényes $L \approx 4d$ tapasztalati összefüggést [5, 6], a fentiek szerint az iszapban nyomot hagyó állatok mozgássebességét úgy kaphatjuk meg, hogy megmérjük a nyomhagyó ősszállat l talphosszát, valamint d lépéshosszát, és így megkaphatjuk a mozgássebességet [7, 8]:

$$v = \sqrt{4glf(r)}, \quad (3)$$

itt g a nehézségi gyorsulás, $f = 2,3 \cdot r^{0,3}$ pedig a Froude-szám az $r = d/L \approx d/(4l)$ relatív lépéshossz függvényében. A numerikus értékeket (3)-ba behelyettesítve azt kapjuk, hogy a lancrámi iguanodon iszapos aljzaton való mozgásának sebessége $v = 4,65$ m/s $\approx 16,7$ km/h körüli lehetett.

Elemzés

Az (1) képlettel a lancrámi iguanodon mozgássebességére $1,9$ m/s $\approx 6,9$ km/h-t kaptunk. A (2) képlettel $10,5$ m/s $\approx 37,8$ km/h adódott, míg a (3) képlet $4,65$ m/s $\approx 16,7$ km/h-t eredményezett. Ennél több nem deríthető ki a vizsgált nyomfossilíából. Sajnos az sem dönthető el, hogy melyik képlet a helyes. Az őslénytanban gyakori az ilyen helyzet a rendelkezésünkre álló kevés információ miatt. Összességében az mondható, hogy a lancrámi iguanodon iszapos talajon való mozgásának sebessége 7 és 38 km/h között lehetett az egyik becslés szerint, míg a Froude-számmra épülő becslés alapján a mozgássebesség 17 km/h körüli volt.

Köszönetnyilvánítás

A cikk megszületéséhez szeretném köszönetemet kifejezni *Vremir Mátyás*nak a Babeş-Bolyai Egyetem Biológia és Geológia Tanszék oktatójának. Továbbá köszönettel tartozom *Jaloveczki József*nek is, aki ellenőrizte számolásaimat is.

Irodalom

- Horváth G.: Az ősnymotan atyja. Adolf Seilacher paleontológussal beszélget Horváth Gábor. I., II. rész. *Természet Világa* 126 (1995) 2–5, 54–56.
- Vremir, M.; Codrea, V. A.: The first late cretaceous (maastrichtian) dinosaur footprints from Transylvania (Romania). *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Geologia* XLVII/2 (2002) 93–104.
- Alexander, R. M. Estimates of the speeds of dinosaurs. *Nature* 261 (1976) 129–130.
- Thulborn, T.; Wade, M.: Dinosaur trackways in the Winton Formation (mid-Cretaceous) of Queensland. *Memoirs of the Queensland Museum* 21 (1984) 413–517.
- Alexander, R. M.: *Dynamics of Dinosaurs and Other Extinct Giants*. Columbia University Press, USA, 1989.
- Alexander, R. M.: How dinosaurs ran? *Scientific American* 254/4 (1991) 62–68.
- Horváth G.: *Biomechanika: A mechanika biológiai alkalmazásai*. Egyetemi tankönyv, 3. átdolgozott, bővített kiadás, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2009.
- Horváth G.: Hogyan mozoghattak a dinoszauruszok? Ősszállatok mozgásának paleo-biomechanikai rekonstrukciója. *Fizikai Szemle* 59 (2009) 141–146.

Jobb egy mentőötlet mint öt mentő egylet

– írta Karinthy Frigyes az egyletistápolás margójára.

Most Társulatunknak lenne szüksége egyletmentő ötletekre!



**Ezek az ötletek nem vesznek el,
ha a <http://forum.elft.hu>
linken, az ELFT stratégiai vitafórumán adjuk elő.**



KÉTSZÁZÖTVEN ÉVES A NEWTONI FIZIKA HAZÁNKBAN

Kerekgedei Makó Pál pályaképe

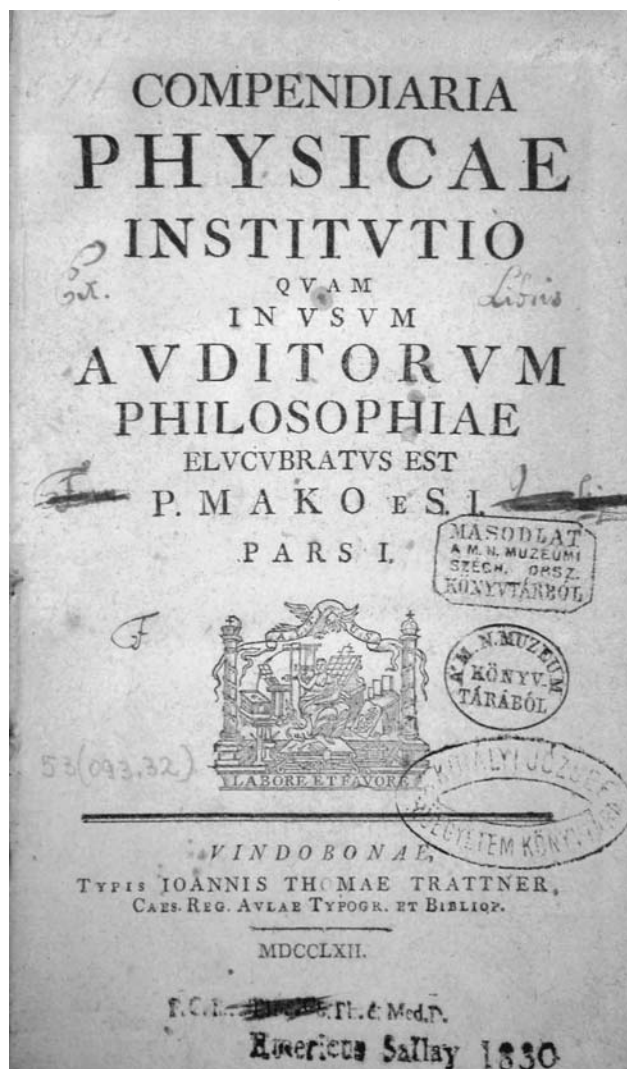
Wirth Lajos
tudománytörténész, Jászberény

Kétszázötven éve, hogy a tudós jezsuita *Makó Pált van Swieten* javaslatára a bécsi egyetemről a Collegium Regia Theresianumba helyezték, és kinevezték a matematika és a kísérleti fizika rendes tanárává. Ugyanekkor, 1762–63-ban, jelent meg nagy jelentőségű, modern szemléletű, kétkötetes fizika tankönyvnek első kiadása (*Compendiaria physicae institutio, 1. ábra*). A magyarországi fizika tizenharmadik századi történetét taglaló nagy monográfiájában *M. Zemplén Jolán* jelentős terjedelmet szentel Makó tankönyve széleskörű és mélyreható elemzésének. Kiemeli, hogy az összesen több mint nyolcszáz oldalas mű nemcsak megközelítette a korabeli nemzetközi színvonalat, hanem általa a magyarországi fizikának először sikerült fáziskésés nélkül felzárkóznia Európához. A magyar szerzők közül Makó Pál az első, aki a karteziániz-

mussal végleg szakítva newtoni fizikát nyújt, mégpedig annak az erők fogalmán, az erőgörbén és a dalmát tudós atomelméletén alapuló *Boscovich-féle* változatát. Az első kötet az égi mechanikát is magában foglaló mechanika, logikusan felépítve és megfelelő matematikai apparátussal alátámasztva, bár feltehetőleg a hallgatókra való tekintettel az infinitezimál-számítást csak kevés helyen alkalmazza. A fizika korabeli állapotából következik, hogy a további területeit tárgyaló második rész „modernségben” nem vetekedhet a mechanikával, hiszen az alapvető jelenségek sokkal kevésbé voltak tisztázottak, és a mennyiségi összefüggések sem voltak ismertek. A négy őselem szerinti felosztást idéző módon a kötet négy *sectio*ra oszlik. Az elsőben szerepel a newtoni korpuszkuláris elmélet alapján tárgyalt fénytán, a hőtán, a *tűz* természete, és ehhez kapcsolódnak az elektromos jelenségek. A második *sectio* általános hidrosztatika, a kapilláris jelenségek részletes ismertetésével és magyarázatával. A harmadik a *vízre* és a *levegőre* vonatkozó ismereteket foglalja össze, a meteorológia elemeivel együtt, a negyedik pedig a *földeket*, sókat, köveket és fémeket. A kövekhez tartozik a mágneses jelenségek ismertetése és itt szerepel, utolsóként, a növényekkel foglalkozó fejezet is. A jelenségeket a második rész is a vonzó és taszító erők és az erőgörbe alapján magyarázza [1].

Makó könyve *Bolyai Farkas* könyvtárában is megtalálható volt, és egyik levelében *Bolyai János* azt írta a szerzőjéről: „Együttal Makót is ugyan még az este nézegettem: jeles, ügyös, érdemes, derék s becsületes szép jellemű ember” [2]. De ki is volt ő, és mi volt a szerepe a magyar kultúrában?

1. ábra. A 250 évvel ezelőtt megjelent fizikakönyv címlapja.



A jászapáti elemitől a bécsi katedráig

Makó Pál születési dátuma körül az irodalomban elég nagy a zavar, pedig a helyi plébánia keresztelési anyakönyve tanúsítja, hogy 1723. július 9-én született Jászapáti. Bár sajátkezű önéletrajz nem maradt fenn tőle, *Születésnapomra (Ad natalem suum)* című előgíaja szerint is július 9-én ünnepelte a születésnapját:

„Tertius Apriles excepit lucifer idus,
Ad loca natalis tristia noster adest.”

Könnyen kiszámolható, hogy az április idusát (04. 13.) három holdhónappal (3×29 nap) követő nap július 9-e, és Makóról feltételezhető, hogy egy versláb kedvéért nem tért el a tényektől.

Elemi iskoláit szülővárosában, a hatosztályos gimnáziumot a jezsuiták egri intézetében végezte, itt lépett be 1741. október 21-én a jezsuita rendbe. Rendi kiképzése lényegében a terézianumi kinevezéséig, megfelelt a jezsuitáknál szokásos általános gyakorlat-

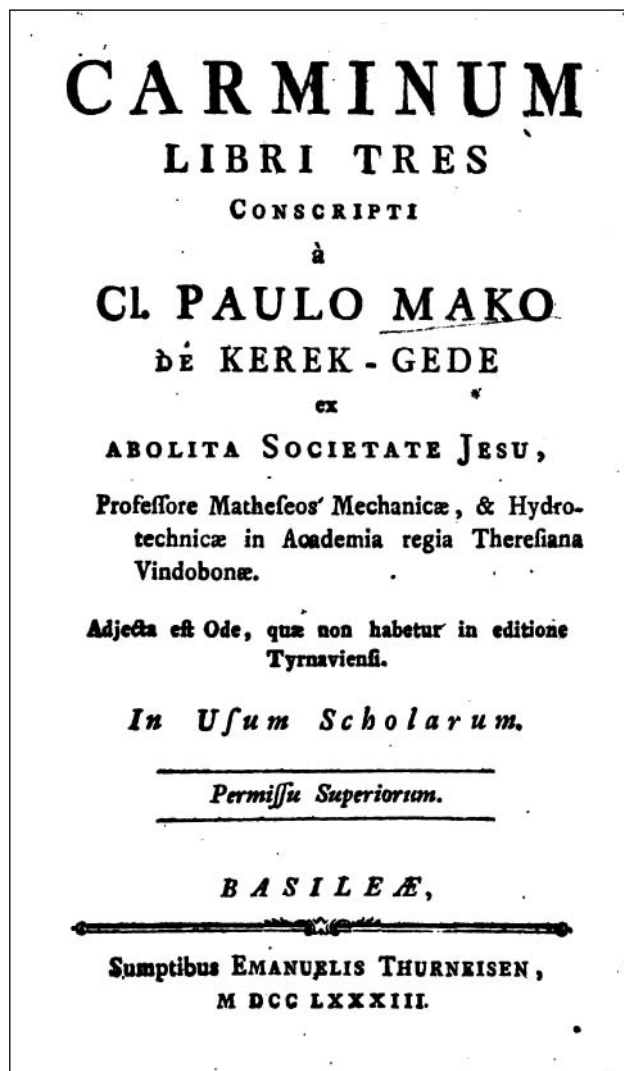
nak, amelyben a Trencsénben töltött kétévi noviciátus után tanulással és tanítással töltött szakaszok váltogatták egymást. A győri repetensi évet követően elvégezte a nagyszombati egyetem hároméves bölcsészeti fakultását, egy-egy tanévig Ungvárott, majd Nagyszombatban volt gimnáziumi tanár, ezután két évig a matematika repetense volt a bécsi egyetemen. Itt módjában állt találkozni *Karl Scherfferrel*, aki megismertette Ausztriát *Newtonnal* és *Eulerrel*, és aki akkor került Grazból a bécsi egyetemre a matematika, a logika és a fizika tanáraként. Újabb nagyszombati tanév következett középiskolai tanárként, majd a grazi egyetem négyéves teológia fakultására küldték, ahol harmadéves korában pappá szentelték (1755). Még a teológiai tanulmányok megkezdése előtt, Nagyszombatban napvilágot látott első verseskötete (*Elegiarum liber unicus*, 1752). Ennek alapján *A magyar irodalom története* őt tartja a hazai neolatin elégia költészet megteremtőjének. Az évek során elégiái újabb kiadásokat (*Carminum libri tres*, 1761, (2. ábra); *Elegiakon*, 1780) és több utánnomást értek meg [3].

Grazi évei alatt módja nyílt matematikai és fizikai tudásának bővítésére is. Bár az egyetemi évkönyvekben nincs utalás arra, hogy a teológiai tárgyakon kívül mást is hallgatott volna, biztosra vehető, hogy az egyetem gazdag könyvtárát gyakran látogatta. Teológiai tanulmányai végeztével egy évig a bécsi Collegium Theresianumban volt a matematika oktatását segítő prefektus (1756/57), majd a beszercebányai rendházban töltötte a harmadik próbaévet (1757/58).

Az 1758/59-es tanévben a nagyszombati egyetemen kezdte meg azt a négyéves „kezdő tanári kurzust”, amelynek során az első évben matematikát, a másodikban logikát és metafizikát, a harmadikban fizikát, a negyedikben profán és egyháztörténetet kellett volna előadnia. Első tanítványai között ott volt *Ürményi József*, akinek később az első Ratio Educationis kidolgozásában volt meghatározó szerepe. Ezt a ténnyt *Kazinczy Ferenc* Ürményi halálakor elmondott nekrológja is megerősíti. Amikor a hetvenes évek közepén Ürményi Makó Pált felkérte együttműködésre, lényegében volt professzorához fordult. A kurzus második évében azonban, még a szemeszter befejezése előtt, áthelyezték a bécsi egyetemre, ahol két éven át oktatta a logikát és a metafizikát (1760–62).

A teréziánumi évek

Az 1762/63-as tanévben újabb áthelyezés következett, egyúttal kinevezték a *Collegium Regia Theresianum*-ba a matematika és a kísérleti fizika rendes tanárává, majd 1773-tól a mechanika és hidrotechnika rendkívüli tanárává is. Az előbbi tárgyakat latinul, míg az utóbbit németül kellett előadnia. Tizenöt éven át, az 1776/77-es tanévig volt a Theresianum professzora, amikor is sor került a nagyszombati egyetem Budára helyezésére, és ekkor *Mária Terézia* kinevezte Makót a bölcsészeti fakultás igazgatójává, amely tisztséget lényegében haláláig betöltötte.



2. ábra. A *Carminum libri tres* bázeli kiadása.

Makó Pál életműve döntő részét 1760 és 1777 között, bécsi tartózkodása idején alkotta. Bár életének utolsó tizenöt évében, Pest-Budán is alkotott marandókat, legjelentősebb tankönyveit ekkor írta. 1760-ban jelent meg logikája (*Compendiaria logicae institutio*, 3. ábra), a következő évben metafizikája (*Compendiaria methaphisicae institutio*), amelyet éppen 250 éve a fizika (*Compendiaria phisicae institutio*) két kötete követett, 1762–63-ban. Nekrológiájában *Anton Kreil* kiemelte, hogy Makó: „Logikai és metafizikai kompendiumaiban nálunk először alkalmazta *Wolff* tudományos módszerét, számúzve belőle a skolasztikus módszert, megtisztítva e tudományokat egy sor haszontalan vitakérdéstől, és minden addiginál közelebb hozta őket rendeltetésükhöz.” Ugyanakkor Makó Pál csak az általános filozófiai kérdésekben számított wolffiánusnak, a fizikai kérdésekben *Leibniz* monadológiája helyett *Boscovich* atomelméletét fogadta el, így a *Leibniz–Wolff* szektával szemben a *Newton–Boscovich* szektához tartozónak számított. Ez persze nem akadályozta abban, hogy az infinitezimál-számítás terén *Leibniz* álláspontjára helyezkedjen [4].

COMPENDIARIA
LOGICÆ
INSTITVTIO,

QVAM IN VSVM

CANDIDATORVM
PHILOSOPHIÆ

ELVCVBRATVS EST

P. MAKO, E. S. J.



VINDOBONÆ,

TYPIS JO. THOMÆ NOB. DE TRATTNERN,
CÆS. REG. AVLÆ TYPOGR. ET BIBLIOPOLÆ.

MDCCLXVII.

3. ábra. Makó Pál logika tankönyvének címlapja.

A következő évben matematikája (*Compendiaria matheseos institutio*) hagyta el a nyomdát, majd a fizika és a matematika második kiadása következett 1766-ban. Nagy jelentőségű felsőbb matematikai tankönyvei közül a *Calculi differentialis et integralis institutio* 1768-ban, a *De arithmetice et geometricis equationum resolutionibus* 1770-ben látott napvilágot. Műveit állandóan javította, átdolgozta, és a hatvanas-hetvenes években nem volt olyan év, hogy ne jelentkezett volna valamelyik tankönyvének új kiadásával. Könyvei hamarosan a Habsburg-monarchián túl is elismerésre leltek, számos egyetemen és akadémián alkalmazták tankönyvként, és még a külföldi szerzők is évtizedeken át hivatkoztak rájuk. A *Calculi differentialis et integralis institutio* népszerűségét jól jellemzi, a würzburgi egyetem 1828. nyári szemeszterében ezt használták az infinitezimál-számítás tankönyvként.

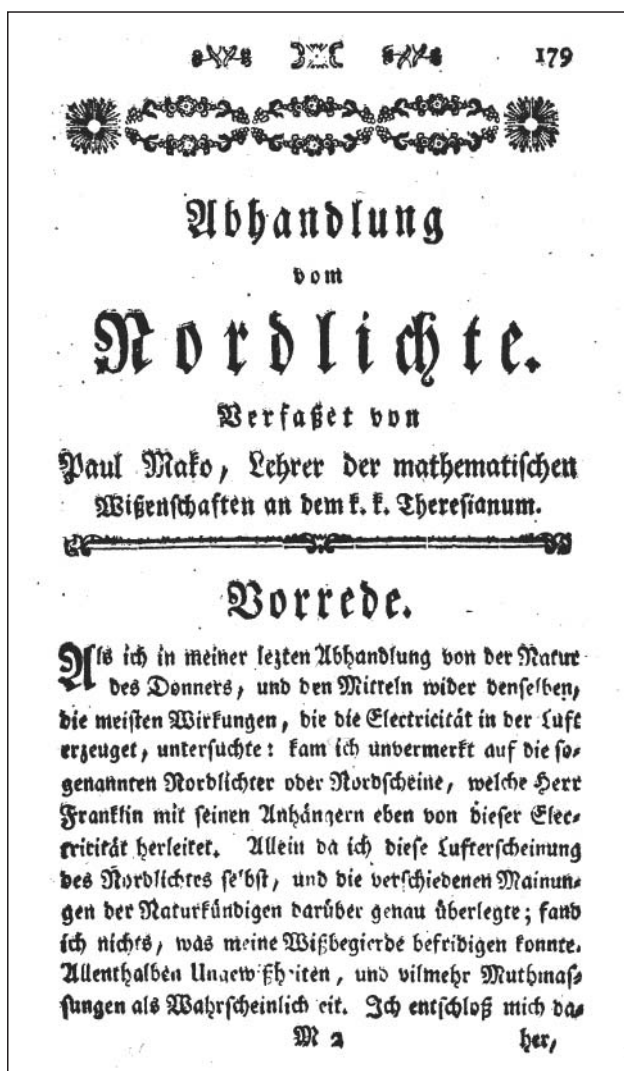
Tankönyvei mellett teréziánumi éve alatt írta Makó Pál fizikai értekezéseit is, amelyekben a közfigyelem homlokterében álló kérdéseket taglalt. Az első (*Dissertatio de figura telluris*, Olomucii, 1767) a Föld alakjával, két további (*Dissertatio de natura et remediis fulminum*, Goritiae, 1773; *Physikalische Abhandlung*

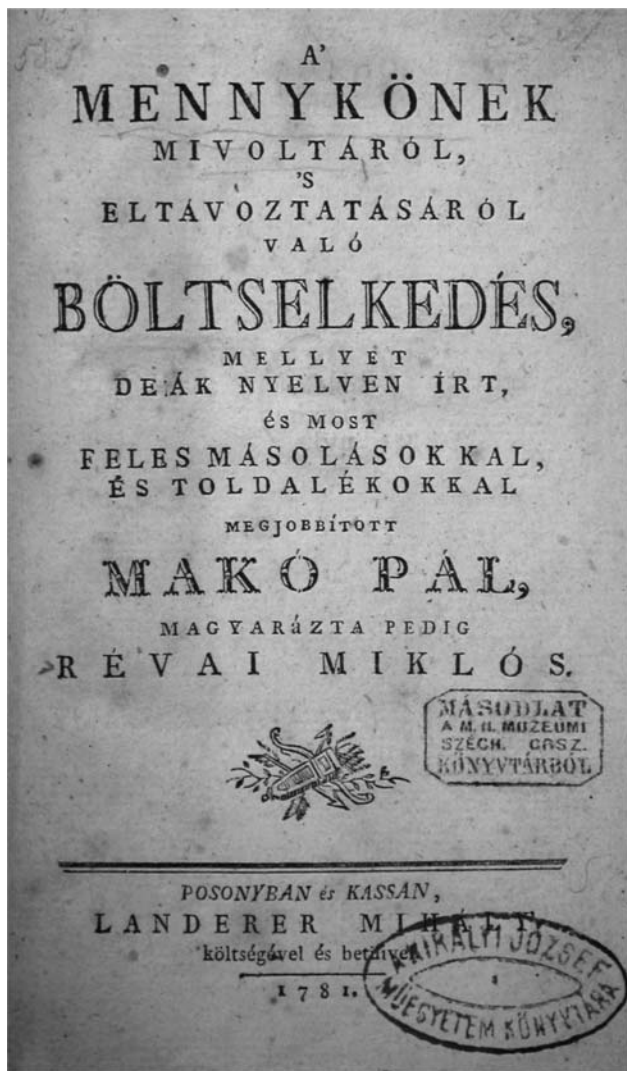
vom Nordlichte, Wien, 1775, 4. ábra) a légköri elektromos jelenségekkel, a villámlással és villámvédelemmel, valamint az északi fénnel foglalkozik. Az utóbbit eleve német nyelven írta, de az előbbinek *Joseph von Retzer* által készített német fordítása is előbb jelent meg, mint a latin eredeti. A rendkívül népszerű értekezést *Révai Miklós* magyarra is lefordította (*A mennykönek művoltáról 's eltávoztatásáról való böltselkedés*, Pozsonyban és Kassán, 1781, 5. ábra). A fizikai disszertációk 1781-ben latin nyelven, egy kötetben is megjelentek (*Dissertationes physicae*, Budae, 1781), és ebben szerepel a Hold légkörének hiányát taglaló negyedik dolgozat is (*De atmosphæra Lunæ*).

Alig két héttel Makó Pál ötvenedik születésnapját követően került sor a Jézus Társaság általános feloszlására. Makót rendjének eltörlése érzelmileg minden bizonnyal megrázta, de a bécsi jezsuita köröket nem érthette váratlanul.

A jezsuita rend megszűnése szükségessé tette az oktatási rendszer újjászervezését, de meg is könnyítette azon közel negyedszázados reformfolyamat fel-

4. ábra. Az északi fényről szóló disszertáció címlapja a *Beyträge zu verschiedenen Wissenschaften von einigen Oesterreichischen Gelehrten* című kötetből.





5. ábra. Makó Pál egyetlen magyar nyelvű értekezése.

gyorsítását és véghezvitelét, amely 1752–53-ban a bécsi egyetem reformjával kezdődött, és a Magyar Királyságban a Ratio Educationis kibocsátásáig, az egyetem Budára helyezéséig tartott.

A felvilágosult abszolutizmus továbbra is a rendiség keretei között akarta modernizációs céljait megvalósítani, ezért a nemesség, nem utolsó sorban az arisztokrácia fiainak teréziánumi képzése része volt Mária Terézia modernizációs politikájának. Reformjainak sikeres végrehajtásához lojális és ugyanakkor szakképzett főtisztviselői karra volt szüksége, és mivel nem volt, képzéséről gondoskodni kellett. Sürgető feladat volt a megfelelő gazdasági ismeretekkel rendelkező szaktisztviselők képzése, mivel tőlük várhatta a kiürült államkincstár feltöltését. Ezt a célt szolgálta a kameralisztika, az ökonómia és az ezekhez kapcsolódó fakultatív tárgyak oktatása. Az ökonómiát és a fakultatív tárgyakat a Theresianum hat olyan tanára adta elő, akiknek eredetileg más volt a főtárgyuk, de szívesen vállalkoztak olyan ismeretek átadására, amelyekben otthonosak voltak.

Mitterpacher Lajos adta elő a földművelés- és állattenyésztést, valamint az állattan egyes részeit. Franz Xaver Boujard a botanikát, Franz Xaver Eder a közös-

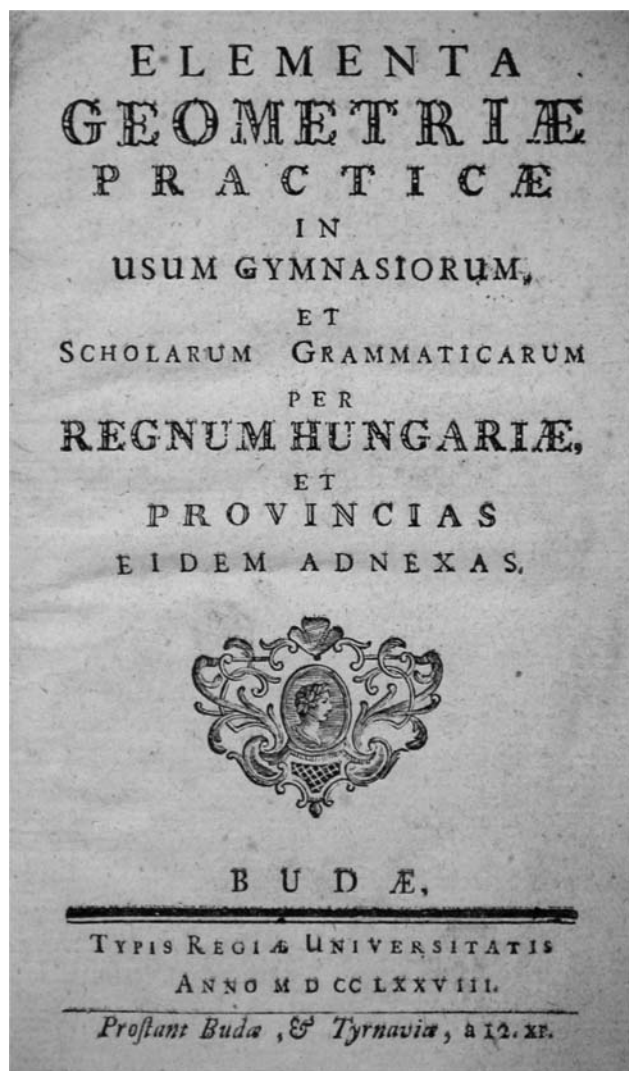
segi háztartást, kémiát, kézműipari festést, Michael Denis a rovtartan egyik részét, Ignaz Schiffermüller a rovtartan másik részét. Végül Makó Pál, aki akkor a tiszta és alkalmazott matematika tanára volt, oktatta a műszaki mechanikát, a géptant és a vízépítést. Makó ehhez a tantárgyához nem írt saját tankönyvet, a tananyag azonban jól rekonstruálható a vizsgázók nevét is tartalmazó materia tentaminisekből. A tizennégy-tizenhat oldal terjedelmű tételsorokból az 1773., 1775., és 1776. évi megtalálható magyarországi könyvtárakban, ezek egybeszerkesztett szövegét és annak magyar fordítását a jelen cikk szerzője 2010-ben publikálta [5]. Az 1774-es tételsorról jelenleg annyi tudható, hogy létezett, és 1856–57-ben a kijevei Szent Vladimir Egyetem könyvtárában volt belőle egy példány.

Makó Pált a rendje feloszlatásából következő változások egzisztenciálisan nem érintették, teréziánumi professzori állását továbbra is megtarthatta, és a királynő kinevezte bélai apáttá és királyi tanácsossá. A váci egyházmegyébe kérte felvételét világi papként, ahol hamarosan kanonok lett. Szakmai elismertségét tükrözi, hogy 1774 őszén ő is tagja volt annak a bizottságnak, amelyik előtt október 8-tól 15-ig a nagy-szombati egyetem leendő oktatóinak versenyvizsgálója lezajlott, és amelyen 150 jelölt vett részt. A professzori állásokat jórészt exjezsuita világi papok nyerték el, és ma már azt is tudjuk, hogy Makó Pál leendő munkatársainak kiválasztásában vett részt.

Ugyanezekre az évekre estek a bécsi császári tudományos akadémia létrehozását célzó munkálatok. Az udvari tanulmányi bizottság Hell Miksát bízta meg az akadémia tervének kidolgozásával, aki a kalendáriumok kiadásának általános reformjával kívánta összekötni az akadémia létrehozását, így akarva megteremteni a működés stabil anyagi alapját. Az ügy végül is az ezzel kapcsolatos ellenálláson bukott el. A terv szerint a csillagász Hell, a matematikus Nagel és Scherffer, a kémikus Jacquin és a hadmérnök Unterberger százados és Makó lett volna az akadémia első hat rendes tagja.

Az első Ratio Educationis létrejöttében is jutott szerep Makó Pálnak, de a szerepvállalás részletei mindmáig tisztázatlanok. Főként Fináczy Ernő kutatásai alapján állítható, hogy Makó adta meg a dokumentum végső, veretes latin szövegét, arra azonban nincs közvetlen adat, hogy a tartalom kialakításában részt vett volna. Amit biztosra vehetünk az az, hogy az új dokumentum szellemében készült matematika-tankönyvek szerzője Makó Pál. A kezdő évfolyamok számára készült az *Institutiones arithmeticae* (1777), a felsőbb évfolyamok használatára a lényegében a korábbi *Compendiaria matheseos* anyagát tartalmazó *Elementa matheseos purae* (1778) és *Elementa geometriae practicae* (1778) (6. ábra). A könyvek több kiadást értek meg, részint utánnomásként, részint az egyes részek külön kötetben. Az *Institutiones* megjelent magyarul is *Bé-vezetés a' szám-vetésre a' magyar és hozzá tartozandó tartományok' nemzeti iskolái számára* (1780) címmel, és egészen az 1840-es évekig számos kiadása ismert.

Az *Elementa geometriae practicae* történetének érdekes momentumja, hogy a pesti egyetem régészet



6. ábra. Az *Elementa geometriae practicae* első kiadása.

és numizmatika tanszékének későbbi tanára, *Matija Petar Katancich* eszéki gimnáziumi tanárként részben lefordította horvát nyelvre, abban a reményben, hogy módja lesz a tárgyat horvátul tanítani. Erre ugyan nem került sor, de a kézirat az első horvát nyelvű geodézia-tankönyv. Ennek adózva a Zágrábi Egyetem 2010-ben megjelentette a fordítás fakszimiléjét, az eredeti latin szöveget és annak modern horvát fordítását.

A bölcsészeti fakultás élén

A királynői döntés értelmében 142 évi nagyszombati működés után 1777 áprilisában megkezdődött az egyetem Budára való átköltöztetése. Az ünnepélyes felavatásra 1780. június 25-én került sor, amelyre – miként az első budai tanév kezdésének köszöntésére is – Makó Pál ünnepi ódát írt.

Az egyetem átköltözésével egyidejűleg Makó Pál búcsút vett a Theresianumtól, ugyanis a királynő kinevezte a bölcsészeti kar igazgatójává. Makó, aki ebben az időszakban kétségtelenül az egyetem legjelentősebb matematikusa volt, igazgatói és egyéb teendői miatt

az oktatásban nem tudott közvetlenül részt venni, de arra tankönyveivel végig nagy hatást gyakorolt. Emellett részt vett a doktori képzésben és az új oktatók kiválasztásában is. A jeles költőről és nyelvészről, *Versegby Ferenc*ről például tudjuk, hogy Makó Pál és Mitterpacher József irányításával készült fel a doktori fokozat megszerzésére.

A *Ratio Educationis* előírta a magasabb iskolatípusok számára az újságolvasás tantervbe iktatását, Makó Pál első feladatainak egyike volt kari igazgatóként az *Ephemerides Budenses* néven említett hetilap tartalmi és kiadási tervének kimunkálása. Az egyetem szenátusa a feladattal a három közvetlenül érintett terület vezetőjét bízta meg: *Molnár K. János* budai főgimnáziumi igazgatót, Makó Pált, a filozófiai fakultás igazgatóját és valamilyen okból *Vörös Antal* igazgató helyett *Stur Józsefet*, a jogi kar dékánját. *F. Csanak Dóra*: *A Ratio Educationis és az iskolai újságok* című rendkívül alapos tanulmányában bemutatja, hogy „Makó tervezete önálló koncepcióra vall, és a feladatot jóval igényesebben oldotta meg, mint ahogyan elvárták tőle”. Makó tervezetének legfőbb jelentősége abban volt, hogy az egész ország értelmiségének fórumává akarta tenni a lapot, vagyis a tudománnyal foglalkozók közös célra és munkára való tömörítését is igyekezett megvalósítani. Meg akarta ismertetni a külföldi tudományos eredményeket a magyar olvasókkal és a magyar szellemi alkotásokat Európával. Nem rajta múlt, hanem az anyagi erőforrások hiányán, hogy a tervezett egyetemi lap kiadása éppen úgy meghiúsult, mint a *Tersztyánszky Dániel*, majd a *Horányi Elek* nevével fémjelzett későbbi próbálkozások.

Sokkal maradandóbb eredményeket ért el Makó Pál azon tervezete, amelyet 1782/83-ban készített el, immáron II. József utasítására. Közismert, hogy a Műegyetem elődje, az *Institutum Geometrico-Hyrotechnikum* az egyetem bölcsészeti fakultásának keretei között jött létre. A Mérnöki Intézet tananyagának tervezetét és óratervét kari igazgatóként Makó Pál készítette el.

Az előbbieken említettek mellett Makónak esetenként protokolláris feladatokat is el kellett látnia. II. József első, 1783. április 26-a és 28-a közötti magyarországi látogatásáról a pozsonyi *Magyar Hírmondó* így számol be: „Vasárnapon, tudni illik 27dikénn, reggel gyalog a királyi városba felméne és a Plébánia templomában tartott isteni szolgálatonn jelen marada. Aztán külömbféle épületeket tekintte meg, mellyekbe F. T. úr, Makó Pál, kanonok és Apát Úr, a Filozófiának Directora kíséré Ó Felségét...” Mivel a császár elégedetlen volt az egyetem színvonalával, 1784. március 10-i rendeletével több változtatásról is döntött. Ezek közé tartozott a kari igazgatói tisztség megszüntetése is, a korábbi kari igazgatók a Helytartótanács mellé rendelt tanulmányi bizottság tagjai lettek. A bizottság érdemi munkáját 1785 elején kezdte meg, és Makó Pál – a korábbihoz képest némileg változott jogkörrel – igazgatói címen a bölcsészeti kar felügyeletére kapott megbízást.

A korabeli sajtó szerint Makó Pál egykori rendtár-
sáival szoros kapcsolatot tartott. A *Journal von und für Deutschland* 1784. júliusi számában tudósít arról,

hogy a magyarországi rendtartomány provinciálisa, *P. Muska* röviddel korábban elhunyt, és helyére P. Makó Pált választották, „aki különböző matematikai műveiről ismert, és egy nagyon aktív és ravasz férfiú”. A hirdetés megjegyzi, hogy a jezsuiták Magyarországon majdnem nyilvánosan működnek. Ezt a hírt a *Mercure de France* 1784. október 23-i száma is átvette. Makónak volt rendtársaival való kapcsolatáról érdekes adatok találhatóak *Martinovics Ignác* korabeli besúgó-jelentéseiben is, amelyek persze megfelelő kritikával kezelendők. Ez vonatkozik azokra a 20. századi publikációkra is, amelyek a jelentések egyes részleteit közölték. Martinovics szerint Makó Pál apát volt a feje az általa jezsuita theokratapártnak nevezett titkos csoportnak, amely exjezsuitákból és elvbarátaikból állott, és az volt a célja, hogy a vallás védelmének ürügye alatt az ország nevelésügyét hatalmába kerítse, a Jézus Társaságot visszaállítsa, és az udvarnál hatalomra juttassa. Martinovicsnak az „álnok” Makó Pálra vonatkozó dehonesztáló véleményét nagyon magyarázza amiatti sértődöttsége, hogy *Horváth János* 1791-ben megüresedett székét nem ő, hanem *Domin József* nyerte el.

Makó Pál számára életének utolsó éveiben ismét a művelődéspolitikai hozott új feladatokat. Az 1791: LXVII. tc. által kiküldött kilenc rendi bizottság között szerepelt a tanulmányi bizottság (*Deputatio regnicolaris in litteralibus*) is, amelynek az volt a feladata, hogy a következő országgyűlés számára nagy jelentőségű kérdésekben reformterveket és törvényjavaslatokat dolgozzon ki. A bizottság elnöke Ürményi József volt, mint királyi személynök, és a tagok között Makó Pál, *Vezza Gábor* és *Szerdahelyi György Alajos* képviselte a Helytartótanács tanulmányi bizottságát. 1791 őszén és 1793 februárja között 43 alkalommal ülésztettek, és be is nyújtottak egy törvénytervezetet, amelynek 7. szakasza a nemzeti nyelv ügyéről intézkedik, kimondva, hogy az 1792: VII. tc.-nek megfelelően a magyar rendes tárgy legyen, továbbá, hogy a grammatikai iskolákban a latin nyelvet a magyar segítségével tanítsák.

Érdekeséggéként megemlíthetjük még, hogy a bizottság előterjesztésében szerepelt az 1791/92-es országgyűlés előtt – Makó Pál indítványára – az iskolai egyenruhára tett javaslat: „hogy a deákok, akik újabban igen hajlamosak a kihágásokra, azonnal felismerhetők legyenek”. Azonban *I. Ferenc* úgy döntött, hogy az ifjúság nem kötelezhető egyforma ruházat viselésére.

A pest-budai másfél évtized, a hivatali teendőik sokasága miatt, irodalmi működését tekintve korántsem volt olyan termékeny Makó életében, mint a teréziánusi évek. Életének utolsó éveiben életművének három darabja köthető. Rövidített formában kiadta néhai rendtársa, *Éder Xaver Ferenc* kéziratban maradt földrajzi és néprajzi művét (*Descriptio provinciae Moxitarum in regno Peruano...*), amelyet közel száz évvel később Peruban kiadtak spanyolul is, és megjelentetett egy rövid dolgozatot a magyar nyelv oktatásáról (*Brevis institutionum linguae ungaricae adumbratio*), amelynek függelékében egy magyar szótár szerkesztésére vonatkozó véleményét fejtette ki (1792). Legutolsó, kéziratban maradt művét, amely a hallei *J. A. Eberhardt* erkölcsstanának latin fordítása volt (*Philosophia morum in usum universitatis*), már nem tudta sajtó alá rendezni, mert ebben 1793. augusztus 19-én bekövetkezett hirtelen halála megakadályozta. A művet egykori rendtársa, *Anton Kreil* adta ki név nélkül (1796).

Irodalom

1. M. Zemplén J.: *A magyarországi fizika története a XVIII. században*. Akadémiai Kiadó, Budapest (1964) 240–253.
2. Kiss E.: *Matematikai kincsek Bolyai János kéziratok hagyatékából*. Akadémiai Kiadó, Typotex, Budapest (2005) 158.; <http://mek.oszk.hu/05300/05321/05321.pdf>
3. Hajdú V.: *Makó Pál költői mintái és versalkotási módszere az Ad Amicum című elégiája alapján*. <http://www.uni-miskolc.hu/~egyhtort/cikkek/hajduvera.htm>
4. Sauer, W.: *Österreichische Philosophie zwischen Aufklärung und Restauration*. Rodopi, Amsterdam (1982) 24–53.
5. Wirth L.: Adatok Makó Pálról, családjáról, életművéről. *Jászsági Évkönyv 2009*. Jászberény, 93–129.; <http://jaszsag.uw.hu/oldalak/tartalom/2009/96-tol.pdf>

SZILY KÁLMÁN EMLÉKEZETE

A. Szála Erzsébet
Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron

„...Az ilyen komisz állapotban, amilyenben most vagyunk, mit is tehesen az ember egyebet, mint azt, hogy a dolgozásban lelje örömét...”¹

175 évvel ezelőtt született *id. Szily Kálmán* (Izsák, 1838. június 29. – Budapest, 1924. július 24.) fizikus, nyelvész, műegyetemi rektor, tudományszervező, az Akadémia főtitkára, majd főkönyvtárnoka.

¹ Szily Kálmán levele Herman Ottóhoz. Budapest, 1905. szeptember 30-án. In: A. Szála Erzsébet (szerk.): *id. Szily Kálmán, a tudománytörténész*. Szily Kálmán Alapítvány – Magyar Tudománytörténeti Intézet, Budapest (2008) 167. old.

Sokgyermekes nemesi család leszármazottjaként alsóbb iskoláit magántanulóként végezte, majd a budapesti Piarista Gimnáziumban érettségizett. Két esztendeig, 1856–57-ben a József Ipartanoda diákja volt. Egyetemi tanulmányait a bécsi műegyetemen végezte. Tudását jeles külföldi intézményekben, Zürich, Berlin és Heidelberg egyetemeken, *Clausius*, *Zeuner* és *Kirchhoff* előadásainak hallgatásával tökéletesítette.

Hazatérését követően *Sztoczek József* tanársegéde lett az Ipartanodában, majd 1869-ben a kísérleti természettan nyilvános rendes tanárává nevezték ki. Az 1860-as években a termodinamika kérdéskörébe tartozó, nemzetközileg is elismert kutatásokat végzett. Akadémiai székfoglalójában – *A hő-elmélet második fő tétele, levezetve az elsőből* – a hőelmélet első és második főtételének általános matematikai alakban való megfogalmazására törekedett.

Vezetője volt a matematikai fizika és analitikai mechanika tanszéknek, majd az 1871/72-es tanévtől az akkor létrejött Műegyetemen dékáni posztot töltött be, később (1879-től 1883-ig) az intézmény rektora volt.

Ő indította útjára a *Műegyetemi Lapok* című szakfolyóiratot. Itt adott közre matematikatörténeti publikációkat, fizikatörténeti írásokat és írt régi magyar természettudományi munkákról. Ezekkel az írásaival indította el a hazai tudománytörténeti kutatásokat.² Rektori időszakában még az egyetem építéstörténetével is foglalkozott. Évnyitó és évváró beszédei részben tudománytörténeti-művelődéstörténeti jellegűek voltak.³

Titkára, majd elnöke volt a Természettudományi Társulatnak, s az ő ideje alatt tagjaik száma jelentősen megnövekedett. Kiemelkedő szerepe volt a Társulat periodikája, a *Természettudományi Közlöny* megindításában (ma: *Természet Világa*) 1869-ben. A *Közlöny* hasábjain Szily számos tudománytörténeti írásával találkozhatunk, és itt adott áttekintést a régi magyar természettudósokról is.⁴ 1872-ben indította el a Társulat természettudományi könyvkiadóját. A kiadó gondozásában jelentek meg *Herman Ottó* nagy művei, *Charles Darwin* két alapművének első magyar fordítása, és itt adtak közre először tudománytörténeti munkákat is.⁵

A Magyar Tudományos Akadémia 1865-ben megválasztotta levelező, 1873-ban rendes, 1920-ban tiszteleti tagjává. 1889 és 1905 között az MTA főtitkári tisztségét töltötte be. Ekkor az Akadémia elnöke *Eötvös Loránd* volt. Szily indította útjára a Tudományos Akadémia MTA periodikáját, az *Akadémiai Értesítőt* (ennek jogutóda a *Magyar Tudomány*), és elindította az *Akadémiai Emlékbeszédek* című könyvsorozatot, amely 1944-ig jelent meg (néhány évvel ezelőtt ezt is újraindították).

Támogatásával és szorgalmazásának eredményeként jelenhettek meg *Szinnyei József* nagy bibliográfiai vállalkozásai, továbbá 14 kötetes óriási munkája, a *Magyar írók élete és munkái*, amely mind a humán, mind a reáltudományok művelőinek életművét áttekinti. Szorgalmazta *Bolyai Farkas* és *Bolyai János* főművének latin nyelvű, kritikai jellegű díszkiadását is.

² A. Szála Erzsébet: Szily tudománytörténeti adatsorai. Uo. 29. old.

³ Uo. 30–31. old.

⁴ Uo. 29. old.

⁵ Lásd bővebben: Gazda István: Értékközlő tudomány. Jeles kiadványok a Magyar Természettudományi Társulat első száz évében. *Valóság* 44/5 (2001) 42–55.

1905-ben lemondott főtitkári megbízatásáról, ekkor az Akadémia főkönyvtárosának választották meg. Létrehozta a Magyar Tudományos Akadémia Széchenyi-gyűjteményét, s megkezdte *Széchenyi* műveinek kritikai kiadását. Közreműködésével megszerezték az Akadémia Goethe-gyűjteményét is.

A magyar nyelvtudománynak is kiemelkedő alakja volt ő. Létrehozta a Magyar Nyelvtudományi Társaságot 1904-ben, amelynek első elnökévé választották. A Társaság alelnöke *iffj. Szinnyei József*, a könyvtártudós bibliográfus fia, titkára *Tolnai Vilmos*, jegyzője *Gombocz Zoltán* lett. Szily indította útjára a Társaság lapját, a *Magyar Nyelv* című folyóiratot is (ebben nagyszámú szótörténeti írása jelent meg), s összeállította a kétkötetes *Magyar Nyelvújítás Szótárát* (1902, 1908).⁶

Szily működésének elismerésére a Természettudományi Társulat díjat alapított, amelyet három évenként ítéltek oda. (A sorrendben elsőt 1903-ban maga Szily Kálmán kapta, a másodikat 1906-ban a polihisztorként tisztelt Herman Ottó, a harmadikat a földtudományok művelője, a neves mecénás, *Semsey Andor*; 1909-ben.)

Szily Kálmán halálát követően házi könyvtára a pécsi egyetemi könyvtár része lett. A Szily-kúria ma is áll Zsámbékon. Emlékét őrzi a leszármazottai közreműködésével létrejött alapítvány, amely Budapesten a nevét viselő Szily Kálmán Kéttannyelvű Műszaki Középiskola, Szakiskola és Kollégium keretében működik. Itt állították fel a szobrát is.

E rendkívül széles érdeklődési körű, sokoldalú tudományos tevékenységet kifejtő, fáradhatatlanul dolgozó tudós, Szily Kálmán tiszteletére a *Természet Világa* 1991-ben emlékérmét alapított. „Ez a díj főhajtás szeretne lenni az értelem és hűség előtt, tiszteletünk és szeretetünk jelképe. Olyan szerzőink kapják, akik legalább 50 éve dolgoznak folyóiratunknak, segítik misszióinkat, a tudomány közkinccsá tételét” – áll az alapító iratban.

A Szily Kálmán-emlékérmét 1991-ben adták ki először. Az elismerésben akkor *Bay Zoltán*, *Kunfalvi Rezső*, *Szurovy Géza* és *Vermes Miklós* részesültek. A magyar tudomány jelesei közül Szily-emlékérmét kapott még *Barta György* (1991), *Marx György*, *Simonyi Károly* (1997), *Almár Iván*, *Csaba György* (2005), *Gergely János* (2006), *Berényi Dénes*, *Császár Ákos* (2008) és *Abonyi Iván* (2009).

A Magyar Tudományos Akadémia elnöke 2010-ben alapította a Szily Kálmán Díjat a tudományszervezési és igazgatási feladatok során kiváló munkát végző személyek elismerésére, a példamutató köztisztviselői teljesítmény jutalmazására.

Szily Kálmán életművének nem kis elismerését jelenti az is, hogy az elmúlt években az általa alapított folyóirat, a *Természettudományi Közlöny* jogutóda, a *Természet Világa*, valamint a Magyar Nyelvtudományi Társaság is Magyar Örökség Díj-ban részesült.

⁶ Grétsy László: Szily Kálmán mint nyelvész. *Természet Világa* 133/12 (2002) (lásd az internetes kiadást).

FIZIKATANÍTÁS: MIT, HOGYAN, KINEK?

Egri Sándor – Debreceni Egyetem Fizikai Intézet, Kísérleti Fizikai Tanszék
Máth János – Debreceni Egyetem, Pszichológiai Intézet

2012. december 21-én az Oktatáskutató és Fejlesztő Intézet honlapján elérhetővé váltak az új fizika kerettantervek. Ezek közül a *B* jelű kerettanterv lényegében a korábbiak felépítését követi, illetve kiegészül a Nemzeti Alaptantervben megjelent – korábban a tananyagban nem szereplő – új tartalmakkal. Az *A* jelű kerettanterv azonban egészen új elrendezést követ, amennyiben a megváltozott tananyag egy jelentős részét inkább a természetben és a technikai környezetben való előfordulás szerint csoportosítva tárgyalja és nem minden esetben követi a korábban megszokott sorrendet. Erre utalnak például a következő témakörök: *A Nap, Energiaátalakító gépek, Hasznosítható energia, Vízkörnyezetünk fizikája, Hidro és aerodinamikai jelenségek, A repülés fizikája. A Hasznosítható energia* fejezetben belül (9-10. osztály) megjelenik az atomenergia, a tömeghiány fogalma, a tömeg-energia ekvivalencia elve, ami világossá teszi, hogy a címek nem csak formális változást jelentenek, hanem a tananyag egészét érintő lényeges szemléleti változást. A két változat együttélése jelzés arra nézve, hogy a fizika tanítása problémákkal birkózik. A problémák érzékeltetésére két korábbi vizsgálat eredményét emeljük ki. Az első azt mutatja, hogy a diákok nagyon keveset tudnak a középiskolai tananyagból (különösen akkor, ha nem érettségiztek fizikából), a második pedig azt, hogy a diákok általában nem is szeretik a fizikát.

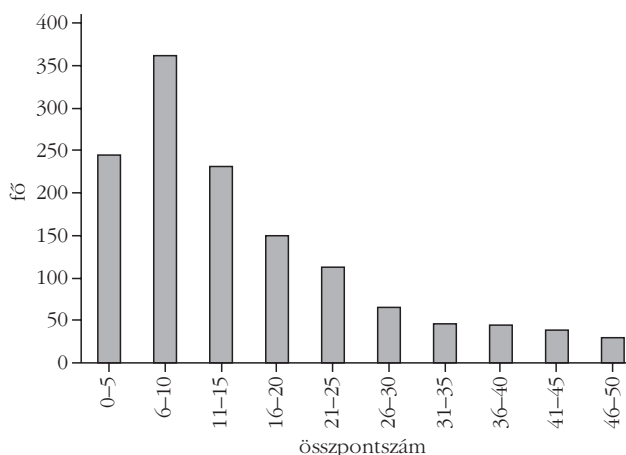
Az 1. ábra az egyetemekre bekerült hallgatókkal íratott fizika dolgozatok eredményét mutatja (kiemelve [1]-ből).

Az egész országban végzett felmérés során a tanulók a Mennyire szereted a következő tárgyat? – kérdésre válaszoltak 1-től 5-ig terjedő skálán, amely a nagyon nem szeretem (1) és a nagyon szeretem (5) szélsőségek között adott alkalmat a fizika iránti vonzalom kifejezésére. A *Csapó Benő* írásából [2] kiemelt grafikon mutatja az eredményt (2. ábra). A fizika egyértelműen és az idősebbeknél egyre növekvő mértékben leszakadva a többitől a legkevésbé kedvelt tantárgy. Ez a tény, amelyet azóta több hasonló felmérés is megerősített [3], egyéb okok mellett nyilván szerepet játszik abban, hogy a fizikatanári pálya különösen népszerűtlen. A szerző levonja a következtetést: „Ez a két tárgy (a fizika és a kémia) annyira népszerűtlen, annyira eltér a többitől, hogy az már jelentősen akadályozhatja oktatásukat.

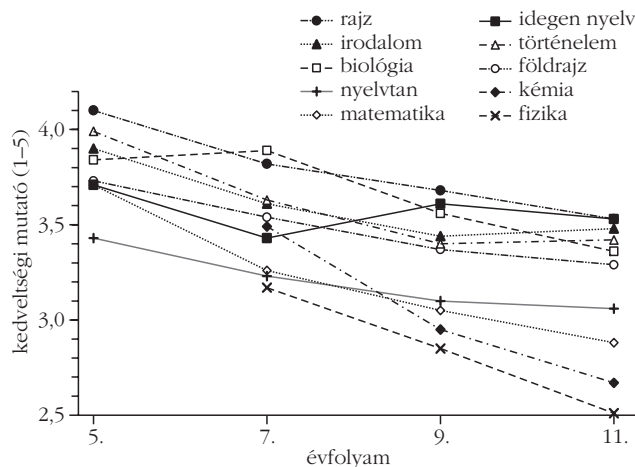
Ez a jelenség egyben komoly tantervi, tanítás-módszertani problémákra utal.” [2, 351. old.]

A világszerte hasonló eredmények miatt a fizika tanításával kapcsolatban több tudományos vizsgálat is indult. Az egyik ilyen a *Carl Wieman* Nobel-díjas fizikus által irányított, ami elsősorban a tanítás módszertanára összpontosít [4], a másik az *American Journal of Physics* egy ideig papír alapon is megjelenő mellékletével azonos elnevezésű *Physics Education Research*. Wieman kutatási eredményeit összefoglaló előadásában rámutat egyrészt arra, hogy az eredményes tanulás *komoly erőfeszítést igénylő, energiaigényes folyamat*, aminek a tanuló csak akkor vág neki, ha *megfelelő motivációval rendelkezik*. A tanárokat arra biztatja, hogy inkább kérdezzenek a diákoktól, mert ez fenntartja érdeklődésüket és segít nekik saját energiáik mozgósításában. A *Physics Education Research* tanulási folyamattal kapcsolatos eredményei azt mutatják, hogy a diákok minden esetben előzetes ismeretek, elképzelések birtokában lépnek be az iskolába, bár ezek az ismeretek nem feltétlenül helyesek vagy tudományosan helytállóak. Az oktatás során a tanultakat összevetik saját eredeti elképzeléseikkel. Az összevetés egyik lehetséges következménye, hogy kezdetleges elképzeléseiket, naiv, korlátozott tapasztalatokon alapuló magyarázataikat a fogalmi váltásnak nevezett folyamat során felcserélik a tudományosan megalapozottabb világmépből (például a Föld kezdetben lapos, későbbi lesz gömb alakú). Az oktatás hatékonyságát növeli, ha az oktató ismeri a tanuló előzetes ismereteit, illetve tévképzetét [5, 6].

1. ábra. A hallgatók által elért eredmények összpontszám-eloszlása.



A tanulmány alapjául szolgáló kutatást az OTKA (K-105262) támogatta.



2. ábra. A tantárgyakkal kapcsolatos attitűdök változása az iskolai évek során.

Az előzőek inspirálták, hogy egy felmérés során alaposan megvizsgáljuk az egyetemre bekerülő hallgatók fizikatudását, illetve néhány fizikai kérdéssel kapcsolatos mentális modelljeit.

A tudáspiramis

A tudást általában tudáselemek és a köztük lévő kapcsolatok segítségével modellezik. A tudáselemek a tudás adott vizsgálat szempontjából tovább nem bontott elemei. A tudáselemek összessége alkotja a tudásbázist, a tudáselemek közötti kapcsolatok pedig a tudás szerkezetét. A tapasztalatok azt mutatják, hogy a tudásbázis elemei egyfajta piramist alkotnak, aminek alján a fizikai tudás hétköznapi tapasztalatra épülő alapelemei foglalnak helyet, majd az egymásra épülő szintek fokozatosan vezetnek a világot leíró absztrakt modellek, képletek és axiomatikus elméletek megértése felé. A tudás szerkezetének elemzése nem újdonság, a „tudástérelmélet” [7, 8] éppen azt vizsgálja, hogy az egyes tudáselemek milyen előfeltétel-kapcsolatban vannak, és hogy egy adott feladat rossz megoldása mögött milyen tudáselemek hiánya húzódik meg.

A mérés és az eredmények ismertetése

Alább egy vizsgálat eredményeit ismertetjük, ahol a dolgozat feladatainak összeállításánál szakítottunk a hagyományos sémákkal, a fent említett tudáspiramis különböző szintjeire kérdezve rá.

Az első feladatban a gáztörvényben szereplő fizikai mennyiségeket kellett kiválasztani a többi közül, ez a tudáselem helyezkedik el a tudáspiramis alján (*kiválasztás*). A második feladatban néhány, a gázok állapotváltozásával kapcsolatos, a gáztörvényben szereplő mennyiség páronkénti kapcsolatára vonatkozó állítást kellett jól befejezni (*állítás*). A harmadik feladat a gáztörvény képletének ismeretét vizsgálta. A negyedik egy egyszerűbb, az ötödik egy bonyolultabb, a gáztörvény felhasználását igénylő számolási



3. ábra. Forró konzerv nyitásához sem árt tudni a gáztörvényt.

példa volt (*számolás1*, *számolás2*), a hatodik pedig egy „mi történik?” típusú kérdés, ami a tanultak hétköznapi helyzetben való alkalmazását igényelte. (Mi történik, amikor megpróbáljuk felnyitni a zárt konzervdobozban felmelegített ételt? 3. ábra)

Ami a tudás nagyságát illeti, a diákok körülbelül 80%-a helyesen választotta ki a nyomást, térfogatot és hőmérsékletet az első feladatban, 50%-uk a részecskeszámot. Ők nyilván a $PV/N =$ állandó alakban ismerték a gáztörvényt. A két mennyiség egyenes arányosságára vonatkozó állításokat a diákok körülbelül 65%-a ismerte fel jól, a fordított arányosság esetén ez az arány 50%. A gáztörvény formuláját 70%-uk tudta, nem volt elég a képlet leírása, szöveges ismertetésre is szükség volt. Az egyszerű számolási feladatokat a képlet megadása után is csak mintegy 30%-uk oldotta meg jól, különösen sokan követtek el hibát a mértékegységek használatakor. Az egyszerű gyakorlati kérdésekben 65%-uk gondolkodott jól, 35%-uk megegetné magát a váratlanul kifröccsenő étellel. Az izochor melegítéssel kapcsolatban a fizikaórán tanult ismereteket bizonyíthatóan a diákok 34%-a idézte fel megfontolásai során.

A tudásszerkezet vizsgálata

Az ideális gáz állapotjelzői közötti kapcsolatot egyszerű képlet írja le. Az egyes állapotjelzők változására tett állítások helyességének eldöntésénél mégsem bizonyult döntőnek a képlet ismerete.

Az 1. táblázat azt mutatja, hogy a képlet előzetes ismerete nincs szignifikáns kapcsolatban a szöveges állítások befejezésével. Nagyjából ugyanolyan arányban fejezték be jól vagy rosszul az állításokat a diákok, akár tudták a képletet (alsó sor a táblázatban), akár nem (fölötte lévő sor a táblázatban). Ez akkor

lehetséges, ha sok diák helyesen fejezte be az állításokat a képlet ismerete nélkül is! Az igazán érdekes kérdés azonban az lehet, hogy a képlet előzetes ismerete vagy az állítások megtanulása mennyire van kapcsolatban a számolási feladatok, illetve a gyakorlati probléma helyes megoldásával?

A statisztikai elemzés szerint az állítások befejezése szorosabb kapcsolatot mutatott a számolási feladatok megoldásával, mint a képlet előzetes ismerete. A képlet előzetes ismeretének az alkalmazási feladat (konzervmelegítés) eredményéhez sincs statisztikailag kimutatható köze, csak az állítások befejezésének. E szerint, ha legalább egy állítást sikerült jól befejezni, szignifikánsan nőtt annak esélye, hogy a diák megemlíti: a melegítés állandó térfogat mellett valósul meg. Ez pedig biztos jele annak, hogy a hétköznapi probléma megértése során a gáztörvénnyel kapcsolatos ismereteit használta a diák. A képlet ismeretéből és az állítások helyes befejezéséből együttesen viszont már következik a számolási feladatokban és a gyakorlati probléma megoldásakor nyújtott jobb teljesítmény.

Mi a baj a képletekkel?

A természettudományok és ezen belül a fizika tanításával, tanulásával gondok vannak.

Látnunk kell, hogy valami megváltozott a fizikatanításban és a világban is. Az előbbi esetén – az óraszámok csökkenésével – háttérbe szorult a kísérletezés, a tanítás elméletibb irányt vett. A tankönyvekben lévő tananyag tárgyalása rövid felvezetés után hamar eljut a képletek absztrakt szintjére, és innen már a fizika a képletekbe való – nehezebb feladatoknál algebrai kitérőkkel nehezített – behelyettesítésben testesül meg.

A külvilágról elmondhatjuk, hogy a diákok sem olyanok már, mint korábban. Öntudatosabbak, jobban szem előtt tartják saját érdekeiket – és nem szívesen csinálnak olyasmit, aminek nem látják hasznát. És azt mindenki jól tudja, mekkora hatásfokkal lehet tanítani azt, aminek hasznosságát a diák nem látja be [4].

Ezen túlmenően az informatikai eszközök térhódítása is mérhető hatással van rájuk: a böngészéssel töltött rengeteg idő a rövid szövegek olvasásához és azt kiegészítő képekhez, videókhoz szoktatja az elmét, ami így pillangóként lebben egyik tartalomról a másikra – komoly elmélyedés nélkül. Tévénézési magatartásukra a távkapcsoló adta teljhatalom nyomja rá bélyegét. A különböző szoftverek, honlapok, okostelefonok használata során felmerült problémák megoldásának – és többnyire ilyenekkel találkozunk – esetükben tipikus módja a próbálkozás, nem törekednek az egész rendszer „magas” nézőpontból való megértésére. Láthatóan nem divatos problémamegoldási eszköz az absztrakció. Ez ugyanis a tényleges problémától való átmeneti távo-

1. táblázat

A helyes válaszok és a képlet ismeretének kapcsolata							
		1. állítás		2. állítás		4. állítás	
		rossz válasz	jó válasz	rossz válasz	jó válasz	rossz válasz	jó válasz
a képletet	nem ismeri	14 (40%)	21 (60%)	9 (26%)	26 (74%)	16 (46%)	19 (54%)
	ismeri	29 (37%)	49 (63%)	28 (36%)	50 (64%)	42 (54%)	36 (46%)

lodást és extra erőfeszítést is jelent, ami a praktikus észjárás számára egyáltalán nem vonzó lehetőség.

Az írás előző részeiben ismertetett eredmények arra utalnak, hogy egy képlet mély megértése egy olyan piramis csúcsát jelenti, amelyre a legtöbb diáknak egyáltalán nem könnyű feljutnia, és a képlet megtanulása messze nem jelenti a feljutást. Ehhez kell az a komoly erőfeszítés, amiről Wieman professzor beszél. Kérdés, mi adja az erőt és elszántságot?

Talán meglepően hangzik, de ugyanaz, ami a tudósnak: ez által jobban megérthetünk olyan jelenségeket, amelyek önmagukban is érdekesek. Tehát a diákok számára érdekes jelenségek kellene, mert e nélkül nincs értelme megmászni a piramist. Ráadásul mindezt olyan csatornákon, módokon kell megmutatni, amelyeket ők használnak és értenek. Fentebb utaltunk rá, mennyire fontosak lettek a képek és videók.

Ezzel szemben a közelmúlt tankönyveiben és tananyagaiban az érdekes jelenségek és technikai alkalmazások gyakran a margón, az olvasmányban, az apróbetűs részben, a tananyag végén jelennek meg, míg a képletek gyakran a szöveg elején, piros keretben hangsúlyozva. Ezután többnyire olyan feladatok következnek, amelyekkel a képlet hasznosságát próbálják demonstrálni, de ezek gyakran olyanok, amelyeket magunktól sose akarnánk megoldani. Ha ezek izgalmas feladatok lennének, akkor is fordítva ülnénk a lovon, mert nem a hegytetőn kell bizonygatni, milyen hasznos volt felmászni, hanem a hegy lábánál kell azt elmondani, milyen jó is lesz majd fent. E miatt óriási luxus olyan példákkal élni a képletek előtt, amelyek nem köszönnek vissza a feladatokban. Így a példák megértésébe fektetett erőfeszítés nem hasznosul kellőképpen.

A jelenségek kapcsán van értelme definiálni a fogalmakat, amelyeket minél több szóval kell kötni a konkrét tapasztalatokhoz. Az emberi megismerés alapvető törvénye gyerekkortól kezdve, hogy új fogalmakat akkor használunk, ha tapasztalatainkat a régi fogalmakkal nem tudjuk megragadni [10]. Azonban azzal is tisztában kell lenni, hogy egy működő fogalom felépítéséhez nagyon sok konkrétumra, (lehetőleg saját) tapasztalatra, időre és erőfeszítésre van szükség [11]. Máshonnan közelítve a megismerés útja a konkrétól (vagyis az érzékszervekkel érzékelhetőtől) az absztrakt (érezszervekkel nem érzékelhető) felé halad, mert az absztrakt sémák a konkrétabbakból építkeznek, és azt tudjuk igazán megérteni, amire már van valamilyen sémánk [12]. Ennek nem mond ellent az a tény, hogy a diákok kisebb része megérti a képletcentrikus, abszt-

rakt tárgyalásmódot is. Ők ugyanis ezen az úton haladva már létrehozták azokat az absztrakt sémákat, amelyek túllépnek az adott témakörön és egy másik területen felbukkanva különösebb alapozás nélkül is használhatók. Gondoljunk például a gáztörvényre és annak képletére. A megértés egy bizonyos szintjén nyilvánvalóvá válik, hogy az ilyen képletek esetén, ahol csak szorzások és osztások szerepelnek, két mennyiség között – ha a többi állandó – csak egyenes vagy fordított arányosság lehetséges. Azonban az előző fejezetben ismertetett vizsgálatban láthattuk, hogy a képletek ilyen mélységű megértése még a mérnök-informatikus egyetemisták esetén sem nyilvánvaló.

Továbbá az is lehetséges, hogy a konkrét szinttől eltávolodva olyan analógiával élünk, ami ugyan absztrakt, de más területről származik, ahol az adott séma már jól ki van építve. Például az áramerősség definíciója előtt érdemes körüljárni ezt a kérdést a folyóvíz áramlási sebessége segítségével. Azonban ilyenkor is szükség van arra, hogy az így elért megértést összekapcsoljuk a konkrétumokkal, példák ismertetésével. Ellenkező esetben a tudás – kapcsolódás híján – zárványként marad meg vagy egyszerűen „elkopik”.

Nem sok értelme van például – pedig bevett szokás a tankönyvekben – súrlódási együtthatóról beszélni anélkül, hogy ismertetnénk néhány konkrét példát mondjuk a banánhéj-aszfalt, autógumi-aszfalt, korcsolya-jég esetén. Az együtttható értékét könnyebb szemléltetni azzal, hogy milyen meredek lejtőn indul csúszásnak az adott anyag.

Hasonlóan szembemegy a megismerés tipikus útjával a tanítás, ha az absztrakt ismeret oly magas szintről indul visszafelé, amivel a gyerekek többsége nem tud mit kezdeni. Ilyen például amikor a II. Newton-törvényt a legabsztraktabb $F = \Delta I / \Delta t$ alakkal kezdik – így a többség biztosan nem érti meg. Ráadásul ebben a formában annyira távol áll tőlük a képlet jelentése, hogy az inkább a megértés reménytelen voltáról győzi meg őket. Továbbá az sem mindegy a megértésre törekvő diák szempontjából, hogy az $F = m \cdot a$ vagy az $a = F/m$ alakkal találkozik először. Amíg az utóbbi jól értelmezhető a hétköznapi tapasztalatok felől, addig az előbbi annak az erőnek új definíciójaként tűnik fel a diákok számára, amit – például a rugós erőmérő kapcsán – már ismerni véltek.

Ha a tanítás tempója túl gyors, felfelé száguldunk a piramison, könnyen ugrunk túl nagyot, és nem ismerjük fel annak a szintnek a fontosságát, ahol a „minél inkább, annál inkább” jellegű kapcsolatok vannak. A gáztörvény esetén ez például azt jelentené, hogy ha nő a térfogat, csökken a nyomás, ha nő a hőmérsék-

let, nő a nyomás stb., feltéve, hogy a többi paraméter állandó. A hétköznapi problémák jó része ugyanis, amikor műszerek híján nincsenek pontos adataink, ezen a szinten oldható meg, mint például a feladatsorban szereplő konzerv melegítésének esete. Fontos megérteni, hogy a többség számára nem a képleten át vezet az út a hétköznapi problémák megértéséhez, hanem éppen fordítva: a képlet fontossága akkor válik nyilvánvalóvá, amikor konkrét adatokkal rendelkezünk, pontos eredményekre van szükségünk, tehát amikor a „minél inkább, annál inkább” szintű gondolkodás már nem elég. Azonban itt is fontos, hogy a feladatok érdekesek és életszerűek legyenek.

Jó példa lehet a hőlégballon, ami a levegő melegítésével emelkedik fel. Itt már annak a felismerése, megértése is fontos és figyelemre méltó, hogy a melegítés állandó nyomás és közel állandó térfogat mellett valósul meg (amikor a léggömb már magasan repül) és így a hőmérséklet emelkedésével csökken a ballonban lévő anyagmennyiség. Ugyanakkor nyilvánvalóvá válik a képlet haszna is, ha ki akarjuk számolni, hogy adott súlyú (emberekkel teli) kosár felemeléséhez mekkora léggömb és milyen melegítési teljesítmény kell. Ami pedig a motivációt illeti: minden olyan élmény segíthet, ami közelebb visz egy igazi léggömbhöz – a filmnézéstől egy konkrét léggömb megtekintésén át akár a levegőbe emelkedésig.

Irodalom

1. Radnóti K., Pipek J.: A fizikatanítás eredményessége a közoktatásban. *Fizikai Szemle* 59/3 (2009) 107–113.
2. Csapó B.: A tantárgyakkal kapcsolatos attitűdök összefüggései. *Magyar Pedagógia* 100/3 (2000) 343–366.
3. Csikos Cs.: Melyik a kedvenc tantárgyad? Tantárgyi attitűdök vizsgálata a nyíltvégű írásbeli kikérdezés módszerével. *Iskolakultúra* 2012/1 3–13
4. <http://www.cwsei.ubc.ca/>
5. Vosniadou, S.: Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and Instruction* 4 (1994) 45–69.
6. Hammer, D.: Student resources for learning introductory physics. *American Journal of Physics, Physics Education Research Supplement* 68/S1 (2000) S52–S59.
7. Taagepera, M.; Potter, F.; Miller, E. G.; Lakshminarayan, K.: Mapping students' thinking patterns by the use of the knowledge space theory. *International Journal of Science Education* 19/3 (1997) 283–302.
8. Doignon, J.; Falmagne, J.: *Knowledge Spaces*. Springer-Verlag, Berlin, 1999.
9. Csikszentmihályi M.: *Flow – az áramlat, a tökéletes élmény pszichológiája*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1997.
10. Piaget J.: *Az értelem pszichológiája*. Gondolat kiadó, Budapest, 1993.
11. Vosniadou S.: Tanulás, megismerés és a fogalmi váltás problematikája. *Magyar Pedagógia* 101/4 (2001) 435–448.
12. Neisser, U.: *Megismerés és valóság*. Gondolat kiadó, Budapest, 1984.



**Az Eötvös Társulat
főnt van a **facebook** -on!**



<https://www.facebook.com/pages/Eötvös-Loránd-Fizikai-Társulat/434140519998696?fref=ts>

A fizikát úgy is érdekessé lehet tenni, ha aktualitásait visszük be az iskolapadba. A fizika törvényei nem változnak, csak a felhasználói környezet, eszközök, gyakorlati felhasználások jelennek meg új és új köntösben, divatszerűen hullámozva.

A kinematika témakörét vonzóvá tehetjük, ha a vezetés mindennapjait emeljük ki és „mellesleg” végzünk néhány igazoló számítást, ellenőrző kísérletet. A középiskolai tanulók többségében már a 9. osztályban felmerül a gondolat, hogy milyen jó lenne minél előbb megszerezni a jogosítványt. Sokan közülük már a 10. osztályban le is teszik a KRESZ-vizsgát, és a 11. osztályban megkezdhetik a forgalomban történő vezetést, hogy év végére megszerezhessék a jogosítványt is. Véleményem szerint, ha modern, digitális környezetben aktuális problémákat vetünk fel a diákjaink előtt, azok sokkal fogékonyabbak lesznek a tananyag iránt, és ha ezt gyakorlati alkalmazás (vezetési gyakorlat) is követi, megszilárdult, bármikor mozgatható tudást eredményez. A balesetek többsége elkerülhető lehetne, ha több alkalmazott fizika működne a vezetők fejében.

Az autópályákon nincs szembejövő forgalom, mégis igen gyakoriak a balesetek. A követési távolság fogalmának vizsgálata során megelevenedik a kinematika, az egyszerű számítások is izgalmasabbak lesznek. A lent felsorolt kísérleteket 9-10. osztályos tanulókkal végeztem el, szakköri diákmunkán, illetve projekt-módszerrel. Az eredmény az otthoni kísérletezés, számolás és kiértékelés lett, a kíváncsiság és a számítógép alkalmazása erős mozgatórugónak bizonyult.

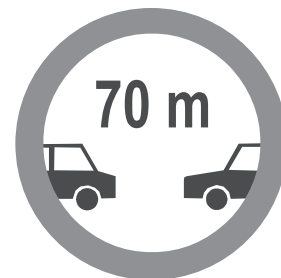
A követési távolságról

A KRESZ 2011. évi módosításában a 27§ (1) kimondja, hogy „járművel másik járművet csak olyan távolságban szabad követni, amely elegendő ahhoz, hogy az elöl haladó jármű mögött – ennek hirtelen fékezése esetében is – meg lehessen állni”. A követési távolság be nem tartásából származó egyik gyakori baleset az utoléréses baleset. Ez a típusú baleset különösen veszélyes nagy sebességű járművek, azaz például autópályán közlekedő gépkocsik esetében. A sztrádákon bekövetkező 1000 balesetből 164 utoléréses baleset, ez is indokolja, hogy 2012-ben többször is olvashattunk a sajtóban a követési távolságra vonatkozó szabály további módosításaira tett törekvésekről, a követési távolság pontosabb definiálásáról, a hatóság ellenőrzési technikáinak alternatíváiról, hogy a szabálytalankodókat a jövőben hatékonyabban tudják kiszűrni a forgalomból, és ezzel a baleseti statisztikákon lehessen javítani.

Köszönetet mondok Juhász András témavezetőmnek, Nyíri Kinga és Szántó Lajos 10. osztályos tanulóknak.

Mekkora legyen a közlekedés során a biztonságos követési távolság, hogyan tarthatja ezt be a vezető, és hogyan határozható meg valójában?

Vegyük először azt az egyszerű esetet, ha két teljesen azonos paraméterű jármű közlekedik egymás után. Ha az elöl haladó jármű vezetője fékez, akkor a háta mögött közlekedő jármű vezetőjének is fékeznie kell, vagy – ha van rá lehetőség – sávot váltania. De valójában mikor kezdi meg a követő jármű vezetője a fékezést? Az észleléstől a cselekvésig bizonyos idő telik el: ez az idegrendszer sajátos felépítésétől és állapotától függő reakcióidő. Ez alatt a követő jármű változatlan sebességgel halad tovább, ami az utoléréses balesetek fő okozója. A követési távolság betartására jelzőtáblák és felfestések is figyelmeztetnek (1. ábra).



1. ábra. Legkisebb követési távolság 70 m. A követő autó nem mehet 70 méternél közelebb az előtte haladóhoz.

Számítsuk ki, hogy a Magyarországon megengedett maximális sebességgel haladó autó mekkora t idő alatt teszi meg az $s = 70$ méteres távolságot, ha feltételezzük, hogy az autópályán a megengedett $v = 130$ km/h = 36,1 m/s egyenletes sebességgel halad!

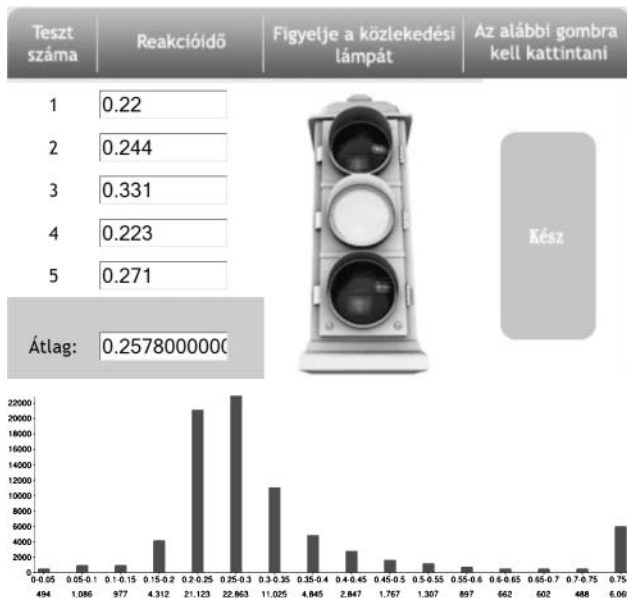
$$t = \frac{s}{v} = \frac{70 \text{ m}}{36,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 1,94 \text{ s.}$$

A követési távolságot nem könnyű betartani, hiszen a perspektíva torzítása és a mozgás miatt is igen nehéz feladat megbecsülni a 70 métert. Ennek könnyítése érdekében az autópályákra fehér párhuzamos nyilakat festettek fel, amelyek között 72 méter távolság van. Ha az előző számítást 72 méterre is elvégezzük, akkor 2 másodpercet kapunk.

A követési távolság tehát nem csak távolságban, hanem időben is megadható. Ezt népszerűsíti az Állami Autópályakezelő Zrt. is (2. ábra).

2. ábra. A követési távolság időben is definiálható, ezt mutatja az Autópálya Kezelő Zrt. figyelemfelhívása is.





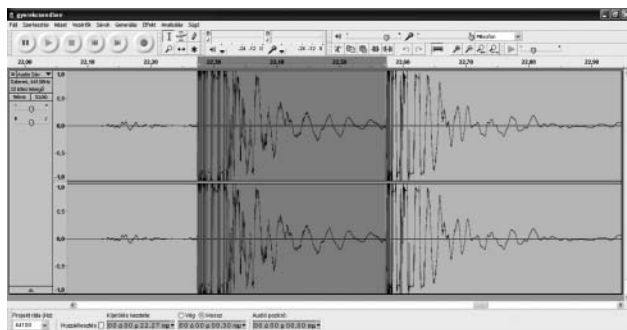
3. ábra. Online reakcióidő mérő teszt a http://egopont.cowww.egopont.com/hu/reaction_time_test.php oldalon. Fölül a tesztpanel, alul az eddigi eredmények eloszlása a honlapról. A tesztet több mint 70 000 ember végezte el, a leggyakoribb reakcióidő: 0,25-0,3 másodperc között volt.

Hogyan tartunk 2 másodperc távolságot? Az előttünk haladó jármű mellett jegyezzünk meg egy tereptárgyat, vagy útburkolati hibát, a lényeg, hogy a kiszemelt céltárgy ne mozogjon és az előttünk haladó jármű mellett legyen. Kezdjük el másodpercnyi ütemben számolni addig, amíg el nem érjük a céltárgyat. Akkor biztonságos a követési távolságunk, ha kettőt vagy annál tovább tudunk számolni.

Ahhoz, hogy ez az idő elegendő-e a maximális 130 km/h sebességnél a biztonságos fékezéshez, a reakcióidőt kell részletesebben megvizsgálnunk!

A reakcióidő tehát az inger és az általa kiváltott reakció között eltelt idő, ami korántsem állandó. A reakcióidő jelentősen megnő alkohollal és bizonyos gyógyszerek fogyasztása alkalmával, de a kialvatlan-ság, idegi fáradtság, magasabb életkor is megnyújthatja a reakcióidőt. A reakcióidő az interneten számos oldalon online is mérhető. A tesztek során egy közlekedési lámpát látunk, ami, ha zöldre vált, egy billentyűt kell lenyomnunk (3. ábra). A program ezt ötször

4. ábra. Az Audacity programvezérlő panelje. A képen két koppnás közötti szakasz idejének kijelölését látjuk, a lenti sorban az időtartam olvasható le századmásodpercnyi pontossággal.



megismétli, majd a kapott adatokat átlagolja, és összeveti az addig összegyűjtött értékekkel. Feltételezve, hogy a teszteket elvégző nagyszámú alany valóban fegyelmezetten végezte el a teszt-feladatokat, statisztikailag képezhetünk egy reakcióidő-átlagot, ami 0,25-0,3 s körül mozog.

Ez a 2 másodperc követési távolsághoz képest igen kicsiny időtartam, de a vezetés során nem tudunk végig egyenletesen úgy koncentrálni, mint a teszt elvégzésekor. Az autópályán a nagy sebesség mellett pedig, amit néhány perc alatt megszokhat a vezető, hamar bekövetkezhet a monotonia, és ez a koncentráció csökkenésével jár. Ezen kívül egy másik körülményt is figyelembe kell venni, nevezetesen, hogy az észlelés után a gázpedálról le kell venni a lábunkat és át kell helyezni a fékpedálra, majd be kell nyomni azt. Ez a cselekvéssor plusz időt igényel. A reakcióidő mérését tehát módosítanunk kell. (Tempomat használatánál a láb nincs a gázpedálra, így a fékezés valamilyen kisebb extra időt igényel.)

Reakcióidő mérése az audacity program segítségével

Az audacity program egy ingyenes hangszerkesztő program, amelyet letölthetünk a <http://audacity.sourceforge.net/download/?lang=hu> oldalról.

Indítsuk el a programot, majd állítsuk be a mikrofont! A mérésvezető és a kísérlet alanya is egy tollat fog a kezében. Az alany háttal ül a mérésvezetőnek. A mérésvezető elindítja a felvételt, majd véletlenszerű időközben az asztalra koppint. Az alany feladata, hogy a mérésvezető koppintását megismételje, vagyis amint meghallja a koppanó hangot, ő is koppintson egyet a tollával az asztalra. A mérésvezető legalább tízszer koppint az asztalra a mérés során. A mérés végeztével a mérésvezető leállítja a felvételt.

1. táblázat			
A reakcióidő gyakorlatilag független az életkortól			
	gyerek	gimnazista	felölt
1.	0,33	0,44	0,28
2.	0,37	0,32	0,25
3.	0,25	0,25	0,25
4.	0,3	0,35	0,24
5.	0,19	0,37	0,21
6.	0,1	0,16	0,23
7.	0,43	0,31	0,21
8.	0,37	0,27	0,21
9.	0,3	0,22	0,20
10.	0,27	0,35	0,23
átlag	0,291	0,304	0,231
szórás	0,1	0,08	0,02



5. ábra. A mérés kivitelezése. A mérésvezető balra, a kísérleti alany jobbra látható.

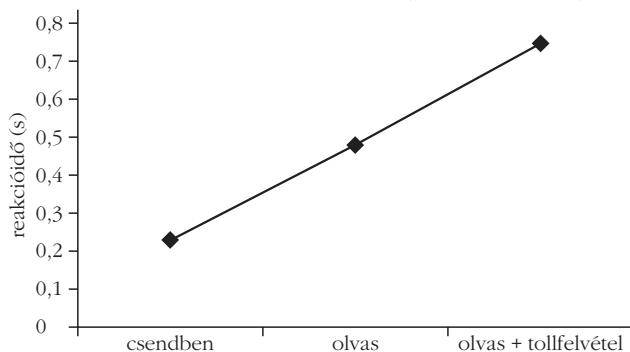
A program nem csak a felvett hanganyagot tárolja, hanem a hanghullámot is ábrázolja az időben. Az idő-tengelyről az adatok ezredmásodpercnyi pontosságra olvashatók ki, de a mérésünk során elegendő a századmásodpercnyi leolvasás (4. ábra). Mivel egy koppanás hullámgörbéje igen határozott, vizuálisan is könnyen fel tudjuk ismerni a mérésvezető és az azt követő alany koppintását. A program lehetőséget ad különböző időszakaszok kijelölésére is. Jelöljük ki azt a szakaszt, amelynek kezdete az első koppintástól a másodikig tart! A program a kívánt pontossággal kijelzi a szakasz elejét és végét. A két érték különbségének az abszolút értéke adja a reakcióidőt, amit a program automatikusan ki is számol. Gyűjtsünk ki a felvételtől legalább 10 reakcióidőt, majd átlagoljuk, és számítsuk ki a szórását (1. táblázat)!

A kapott értékek 0,25-0,3 s körüliek lettek, hasonlóan az online teszteknel mért értékekhez.

Ha a vezetés körülményeit jobban akarjuk közelíteni, a mérést úgy is el kell végezni, hogy a kísérleti alany figyelmét megosztjuk, például a kísérlet elvégzése közben hangosan olvasnia kell egy könyvből egy ismeretlen szövegrészt.

Ha a láb gázpedálról a fékre áttett mozdulatsorát is figyelembe akarjuk venni, akkor tovább kell nehezíteni a kísérleti alany dolgát: a tollat nem tarthatja kezben, csak a koppintás időtartamáig, ezt követően mindig vissza kell helyezni az asztalra (5. ábra).

6. ábra. Felnőtt reakcióidejének jelentős növekedése, ha többfelé osztlik figyelme, pluszcselekvés tovább rontja a válaszadási idejét.



2. táblázat

A reakcióidő figyelemmegosztás és pluszfeladat esetén egyre magasabb (felnőtt kísérleti alannyal)

	csendben	olvas	olvas + tollfelvétel
1.	0,28	0,5	0,62
2.	0,25	0,43	0,81
3.	0,25	0,42	0,61
4.	0,24	0,62	0,76
5.	0,21	0,41	0,78
6.	0,23	0,43	0,83
7.	0,21	0,66	0,71
8.	0,21	0,63	0,73
9.	0,20	0,34	0,76
10.	0,23	0,36	0,87
átlag	0,231	0,48	0,748
szórás	0,02	0,12	0,08

A kísérlet eredményeit foglaljuk táblázatba (2. táblázat), a kapott átlagértékeket ábrázolhatjuk grafikonon! A mérési eredményeket összefoglalva kijelenthető, hogy a reakcióidő jelentősen megnövekszik, ha a figyelem többfelé oszlik, és tovább növekszik bizonyos cselekvési sor elvégzése közben (6. ábra).

Az otthon, családban megismételt mérések szerint az életkor nem volt meghatározó tényező a reakcióidő értékeinél (6-38 év), de egyes irodalmi adatok szerint a reakcióidő 39 év után jelentősen hosszabbodhat.

A mérések során tehát még mindig egy másodpercen belüli reakcióidő-értékeket kaptunk, ami meggyőző arra nézve, hogy a 2 másodpercnyi követési távolság csakugyan biztonságos a közlekedés gyakorlatában. Nem szabad elfelejtenünk azonban, hogy a különböző járművek lassulási, fékezési és egyéb paramétereinek különbözősége miatt további tizedmásodperceket kell még a kapott eredményeinkhez hozzáadni.

Tankönyvi feladatok

- Mekkora utat tett meg a 90 km/h sebességgel haladó jármű az észleléstől a fékezésig, ha a közben eltelt idő (az észlelési és a cselekvési idő együtt) 1,6 s volt. (Egységes érettségi feladatgyűjtemény I. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 11. oldal, 41. feladat)

A feladat már a cselekvési időt is felhasználja, ezzel a vezetési gyakorlathoz közelebb viszi a problémahelyzetet.

- A 12 m széles út bal oldaláról váratlanul keresztbe szalad egy őz a 90 km/h sebességű autó előtt 30 m-re. El tudják-e kerülni az ütközést, ha a reakcióidő 1,6 s és az őz sebessége 36 km/h? (Az észlelési és a cselekvési idő együtt a reakcióidő, azaz ennyi idő telik el a fékezés-



7. ábra. Az adaptív sebességszabályozó a rendszerhatárokon belül a radaros érzékelők segítségével automatikusan biztosítja az elöttünk haladó járműtől való megfelelő követési távolságot és folyamatosan tartja azt.

sig.) (Egységes érettségi feladatgyűjtemény I. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 14. oldal, 64. feladat)

A feladat a reakcióidőt osztja fel észlelési és cselekvési idő összegére.

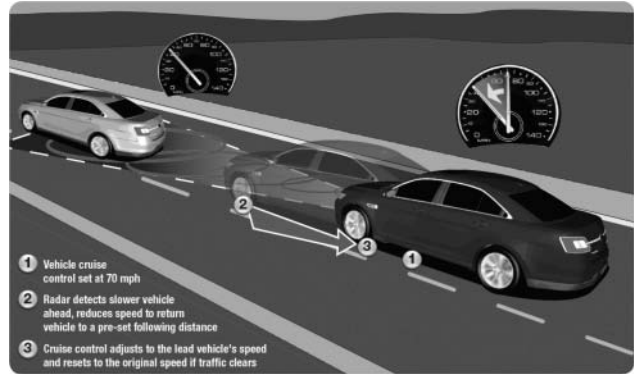
• Autópályán 108 km/h sebességgel haladó autó vezetője 98 m távolságban forgalmi akadályt vesz észre. El tudja-e kerülni az ütközést, ha reakcióideje 1 s és a kocsi 10 s alatt állítható meg? (Szakközépiskolai összefoglaló feladatgyűjtemény. Tankönyvkiadó, Budapest, 33. oldal, 1.41. feladat)

A feladat egy konkrét problémahelyzetet vizsgál, a végeredmény kiszámítása után egy reláció dönti el egy esetleges baleset kimenetelét. A feladat érdekessége még, hogy a fékutat időben adták meg.

Automatikus követési távolság

Az ACC, azaz Adaptive Cruise Control egy olyan rendszer, amely a gépkocsiba szerelt radarszenzor segítségével folyamatosan méri az előtte haladó jármű távolságát (7. ábra).

Ha ez a távolság csökken, akkor ezt a műszerfalon hanggal és/vagy fénylő ikonnal jelzi, de a modernebb típusoknál motorféket és tényleges féket is aktivizálhat (8. ábra). A rendszert bizonyos típusoknál sportos, normál és kényelmes követési távolságra is be lehet állítani, de a vezető egyszerűen kiiktathatja, ha nem kívánja használni. Használatával a tervezők sze-



8. ábra. A radar visszajelzése szerint, ha a gépkocsi követési távolsága már nem biztonságos, az elektronika lassítással beállítja a kívánt sebességet.

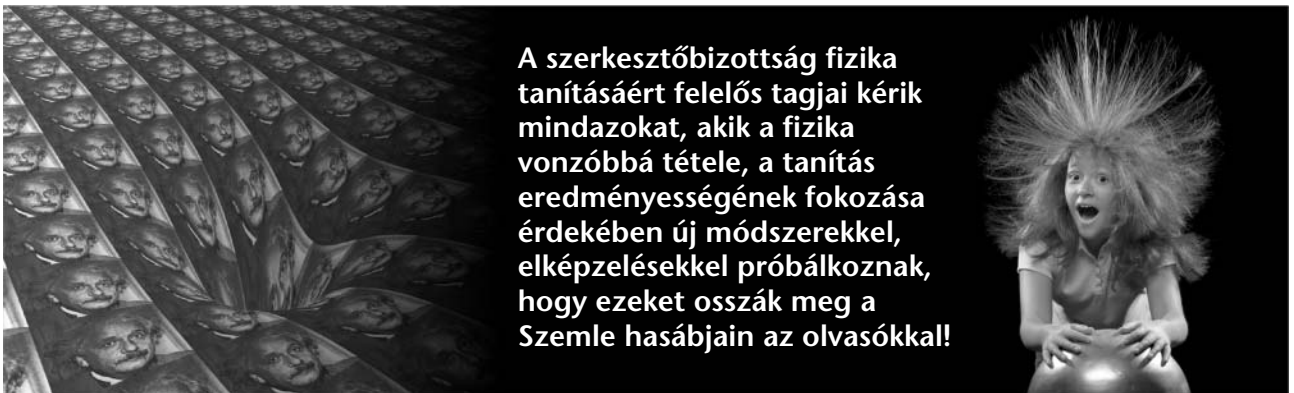
rint igen nagy mértékben lehet csökkenteni az utóéres balesetek számát. A kellő vezetői rutinnal rendelkező vezetők nagyon előnyösen alkalmazhatják, hiszen a reakcióidő átlagos 0,7 másodpercet 0,1 másodperc alá csökkenti, így az észleléstől a cselekvésig megtett út lényegesen csökkenthető.

Jelenleg GPS-összekötött rendszerek is léteznek, amit optikai kamerával ötvözve az autópályán az elöttünk lévő járművek indexét is figyelik, így, ha az optika indexelést érzékel, nem csökkenti az autó sebességét, feltételezve, hogy az elöttünk haladó jármű úgyszólván át fog sorolni egy másik sávba.

Az autógyártók természetesen minden esetben megjegyzik, hogy a sebesség, illetve a követési távolság folyamatos ellenőrzésének felelőssége bekapcsolt „adaptive cruise control” mellett is a vezetőt terheli.

Irodalom

1. <http://autotechnika.hu/cikkek/7271,a-volkswagen-radaralapu-acc-rendszerek-ujrakalibralasa.html>
2. http://www.audi.hu/elmenyvilag/hatekonysag/a_haladas_techikaja/assiztensrendszerek/adaptive_cruise_control/
3. http://www.audi.hu/modellek/q7/q7_v12_tdi/felszereltsag/technologia/adaptive_cruise_control/
4. http://www.porschepest.hu/Haendler/U04867/?audi&id=98000&DOM=/haendler/modellek/a8/a8/felszereltsag/vezetoi_segged_rendszerek/audi_adaptive_cruise_control_es_stop_go_funkcio/
5. <http://blog.carlist.my/2010/08/blog/modern-car-features-adaptive-cruise-control/>
6. http://translate.google.hu/translate?hl=hu&langpair=en|hu&u=http://en.wikipedia.org/wiki/Autonomous_cruise_control_system



A szerkesztőbizottság fizika tanításáért felelős tagjai kéri mindazokat, akik a fizika vonzóbbá tétele, a tanítás eredményességének fokozása érdekében új módszerekkel, elképzelésekkel próbálkoznak, hogy ezeket osszák meg a Szemle hasábjain az olvasókkal!

HOGYAN CSINÁLHATUNK KVARKANYAGBÓL HIGGS-BOZONT? – II. RÉSZ

Csörgő Tamás
MTA Wigner FK Részecske és Magfizikai Intézet

3. rész:

Kutatásaimról közérthetően, és játékosan:
kvarkanyagból Higgs-bozont!

Bevezető: a részecskés kártyajáték rövid története
és első nemzetközi visszhangja

A természettudományos műveltség hazai háttérbe szorulását, például a középiskolai matematika és fizika óraszámok jelentős csökkenését érzékelve, újjászerveztem volt középiskolámban, a gyöngyösi Berze Nagy János Gimnáziumban a diákkoromban ott nagyszerűen működő természettudományos önképzőkört, új nevén a BerzeTÖK-öt. Ebbe az Önképzőkörbe azután rendszeresen meghívtam tudós barátaimat, akik saját kutatási területükről, sok esetben a részecske- és magfizika területéről tartottak előadást a Berze érdeklődő diákjainak és tanárainak, valamint bátorítottam és bátorítottuk a diákok és tanárok önálló előadásainak megtartását is, egy általuk érdekesnek tartott, természettudományokhoz kapcsolódó probléma feldolgozását, egy érdekes matematika- vagy fizikapélda szép megoldását, vagy egy tudománnyal kapcsolatos hír elemzését. Ebben a szellemi közegben egy új ötlet szikrája pattant ki az egyik önképzőkörös diák, *Török Csaba* fejéből: nevezetesen az elemi részecskék modern periódusos rendszerét, a Standard Modellt kártyalapok segítségével is meg lehet jeleníteni. Kislányom, az Önképzőkör akkori elnöke, *Csörgő Judit* továbbította számomra *Török Csaba* ötletének hírét, szakmai mentorként magam is bekapcsolódtam a játék kialakításába, olyan modern eredmények felé terelve a játék fejlesztését, mint a RHIC gyorsítónál 2010-ben hivatalosan is felfedezett kvarkanyag (a kvarkok közel tökéletes folyadék, korábbi nevén kvark-gluon plazma) vagy a 2012-ben a CERN LHC gyorsítójánál felfedezett, közel 126 GeV-es tömegű új részecske vizsgálata, amelynek legalább egy tulajdonsága megegyezik a részecskefizika Standard Modelljéből még fel nem fedezett, utolsó hiányzó részecske, a Higgs-bozon tulajdonságaival. Kártyajátékunk jelentős nemzetközi és hazai sikert ért el: a RHIC gyorsítót üzemeltető Brookhaveni Nemzeti Laboratórium (USA) játékunk ismertetésével köszöntötte portálján a 2011-es évet, fejlesztésünkről beszámolt a *Brookhaven Bulletin*, a *CERN Courier*, az igen rangos *Science Magazin*, illetve itthon a Magyar Tudományos Akadémia portálja is. Munkánk lényegét és első eredményeit egy kártyamelléklettel ellátott kis könyvben adtuk ki [16].

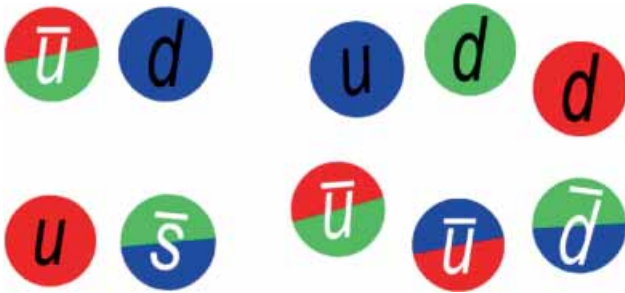
A továbbiakban legújabb fejlesztéseinket ismertetem, de előbb még megemlítek néhány történeti érdekességet. Elsőként azt, hogy a Részecskés Kártya-

játék 2. díjat nyert az ELTE 2011-es Hallgatói Innovációs Pályázatán, és kiemelt dicséretben részesült a 19. Országos Ifjúsági Innovációs Vetélkedőn. Jelenleg a második magyar nyelvű kiadása hazai piaci forgalomban, a második angol nyelvű kiadása pedig nemzetközi forgalomban kapható, szellemi tulajdonát az USA Brookhaveni Nemzeti Laboratórium technológia transzfer irodáján keresztül benyújtott USA szabadalom, valamint megadott EU és magyar formatervezési mintaoltalom is védi, német és olasz nyelvű fordítása előkészületben van. A következő részben az előkészítés alatt álló, harmadik magyar és angol nyelvű kiadás új fejezeteiből nyújtok előzetest. Ide tartozik az a számomra meglepő, váratlan öröm is, hogy két eldugott kis faluból származó középiskolás önképzőkörös diák ötlete, munkája vezető hírré válhat a világ jelentős kutatóintézete, az amerikai Brookhaveni Nemzeti Laboratórium portálján. Ezen felbuzdulva indítványoztam a Magyar Természettudományos Önképzőköri Mozgalmat, a Magyar TÖK Mozgalmat, amely szellemi erők összefogásán alapul, célja szellemünk művelésének segítése, a nagy múltú magyar természettudományos kultúra és műveltség színvonalának emelése.

Kvarkanyagból Higgs-bozont!

A Részecskés Kártyajátékhoz kapcsolódó legújabb fejlesztésünk a 2012-es év egyik tudományos újdonságához, a CERN LHC ATLAS és CMS kísérleteinek nyári sajtótájékoztatójához kapcsolódik, ahol megtudhattuk, hogy az LHC 7 és 8 TeV-es p+p ütközéseiben legalább egy, korábban nem ismert új részecske nyomait fedezték fel. Az új részecske legalább egy tulajdonsága megfelel a részecskefizika Standard Modelljében az utolsó hiányzó részecske, a Higgs-bozon tulajdonságainak, de még nem világos, hogy a Standard Modell Higgst, vagy egy korábban nem vizsgált, új részecskét, esetleg részecskéket fedeztek-e fel.

Ezen rész fő témája egy olyan új részecskés kártyajáték bemutatása, amely segítségével megismerhető és megismertethető a 2012-ben felfedezett új részecske néhány, már biztosan megismert új tulajdonsága, és játékos formában érzékelhető a felfedezés izgalma és nehézsége is. További szépséget ad ezen játékoknak az a tény is, hogy a játékok a *Részecskés Kártyajáték – Elemi Részecskék, Játékosan* című könyvünkben leírt, eredetileg a Standard Modell jól ismert leptonjait és kvarkjait jelképező kártyapaklival játszhatók [16]. Ez a kártyapakli azonban nem tartalmaz Higgs-bozont. Ez indokolja a címben feltett kérdést, amelyre remélhetően a cikk végére választ kaphatunk.



1. ábra. Részecskés kártyalapokból mezonok balra lent és fent, valamint barion és antibarion jobbra fent, illetve lent.

A Kvarkanyag Memóriája

Ebben a részben könyvünk [16] alapján ismertetem a *Kvarkanyag kártyajáték* rövid kivonatát. Ez volt az a játék, amelynek feltalálása felkeltette a kvarkanyagot felfedező Brookhaveni Nemzeti Laboratórium sajtósaínak és technológiatranszfer irodájának érdeklődését, tudományos szaklapokban és portálokon megjelent népszerűsítő cikkek, valamint szabadalmak sorát indítva el ebben a szerző számára is váratlan fordulatokkal és meglepetésekkel szolgáló történetben. Az egyik ilyen váratlan fordulat *Angela Melocoton*hoz, a BNL vendégkutatókat és az AGS és RHIC gyorsítók felhasználóit is fogadó GUW központ vezető adminisztrátorához fűződik. Angela asszony pozitív és lelkesítő hozzáállása tette lehetővé, hogy a 2011-es AGS és RHIC Felhasználói Találkozó (AGS and RHIC Users Meeting) alkalmából a BNL az általunk kifejlesztett *Kvarkanyag kártyajáték* leírását, valamint egy speciálisan erre a célra kialakított kártyapaklit ajándékozott minden regisztrált résztvevőnek. Tapasztalataink szerint az új felhasználók számára továbbra is ez a regisztrációs csomag részeként átadott ajándék a BNL-ben. Angela asszony az eredeti *Kvarkanyag játékot* kissé túlságosan fizikus játéknak találta, és családtagjaival egy új változatot fejlesztett ki, a Memóriajáték – Memory stílusú *Kvarkanyag játékot*. Ez az ötlet természetesen felvillanyozta a szerzőt, és Angela asszony játéknak leírását beillesztettük a BNL felhasználók részére kiadott, rendszeresített *Kvarkanyag játék* leírásába [17]. Ennek fordítását ismertetem alább.

A játékosok száma: tetszőleges.

A játék célja: minél több kártyalap minél gyorsabb összegyűjtése olyan módon, hogy észleljük a kvarkanyagból, a kvarkok tökéletes folyadékából képződő részecskéket (1. ábra), a kvarkanyag időbeli fejlődésének megfelelő módokon.

A játék menete: Az alaposan összekevert kártyapakliból kupacot készítünk, a 2. ábrának megfelelő módon, kezdő szinten a részecskéket ábrázoló kártyalapokat felfelé fordítva. Ez jelképezi a nehézion-ütközésekben létrejövő kvarkanyag, a tökéletes kvarkfolyadék kialakulását.

Ebből először a neutrínók távoznak, ezért a játékosok először a neutrínókat ábrázoló kártyalapokat válogatják ki. A neutrínókat egyenként, a kupacban történő turkálással kereshetik meg a játékosok. A ki-

válogatott neutrínós lapokért ebben a játékban nem jár pont, mert ezen részecskék annyira nagy áthatoló képességűek, hogy az egész Földön is képesek kölcsönhatás nélkül átsuhanni, így nem tudjuk őket detektálni a kvarkanyagot, más néven a kvark-gluon plazmát észlelő kísérletekben sem.

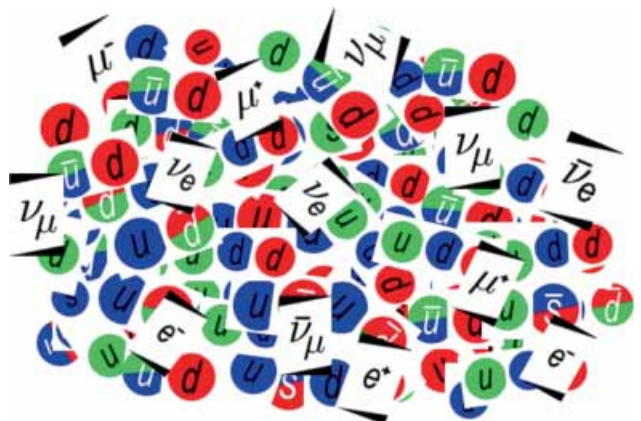
A következő szakaszban a kvarkanyag roppantul magas, tudományos Guinness-rekordnak számító 4 Terakelvines kezdeti hőmérsékete miatt [18] fellépő hőmérsékleti sugárzást észleljük, lepton-antilepton párok formájában. Az ily módon keletkező elektron-pozitron és müon-antimüon párok kiszöknek a plazmából, mert nem vesznek részt a kvarkokat összetartó erős kölcsönhatásban. Ezt jelképezve a játékosoknak lepton-antilepton párokat (e^-e^+ vagy $\mu^-\mu^+$ párokat) kell kiválogatniuk, továbbra is turkálva a kvarkanyagban. Ez a játék második szakasza.

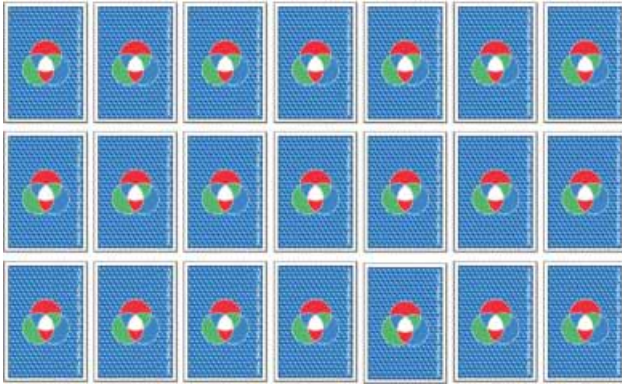
Az összes lepton kiválogatása és párosítása után megkezdődhet a játék harmadik, utolsó szakasza, a hadronizáció, a kvarkok és antikvarkok megfigyelhető részecskékké, hadronokká alakítása. Ebben a szakaszban a játékosok megfigyelhetik, hogy a turkálás során a kvarkanyag tágul és a részecskék száma csökken, ami a nagy kezdeti nyomás miatti tágulást modellezi. A hadronizáció során a játékosoknak a kvarkokból és antikvarkokból színsemleges, azaz a piros, a kék és a zöld színt egyformán tartalmazó kombinációkat kell alkotniuk. Az egy kvarkból és egy antikvarkból álló, színsemleges részecskéket mezonoknak, a három különböző színű kvarkból álló részecskéket barionoknak, a három különböző antiszínű antikvarkból álló részecskéket pedig antibarionoknak nevezzük.

A *Kvarkanyag kártyajáték* különböző nehézségi szinteken játszható, beleértve a teljesen kezdő, laikus szintet is [16]. Ebben a cikkben Angela Melocoton (BNL) ötlete alapján egy új, memóriatípusú kvarkanyag játékot is ismertetünk.

1. *Kezdő szinten* a játékosok nem ismerik a kvarkokból és az antikvarkokból kialakított hadronok neveit. Csupán azzal törődnek, hogy azonosítsák a neutrínókat, majd a leptonpárokat, és hogy a hadronok kialakításakor betartsák a színsemlegesség szabályát. A hadronok vagy mezonok vagy (anti)bario-

2. ábra. A *Kvarkanyag kártyajáték* kezdeti állapotának illusztrációja.



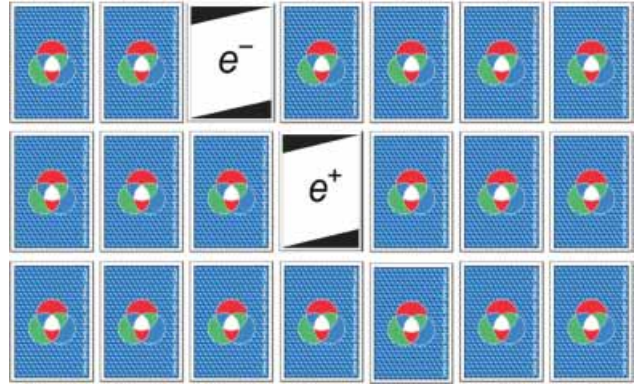


3. ábra. Kvaranyag memóriajáték kezdő helyzete (illusztráció, a tényleges játék nem 3×7 , hanem 6×11 lappal indul).

nok. Mezonokat quark-antikvark párokból alkothatunk, olyan módon, hogy mind a három alapszín (piros, zöld és kék is) megjelenjék, például egy kék quark és egy piros-zöld antikvark párosításával (1. ábra balra fent). Barionokat három kártya segítségével formálhatunk meg, egy-egy piros, kék és zöld színű quarkos kártyalap segítségével (2. ábra jobbra fent). Az antibarionokat pedig három antikvarkból alkothatjuk meg, olyan módon, hogy mindhárom antiszín jelen van, tehát a piros/zöld, a zöld/kék és a kék/piros színeket kell kombinálnunk (2. ábra jobbra lent).

2. Középszinten a játék már a hadronok neveinek a megtanulását is szolgálhatja. A játékosok a [16] könyvben közölt táblázatokat használhatják fel ebből a célból. Ebben a változatban a játékosok az óramutató járásával megegyező irányban követik egymást, minden soron következő játékosnak egy hadron megalakítására van lehetősége, de ezt csak akkor tarthatja meg, ha meg tudja mondani a kirakott hadron nevét, különben a lapokat vissza kell tennie, és kimarad. Ezen a szinten a játéknak nem a győzelem, hanem a hadronok nevének megtanulása a fő célja, azonban megegyezés szerint győztest is lehet avatni: az nyer, aki a legtöbb leptonos és quarkos kártyalapot gyűjti össze szabályosan.

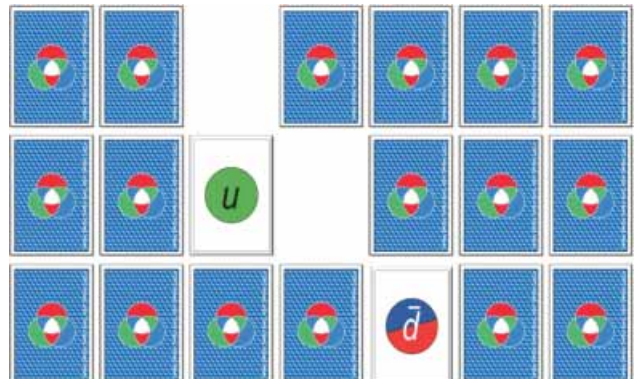
3. Haladó szinten a játékosok már ismerik a hadronok neveit. Ebben az esetben nem szükséges az egymás közti sorrend, bármelyik játékos bármikor kiszedhet a kupacból egy leptonpárt, majd ha a leptonok mind elfogytak, egy-egy hadront, olyan sebesen, ahogyan csak bír. A leptonpárokat és a kigyűjtött hadronokat minden egyes játékos maga elé rakja, lapokkal felfelé, jól elkülönítve egymástól a különböző kombinációkat. Ha középről az összes kártyalap elfogy, akkor a játékosoknak be kell mutatniuk és meg kell nevezniük leptonpárjaikat és a hadronjaikat. A helyesen megnevezett kombinációkért annyi pontot kapnak, ahány lapból áll: egy leptonpárért két, egy mezonért is két, míg egy barionért vagy antibarionért 3-3 pont jár. Megegyezés szerint rabolni is lehet, tehát ha az egyik játékos nem tudja helyesen megnevezni a saját lapkombinációját, az viheti el az érte járó pontot, aki azt először nevezi meg. A végén a legtöbb pontot összegyűjtő játékos nyer.

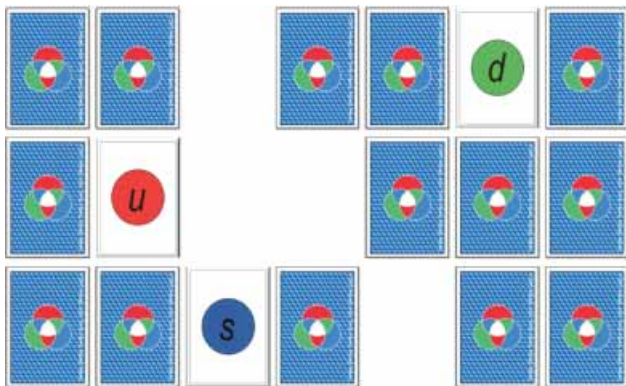


4. ábra. Két lap megfordítása után talált érvényes leptonpár a quarkanyag memória játékban.

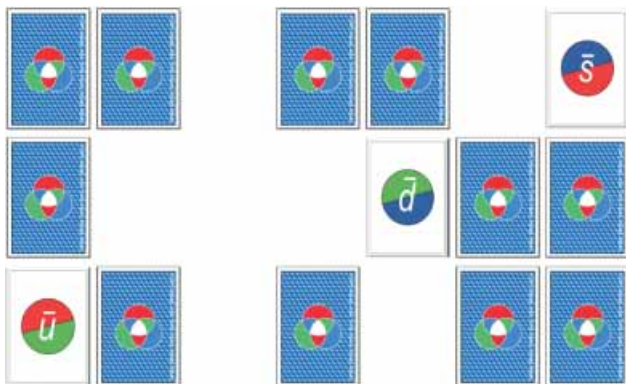
4. Memóriajáték, teljesen kezdők számára: ebben a változatban a játék kezdetén valamennyi kártyalapot lefelé fordítva helyezik az asztalra. Megegyezés szerint ez történhet a nehézion-ütközések által motivált nagy kupacban, de szabályosan is kirakhatják a lapokat, például egy 11×6 -os táblázat formájában is, ahogyan ezt a memoriterjátékokban szokás (3. ábra). A játékosok az óramutató járasa szerint, sorban próbálkozhatnak. A soron következő játékos két kártyalapot megfordíthat, úgy, hogy minden játékos láthassa, azok milyen részecskéket jelképeznek. A szokásos memóriajátékban akkor tarthatja meg ezeket a lapokat, ha mind a két lap egyforma. A Kvaranyag Memória játékban azonban akkor tarthatók meg a lapok, ha azok érvényes leptonpárt, vagy érvényes hadront alkotnak. Az érvényes leptonpárokat két fekete-fehér kártyalap alkotja, amelyek neutrínó-antineutrínó, elektron-pozitron, vagy müon-antimüon párt jelképeznek (4. ábra). Az érvényes hadronok színes lapokból alkothatók, vagy két lapból álló mezonok, vagy három lapból álló (anti)barionok. Az érvényes mezonok színes quark-antikvark párok, amelyek színsemlegesek: mind a három szín megjelenik bennük (5. ábra) (az antikvarkokhoz két szín is tartozik egy-szerre). Az érvényes hármasok vagy barionok, vagy antibarionok. A barionokat háromquarkos kártyalap jelképezi, amelyek közül az egyik piros, a másik kék, a harmadik pedig zöld színű (6. ábra). Az antibarionok is érvényes laphármasok, van bennük egy piros/

5. ábra. Az előző lépésben talált leptonpár kivétele után egy érvényes mezont talált a játékos.





6. ábra. Az előző lépésben kivett mezon után egy bariontalalat, ami szintén kivehető.



7. ábra. A 6. ábra barionjának kivétele utáni, érvényes antibariontalalat.

zöld, egy zöld/kék és egy kék/piros antikvar (7. ábra). Mivel lappárok vagy laphármasok is lehetnek érvényes kombinációk, az első két kártyalap felfordítása után három eset lehet:

a) ez érvényes leptonpár vagy mezon, ekkor a két lap kivehető, begyűjthető;

1. táblázat	
Néhány lehetséges Higgs-bozon bomlás, ahogyan azt megvalósíthatjuk a Keressünk Higgs Bozont – Játékosan című kártyajátékban	
Higgs-bozon (H^0) lehetséges bomlása	Végállapotú részecske/kártya bomlása
$H^0 \rightarrow \gamma, \gamma$ vagy $Z^0 Z^0$	$\rightarrow e^+ e^- e^+ e^-$
	$\rightarrow e^+ e^- \mu^+ \mu^-$
	$\rightarrow \mu^+ \mu^- \mu^+ \mu^-$
$H^0 \rightarrow W^+ W^-$	$\rightarrow e^+ \nu_e e^- \bar{\nu}_e$
	$\rightarrow e^+ \nu_e \mu^- \bar{\nu}_\mu$
	$\rightarrow \mu^+ \nu_\mu e^- \bar{\nu}_e$
	$\rightarrow \mu^+ \nu_\mu \mu^- \bar{\nu}_\mu$

Két olyan fekete-fehér (lepton) kártya felfordítása után, amelyek a táblázat jobb oldali oszlopában álló bármelyik leptonnégyessé, azaz lehetséges Higgs-bomlás végeredményéé egészíthető ki további két fekete-fehér kártyalap megtalálásával, a játékos „Higgs-bozont észlelhet”, és megnyerheti a játékot, ha valóban sikerül kiválasztania négy olyan lapot, amely megfelel a táblázat valamelyik sorának.

b) ez két különböző színű kvark vagy két különböző színű antikvar, ekkor egy harmadik lapot is megnevezhet a játékos, és ha érvényes barion vagy antibarion kombinációt talál, akkor mindhárom lap kivehető, a játékos által összegyűjtendő;

c) nem lehet a lapokból leptonpárt, mezon, bariont vagy antibariont alkotni, ekkor a lapokat újra lefordítva vissza kell helyezni.

Fontos szabály, hogy sikeres lapgyűjtés után a játékos újra próbálkozhat, mindaddig folytathatja a párok vagy kártyahármasok gyűjtését, amíg nem hibázik, vagy amíg a lapok el nem fogynak. Érvénytelen kombináció megnézése után a lapokat lefordítva vissza kell tenni a helyükre, és a következő játékos próbálkozhat. A játék végére minden lap elfogy, az nyer, aki a játék végére a legtöbb kártyát gyűjtötte össze.

Három további, az *ANTI!*, a *Kozmikus Záporok* és a *Detektáljunk!* című játék leírását, a kifejlesztés rövid történetét, valamint a részecskés kártyajátékhoz tartozó kártyacsomagot a [16] hivatkozásban megjelölt, magánkiadásban megjelentetett könyvszett tartalmazza.

Hogyan keressünk Higgs-bozont részecskés kártyajátékkal?

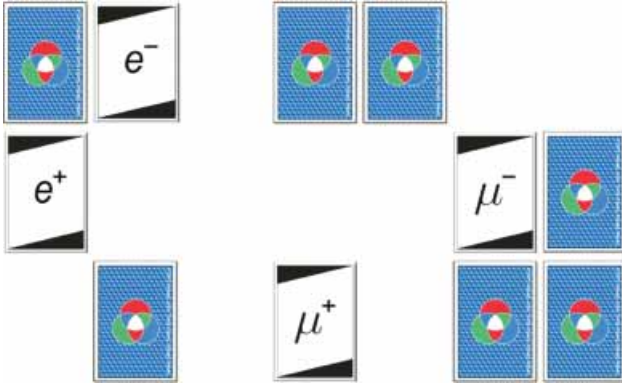
A 2012-es év egyik vezető híre a fizika területén a CERN LHC ATLAS és CMS kísérleteinek 2012 augusztusában megjelent cikkeivel kapcsolatos: a két kísérlet egymással összhangban egy új részecske megfigyelését jelentette be az LHC p+p ütközéseiben [18, 19]. Az új részecske tömegét mindkét kísérlet közel 125 GeV-nek találta, és mindkét kísérlet megállapította, hogy a felfedezett új részecske semleges elektromos töltésű bozon, azonban további tulajdonságait még alaposan meg kell vizsgálni, hogy eldönthessük, ez a részecske azonos-e a részecskéfizika Standard Modelljének utolsó hiányzó részecskéjével, a Higgs-bozonnal. Az új részecskét közvetetten, bomlásain keresztül észlelték. Ezt a tulajdonságát fogjuk felhasználni, játékosan, a talált új részecske tulajdonságainak megismerésére. Az ATLAS és a CMS kísérlet is ilyen közvetett úton, a következő folyamatokat elemezve jutott el egy Higgs-szerű új részecske felfedezéséhez. Pozitív eredményt a következő három bomlási módusban találtak:

$$H^0 \rightarrow \gamma\gamma$$

$$H^0 \rightarrow Z^0 Z^0 \rightarrow l^+ l^- l^+ l^-$$

$$H^0 \rightarrow W^+ W^- \rightarrow l^+ \nu l^- \bar{\nu}$$

Ebben a jelölésben H^0 a Higgs-bozont, gamma a fény részecskéit, a fotonokat jelöli, Z^0 a semleges gyenge áramot közvetítő bozont, W^+ és W^- a pozitívan, illetve negatívan töltött gyenge áramokat közvetítő bozont jelöli. A töltött leptonokat összefoglalva jelöltük $l^+ = e^+$ (pozitron) vagy μ^+ (pozitív müon), $l^- = e^-$ (elektron) vagy μ^- (müon), és a leptonoknak megfelelő neutrínók.

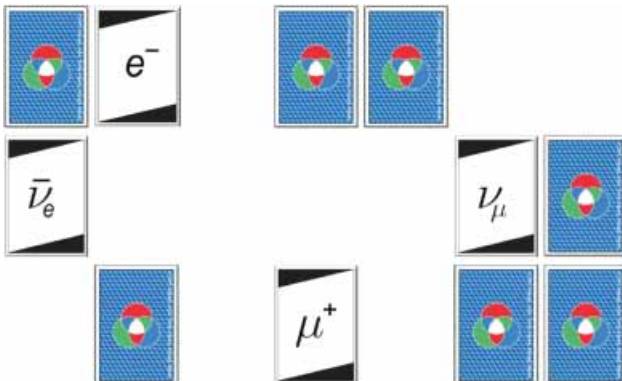


8. ábra. A 6. ábra barionjának és a 7. ábra antibarionjának kivétele után a játékos leptonpárra talál, például e^+e^- , és úgy dönt, kockázatot: felfordít még két lapot. Ha ezeken egy másik leptonpár (például az ábrán mutatott $\mu^+\mu^-$ pár) látható, akkor a játékos Higgs-bozont találva megnyerte a partit. Ez a folyamat a $H^0 \rightarrow \gamma\gamma$ és a $H^0 \rightarrow Z^0Z^0$ bomlások végeredményét is jelképezheti.

A *Kvarkanyag Memória* játékot egy új, 2012 végén nyilvánosságra hozott, Higgs-bozon kereső formában is játszhatjuk [20]. Ha az első felfordított két lap kiegészíthető egy fenti, a Higgsre utaló bomlási láncná, a játékos dönthet, felfordít-e még további két lapot. Ezzel kockázatot vállal a játékos, siker esetén viszont megnyerheti a játékot. Ha az első két lapja lepton, és az Higgsre utaló bomlássá egészíthető ki, akkor erre kísérletet tehet a játékos két további lap felfordításával, és ha sikerül kiraknia egy ilyen bomlást, akkor ő nyert, a parti pedig véget ért. Ha nem sikerült kiraknia egy ilyen bomlást, akkor pedig vissza kell helyeznie mind a négy lapot, és a következő játékos próbálkozhat. Lehet, hogy a parti a Higgs-bozon megtalálása nélkül ér véget oly módon, hogy elfogynak a lapok. Ekkor az nyer, aki a *Kvarkanyag Memória* játék szabályai szerint a legtöbb lapot gyűjtötte össze.

A lehetséges nyerő, Higgs-szerű bomlásokat jelképező helyzeteket a 8. és a 9. ábra, valamint az 1. táblázat foglalja össze.

9. ábra. A 6. ábra barionjának és a 7. ábra antibarionjának kivétele után a játékos olyan kártyapárt emel ki, amellyel a Higgs-bozon bomlása két töltött leptonra és a hozzájuk tartozó neutrínópárra egészíthető ki, az 1. táblázat negyedik, ötödik, hatodik vagy hetedik sorának megfelelően. Ha a játékos mind a négy lapot helyesen fordítja fel, akkor talált egy Higgs-bozont és ezzel megnyerte a játékot.



Érdemes megjegyezni, hogy ez a Higgs-bozon kereső játék továbbfejleszhető a hadronok megnevezésével, illetve a rablás lehetőségével a *Kvarkanyag játék*hoz hasonlóan. Van azonban még egy további lehetőség is, aminek fizikai alapja van. Nevezetesen nem minden 4-leptonos bomlás felel meg Higgs-bozonnak, vannak hasonló, úgynevezett háttér folyamatok is, amelyek ugyanarra a leptonnégyesre vezetnek, de nem a Higgs-bozon megjelenése miatt. Ezért egy Higgs-részecskére utaló bomlás azonosítása esetén a játékosok még kockát is vethetnek: megegyezés szerint akkor ér véget a játék, ha a Higgs-jelölt négy kártyalap kiválasztása után a játékos még kockával is 6-ost dobott. Ez az 1/6-os valószínűség közelítőleg modellezi a kísérletekben az új részecske kétfotonos bomlási csatornájában a mért jel és a háttérbeli, nem kívánt folyamatok arányát.

Kitekintés

Ebben a rövid terjedelmű cikkben természetesen nem lehet ismertetni valamennyi, már kitalált és ki is próbált játékot, amelyeket a *Részecskés Kártyajáték* című könyvünkben leírt (és ahhoz mellékel) kártyapaklival értelemszerűen és szórakoztató módon játszani lehet. Ilyen játékok például a részecskés póker [21]. Számos további részecskés kártyajáték, például a részecskés snapszer és a részecskés mahjongg áll kifejlesztés és kipróbálás alatt. Az elemirészecske-folyamatokban és elnevezésekben járatanok előkészítésére a *Természet Világa* idei márciusi számában *Lang Ágota* írása jelent segítséget [22].

Köszönetnyilvánítás

A köszönetnyilvánítás hagyományosan a cikkek záró része. Ebben az esetben viszont a cikk második fejezetében, kutatásaink nemzetközi és hazai hatását elemelve és részletesen kifejtve található.

Irodalom

- Csörgő J., Török Cs., Csörgő T.: *Részecskés Kártyajáték: Elemi Részecskék – Játékosan*. 2. kiadás (2011) ISBN 987-963-89242-0-9
- J. Csörgő, Cs. Török, T. Csörgő: *Memory of Quark Matter Card Game*. Játékleírás a BNL Guests, Users and Visitors Center és a 2011-es AGS and RHIC Users Meeting (BNL, USA) résztvevőinek.
- ATLAS Collaboration: Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at LHC. *Physics Letters B* 716 (2012) 1–29.
- CMS Collaboration: Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at LHC. *Physics Letters B* 716 (2012) 30–61.
- Csörgő T.: *Hogyan csináljunk kártyajátékból Higgs-bozont?* Előadás a 2012-es Zimányi Nehézionfizikai Téli Iskolán, *Természet Világa* Mikrovilág II. különszám, megjelenés alatt: <https://indico.cern.ch/materialDisplay.py?contribId=63&sessionId=7&materialId=paper&confId=218974>
- L. Csernai, T. Csörgő: *Elementary particles: Quark Matter Cards*. Előadás az Academia Europaea Fizikai és Mérnöki Szekciójának 2012. szeptemberi ülésén, Bergen, Norvégia, <http://academiaeuropaea.ift.uib.no/project/Wt-Csorgo-Elementary-particles.pptx>. Magyar nyelvű írásoz változata várhatóan a *Fizikai Szemle*ben jelenik meg *Póker Elemi Részecskékkel* címen.
- Lang Á.: Szeretne-e Isten részecskékkel kártyázni? *Természet Világa* 144 (2013) 121–124.

PROBLÉMAMEGOLDÁS A BOLTZMANN-ELOSZLÁS TÉMAKÖRÉBEN

Nagy Mária, Radnóti Katalin
ELTE TTK Fizikai Intézet

A statisztikus fizika témakörének feldolgozása kikerült a középiskolai tananyagból, pedig szemléletesen, analógiákkal tárgyalva sok diák fantáziáját megmozgathatná. A téma feldolgozása azért is ajánlható, mert kapcsolatot teremt a fizika és a kémia világa között. Jelen írásunkban arra teszünk javaslatot, hogy bizonyos elemek miként kerülhetnek sorra a statisztikus fizika témaköréből például a fakultációs órákon, tehetséggondozás keretében. A tanulók ekkorra már a középiskolai fizika és kémiai kötelező tanulmányaik végére értek. A feldolgozásra ajánlott témakörök a különböző tantárgyakban megtanult ismeretek szintetizálásában is segítik a tanulókat.

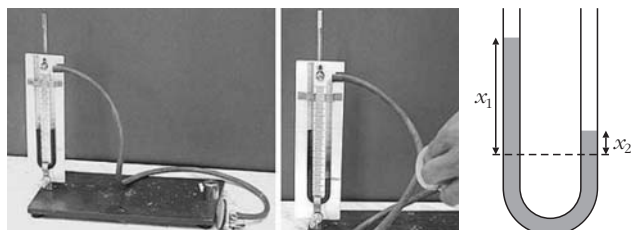
Tanulmányunkban bemutatunk egy változatot arra, hogy a Boltzmann-eloszlás témakörébe tartozó problémák tanulmányozása miként lehetséges középiskolások számára megfelelő mélységben, amelyet iskolai környezetben ténylegesen ki is próbáltunk.

A fizikát emelt szinten tanuló, illetve reáltagozatos tanulók esetében a fizikai fogalmak kialakításánál használhatunk a tanterven kívül eső matematikát (esetünkben az exponenciális függvények ismeretét), így segítve a mélyebb megértést. A számolással kapcsolatos tevékenység a reál beállítottságú diákokat olyan világba engedi be, ahol hamarosan otthonosan mozognak. E módszer fontos eredménye, hogy így megadhatjuk diákjainknak a kellő alapozást az eredményes egyetemi szerepeléshez. Javasolt témánk feldolgozásán keresztül a diákok tanulási folyamatát elősegítve igyekszünk áthidalni a középiskola és az egyetem közti nagy szintkülönbséget, hogy az egyetemre bekerülve minél kevesebb problémájuk legyen.

Jelen feldolgozási javaslatunkban azt tartjuk a legfontosabbnak, hogy példákat mutassunk a mérési eredmények kiértékelési lehetőségeire. Írásunkban a következő témákat érintjük, amelyek differenciált csoportmunkában dolgozhatók fel:

- Mérések a légnyomás változására a magasság függvényében
- A reakciósebesség hőmérsékletfüggésének vizsgálata
- Víz gőznyomásának változása a hőmérséklet függvényében

1. ábra. Az U alakú folyadékmanométer-cső (balra és középen), valamint a két folyadékoszlop magasságának különbsége (jobbra).



A légnyomás változása a magasság függvényében

A mérés célja, hogy megvizsgáljuk miként változik a légnyomás a h magasság függvényében, és méréssel alátámasztjuk a barometrikus magasságformulára a szakirodalomból ismert exponenciális alakú összefüggést:

$$p(h) = p_0 e^{-\frac{\rho_0}{p_0} g h},$$

ahol p_0 a légnyomás, ρ_0 a levegő sűrűsége a választott nulla szinten.

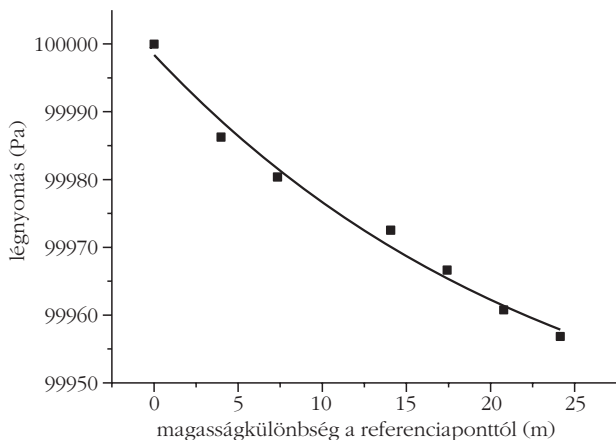
Eszközök: a légnyomás magasságtól való függésének mérése magasabb házban (esetünkben az ELTE TTK épületében) könnyen megvalósítható egy *manométer* (1. ábra bal oldala) és egy *hosszúságmérő eszköz* (például vonalzó) segítségével.

Mi is gyárthatunk nyomásmérőt, ha boltokban megvásárolható termoszpallackot kétfuratos gumidugóval látunk el, és a két furat egyikébe U alakú folyadékmanométer-csövet, a másikba szelepet teszünk. A manométercsőbe (színezett) vizet töltünk. Ez fogja jelölni a nyomást úgy, hogy egyik vége a palack légtérébe nyílik, a másik a levegőbe. Amikor a szelep nyitott állapotban van, a két vízoszlop magassága meg egyezik az U alakú cső két szárában. Amikor a szelep zárt, a termoszban uralkodó és a külső légnyomás különbsége a manométerrel mérhető.

A mérés menete: ki kell választani egy *referenciaszintet* – erre az épület legalacsonyabb pontja ajánlott –, ahol eszközünkben a 2 vízoszlop egyenlő magasságánál a szelepet elzárjuk. Majd menjünk fel az épület

szint	Δb (m)	Δx (m)	$\Delta p = \Delta x \rho_{\text{viz}} g$ (Pa)	$p = 10^5 - \Delta p$ (Pa)
alagsor	0	0	0	100000,00
1. emelet	3,98	0,0014	13,734	99986,26
2. emelet	7,34	0,0020	19,62	99980,38
3. emelet	10,70	0,0024	23,544	99976,46
4. emelet	14,06	0,0028	27,468	99972,53
5. emelet	17,42	0,0034	33,354	99966,65
6. emelet	20,78	0,0040	39,24	99960,76
7. emelet	24,14	0,0044	43,164	99956,84

A 3. emeleti mérés kiugró eredményét a kiértékelésnél nem vettük figyelembe.



2. ábra. A légnymás változása az ELTE TTK épületében, illetve a mérési pontokra illesztett exponenciális görbe.

legmagasabb szintjéig! Ekkor a *folyadékszintek változni fognak*. Minden szinten jelöljük vagy írjuk fel a 2 folyadékoszlop magasságának $\Delta x = x_1 - x_2$ különbségét (1. ábra jobb oldala)!

Határozzuk meg az egyes emeletek referenciaszinttől mért Δh magasságát (például egy lépcső magasságát megmérjük, és a lépcsőket számoljuk)!

Kiértékelés, görbeillesztés: mért adatainkat vezessük táblázatba, ahol az emeletek függvényében szerepelnek a folyadékszint-különbségek, a referenciaszinttől mért távolság és a nyomáskülönbség. Az ELTE TTK-n mért adatok az 1. táblázatban láthatók, a 3. emeleti kiugró értéket a továbbiakban nem vesszük figyelembe. A kapott nyomásadatokra exponenciális görbét – például Origin programmal – illetve a 2. ábrán látható görbét kapjuk.

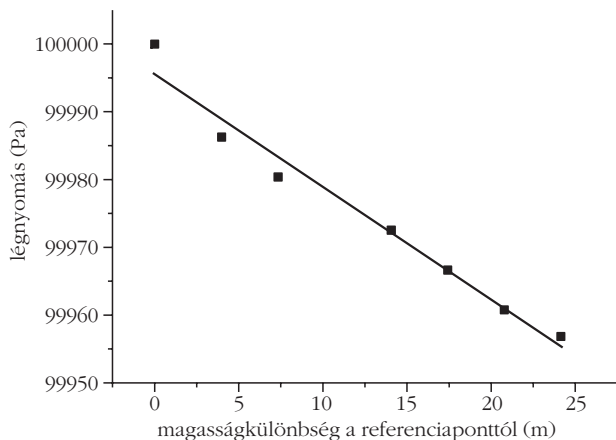
Az exponenciális magasságformula kis magasságkülönbségek esetén lineáris összefüggéssel is jól közelíthető. Illesszünk a pontokra egyenest is (3. ábra)! Valóban, az egyenes szépen illeszkedik a mérési pontokra, meredeksége pedig a magasságformulában szereplő exponens értékére utal.

A *Fizikai Szemle* 2013. évi első számában *Gallai Ditta* írásában gimnáziumi tanulók a János-hegyen végeztek hasonló mérésorozatot. Abban az esetben is közel lineáris függvény adódott a nyomásértékek magasságfüggésére, hiszen hasonlóan kicsik voltak a magasságkülönbségek.

A reakciósebesség hőmérsékletfüggésének vizsgálata

A *mérés célja*, hogy megvizsgáljuk a reakciósebességi állandó értékének függését a hőmérséklet nagyságától, illetve alátámaszunk az Arrhenius-összefüggésként ismert exponenciális kapcsolatot. A kiértékelés részeként számítsuk ki a kémiai reakció aktiválási energiáját!

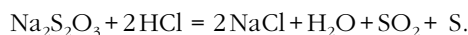
Felhasznált *eszközök*: $7 \times 2 = 14$ db kémcső, kémcsőállvány, mérőhenger, cseppentő, $7 \times 3 \text{ cm}^3$ reagens sósavoldat (HCl vizes oldata), $7 \times 5 \text{ cm}^3$ 0,1 M-os fixíróoldat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ vizes oldata), desztillált víz, digitális



3. ábra. Ugyanaz, mint a 2. ábrán, de a mérési pontokra egyenest illesztve.

hőmérő, Teklin-égő, kémcsőfogó, főzőpohár, jég és videókamera a kísérlet archiválásához.

A *mérés menete*: Végezzük el a következő kísérletet! Öntsünk össze szobahőmérsékletű vízfürdőben ($T_1 = 285,45 \text{ K}$) fixíró vizes oldatát (nátrium-tioszulfát vizes oldata) sósavoldattal (hidrogén-klorid vizes oldata), és írjuk fel a reakció végbemeneteléhez szükséges időt! A reakcióegyenlet:



A reakció során csapadék képződik: kén válik ki, az oldat *megsárgul* (4. ábra). A mérés során azt az időkülönbséget jegyezzük fel, ami az oldatok összeöntése és az opálosodás között telik el!

Ismételjük meg a kísérletet magasabb, $T_2 = 330,35 \text{ K}$ hőmérsékletű vízfürdőben, és ekkor is írjuk fel a reakció idejét!

Végezzük el a fenti méréseket különböző hőmérsékleteken (jeges, illetve melegített vízfürdőben elérhető hőmérsékleteken), közben ügyeljünk arra, hogy mindig ugyanolyan mennyiségű oldatokat öntsünk össze. E miatt használunk kétszer 7 darab kémcsövet, így tudjuk előkészíteni a kiindulási anyagmennyiségében végig állandó elegyet. A reakció végeredménye minden mérésnél ugyanaz, ezért a kén végső koncentrációja, azaz a koncentrációváltozás is állandó

4. ábra. A kémcsövekben kiválik a kén.



2. táblázat

A reakciósebesség hőmérsékletfüggésének vizsgálatához mért T abszolút hőmérsékletek, t reakcióidők és a belőlük számolt kifejezések

mérés	$T(K)$	$1/T(1/K)$	$t(s)$	$\ln(1/t)$
1.	278,65	0,003598	110	-4,70048
2.	280,35	0,003567	85	-4,44265
3.	285,45	0,003503	60	-4,09434
4.	292,85	0,003415	32	-3,46574
5.	309,95	0,003226	13	-2,56495
6.	322,05	0,003105	7	-1,94591
7.	330,35	0,003027	5	-1,60944

lesz. Most is jegyezzük fel a hőmérsékletekhez tartozó reakcióidőket! Referenciamérésként valamelyik hőmérsékleten mérjünk többször!¹

Megfigyelhetjük, hogy magasabb hőmérsékleten sokkal gyorsabb a reakció, oldatunk sokkal hamarabb besárgul.

Elméleti magyarázat: Ismert, hogy az aktiválási energia elérése szükséges a kémiai reakciók végbemeneteléséhez, azaz a molekulaszervezet megbolygatásához ezt az értéket elérő, elegendően nagy energiával kell ütközniük a molekuláknak.

Az aktiválási energia elérésére magasabb hőmérsékleten lényegesen több részecske képes, így a hőmérséklet emelkedésével erőteljesen megnő a reakció sebessége.

A k reakciósebességet, a T abszolút hőmérséklet és az egy részecskére jutó E_a aktiválási energia függvényében az Arrhenius-egyenlet adja meg:

$$k = A e^{-\frac{E_a}{k_B T}},$$

ahol $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K, a Boltzmann-állandó, A a koncentrációra jellemző állandó. Ez az Arrhenius-egyenlet fizikai értelemben vett (egy részecskére jutó) energiát tartalmazó alakja.

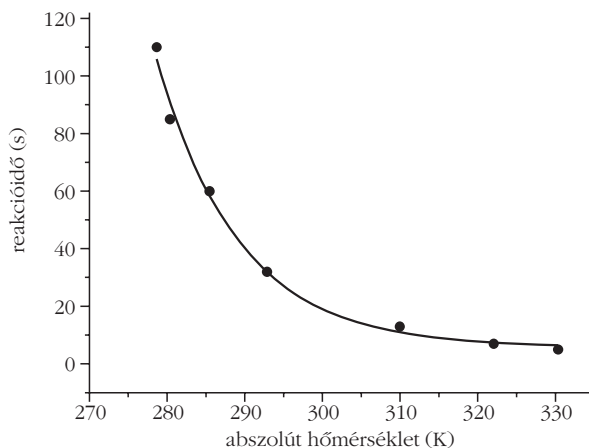
Az Arrhenius-egyenlet moláris aktiválási energiát tartalmazó – kémikusok által használt – formája pedig:

$$k = A e^{-\frac{E_a m}{RT}},$$

ahol $R = 8,314$ J/molK, az egyetemes gázállandó, m az Avogadro-szám, $E_a m$ pedig az egy mólnyi mennyiségre vonatkoztatott aktiválási energia.

Kiértékelés, görbeillesztés: Mért adatainkat vezessük táblázatba, ahol szerepelnek a mért abszolút hőmérsékletek (T) és reciproka ($1/T$), reakcióidők (t) és a reakcióidők másodpercben kifejezett számértéke reciprokának természetes alapú logaritmus ($\ln(1/t)$)! E két, reciprokot tartalmazó kifejezés értelmére majd az Arrhenius-egyenlet linearizálásakor derül fény.

¹ A mérések elvégzésében nyújtott segítségért köszönetet mondunk Róka András főiskolai docensnek.



5. ábra. A reakcióidő az abszolút hőmérséklet függvényében, valamint a mérési pontokra illesztett exponenciális görbe.

A T abszolút hőmérséklet – t reakcióidő adatpárokat (2. táblázat) ábrázoljuk Descartes-koordináta-rendszerben (5. ábra)! Látható, hogy a pontokra közelítően egy exponenciális függvény illeszthető. Tegyük meg ezt az illesztést például Origin programmal!

Ahhoz, hogy az Arrhenius-egyenletből aktiválási energiát is számíthassunk, egyenesre – mint legkönnyebben illeszthető függvényre – van szükségünk, a kérdéses energia az egyenes meredekségéből számítható. Az Arrhenius-egyenlet mindkét oldalának vegyük a logaritmusát, ekkor a fizikusok által kedvelt egyrészecskés egyenletből a

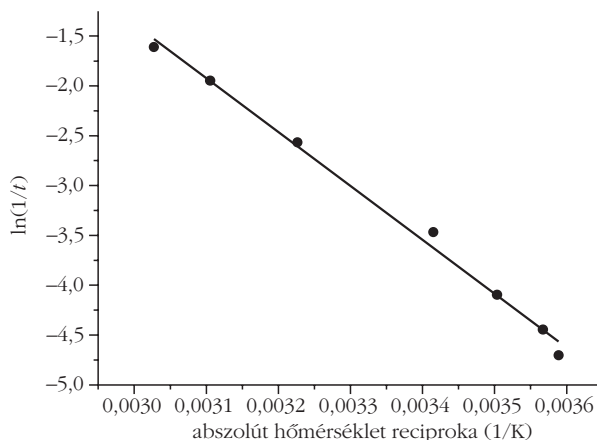
$$\ln k = \ln A + \left(-\frac{E_a}{k_B} \right) \frac{1}{T}$$

$\ln k$ és $1/T$ közötti lineáris kifejezésre, míg a moláris aktiválási energiát tartalmazó – vegyészek által használt – egyenletből a

$$\ln k = \ln A + \left(-\frac{E_a m}{R} \right) \frac{1}{T}$$

szintén lineáris összefüggésre jutunk. Mivel k a reakciósebesség, azaz arányos $1/t$ -vel, ezért a reakcióidő

6. ábra. A reakcióidő másodpercben kifejezett számértéke reciprokának természetes alapú logaritmus ($\ln(1/t)$) az abszolút hőmérséklet ($1/T$) függvényében és a pontokra illesztett egyenes.



másodpercben kifejezett számértéke reciprokának természetes alapú logaritmus (ln(1/t)) és 1/T között is lineáris lesz a kapcsolat. Ezt ábrázoltuk a 6. ábrán.

Megjegyzés: Magát a k -t csak kémiai számítások árán kapnánk meg, ami nem anyaga egy fizika fakultációnak, de minket csak a reakciósebességi állandó hőmérséklettel való kapcsolata érdekel, így – egy egyszerűbb kémiai összefüggés és matematikai eszköz segítségével – elkerülhetjük a kémia tananyag mélyebb felhasználását.

A kapott egyenes – Origin program kiértékelése szerinti – $b = -5405 \pm 182$ meredekségéből az egyetlen részecske aktiválási energiája, felhasználva a $b = -E_a/k_B$ összefüggést:

$$E_a = -bk_B = 5405 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} = 7,46 \cdot 10^{-20} \text{ J.}$$

A moláris aktiválási energia pedig:

$$E_a m = -bR = 5405 \cdot 8,314 = 44943 \text{ J/mol} \approx 45 \text{ kJ/mol.}$$

Diszkusszió: Az 5. ábrán látható grafikon, valamint a linearizált 6. ábra alátámasztja, hogy a reakciósebességi együttható értéke az abszolút hőmérséklet szerint exponenciális függést mutat. Ezzel a megállapítással és az aktiválási energia értékének megadásával numerikusan ismerkedtünk meg az Arrhenius-egyenlettel.

A tényleges kémiai számításokat elvégezve, azaz a koncentrációval és egyéb kémiai mennyiségekkel számolva az egyenes meredekségére -5407 -et kapunk. Tehát jól számoltunk a mélyebb kémiai ismeretek kikerülésével is. Mindkét meredekség számításakor éltünk azzal a feltétellel, hogy az elvégzett kísérlet nem egy pontos reakciókinetikai mérés, mivel csak vizuálisan észlelhető ponthoz tartozó időt tudjuk mérni, amelynek a következő hibái vannak:

- az opálosodáskor nem ismerjük a valódi tioszulfát-koncentrációt,
- a kén a különböző hőmérsékleteken másképp oldódik, így a detektálásban adódik hiba,
- az opálosodás nem jól definiált időpont.

Továbbá meg kell jegyezni:

- az oldatok és a környezet termikus egyensúlya sincs biztosítva,

- az időmérésnek is van pontatlansága,
- az oldatok keveredése inkoherens.

Ezekkel a hibákkal viszont nincs probléma, hiszen a demonstrációs kísérletnek nem kell kinetikai vizsgálat szempontjából korrektnek lennie.

Ez a módszer az aktiválási energia számítására csak akkor alkalmas, ha a *reakció egyszerű és termikus aktiválású*.

Víz gőznyomásának változása a hőmérséklet függvényében

A víz gőznyomása függ a hőmérséklettől, a gőznyomás változása a hőmérséklet függvényében szintén exponenciális, Boltzmann-eloszlást követ.

Az eddigi példákhoz hasonlóan most ezt az állítást fogjuk alátámasztani mérési eredmények kiértékelésével. Továbbá becslést adunk a víz párolgáshőjére az Arrhenius-egyenletnél számolt aktiválási energiához analóg módon.

A következőkben az interneten található mérési adatokat fogunk elemezni. Ez több szempontból fontos és előnyös. Egyrészt a tanulók élvezik, ha a világhálóhoz kapcsolódik a tanulás folyamata. Másrészt egyetemi tanulmányaik során gyakorta kényszerülnek hasonló eljárásra. Előnyös, ha már középiskolában lehetőségük van megtanulni és megszokni a procedúrát.

Az adattáblázat internetes elérhetősége: [http://hu.wikipedia.org/wiki/Víz_\(adattáblázat\)](http://hu.wikipedia.org/wiki/Víz_(adattáblázat))

A víz tenzióját folyékony víz felett elemezzük. Az elektronikus táblázatban szereplő összetartozó abszolút hőmérséklet-nyomás (T - p) adatpárokat ábrázolhatjuk (7. ábra). Illesszünk exponenciális görbét – például Origin programmal –, mert az a függvény láthatóan jól közelíti a pontpárokat!

Az Arrhenius-egyenlethez hasonlóan:

$$p = A e^{-\frac{L_f}{k_B T}},$$

csak most a p gőznyomás szerepel a reakciósebesség és L_f forráshő az aktiválási energia helyett. Hasonló a moláris mennyiségre vonatkozó egyenlet is:

$$p = A e^{-\frac{L_f m}{RT}}.$$

Most is linearizáljuk a görbét, mint az előző fejezetben:

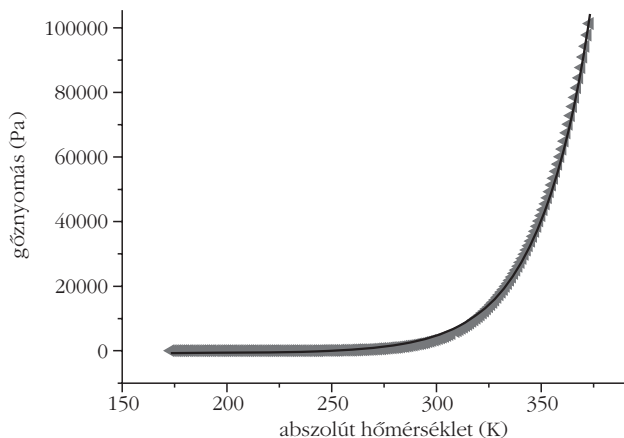
$$\ln p = \ln A + \left(-\frac{L_f}{k_B} \right) \frac{1}{T},$$

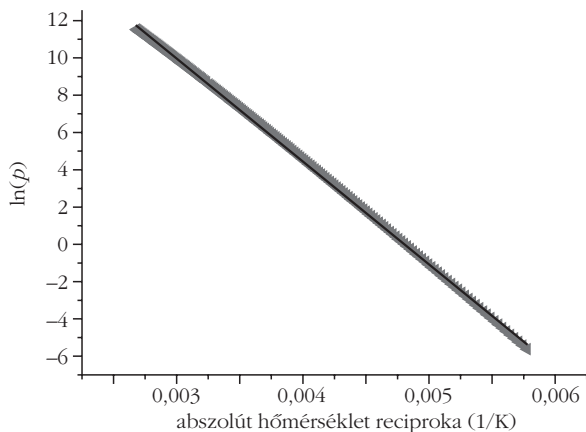
illetve

$$\ln p = \ln A + \left(-\frac{L_f m}{R} \right) \frac{1}{T}.$$

Ábrázoljuk a gőznyomás pascalban kifejezett számértékének természetes alapú logaritmusát az abszolút hőmérséklet reciprokának függvényében, majd a pontokra illesszünk egyenest (8. ábra)!

7. ábra. A víz gőznyomásának függése az abszolút hőmérséklettől.





8. ábra. A gőznyomás logaritmus az abszolút hőmérséklet reciproka függvényében.

Az egyenes b meredeksége az Origin programmal való illesztés szerint: $-5520 \pm 8,5$. E meredekségből az Arrhenius-egyenlethez hasonlóan kiszámítható egy molekula „párolgáshője”:

$$L_f = -bk_B = 5520 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \approx 7,62 \cdot 10^{-20} \text{ J},$$

illetve a moláris párolgáshő:

$$L_fm = -bR = 5520 \cdot 8,314 = 45898 \text{ J/mol} \approx 46 \text{ kJ/mol}.$$

A táblázatokban szereplő vízre, amelynek minden kg-ja 55,5 mol, vonatkoztatott párolgáshő pedig:

$$55,5 \cdot 46 \approx 2550 \text{ kJ/kg}.$$

E két mennyiség irodalmi értéke: $L_fm = 40,8 \text{ kJ/mol}$, illetve $2256,4 \text{ kJ/kg}$.

Diskusszió: A 7. ábrán látható grafikon megfelel a víz gőznyomása korábban ismertetett exponenciális hőmérsékletfüggésének.

Továbbá sikeresen kiszámítottuk a víz párolgáshőjét (látens hő) az Arrhenius-egyenletnél számolt aktiválási energiával analóg módon. Az irodalmi értékektől való kis eltéréseket az okozza, hogy a párolgáshő valójában függ a hőmérséklettől, valamint az interneten található mérési eredményeknek van mérési hibája.

A fentiekhez hasonlóan még sok példa található a Boltzmann-eloszlással leírható jelenségekre.

Jelen írásunkban a Boltzmann-eloszlásra vonatkozó problémamegoldásokat mutattuk be. Kísérleti eredmények kiértékelésére, megvitatására és értelmezésére tettünk ajánlásokat, nem pedig hagyományos középiskolai fizika példatárakban szereplő feladatok megoldására. Az egyetemi laboratóriumi mérésekhez hasonlítható feladatokat állítottunk a tanulók elé.

Fakultációs órán történt tényleges kipróbálás tapasztalatai alapján kijelenthetjük, hogy a diákok képesek követni az újszerű feldolgozási módot, aktív részesei tudnak lenni az ilyen szemléletű tanóráknak.

A módszer segítségével a diákok bevezetést kapnak egy, a megszokott középiskolai szemlélettől eltérő fel fogás elsajátításához. A tárgyalt témakör kapcsán olyan ismeretekre tesznek szert, amit egyébként az egyetemen teljesen újként, önállóan kellene megszerezniük.

Munkánk fontos célja volt az is, hogy a középiskolai és az egyetemi szint közötti különbség áthidalására tegyünk kísérletet az ajánlott feldolgozási folyamat segítségével. Azt szeretnénk elérni, hogy az egyetemeken természettudományi karaira kerülő hallgatók fizika-, kémia-, környezettan- és földtudomány szakokon ne ütközzenek a szükséges szakmai alapok hiánya miatt tanulmányi problémákba. Úgy gondoljuk, hogy azok a tanulók, akik részesei voltak a cikkünkben leírt szemléletű oktatásnak, könnyebben sajátítják el olyan kurzusok tananyagát, amelyről valamilyen mélységben az egyetemi szemléletnek megfelelően már tanultak.

Ajánlott irodalom

- Gulyás J., Markovits T., Szalóki D., Varga A.: *Fizika – Modern fizika*. Calibra Kiadó, Budapest, 1996.
- Gallai D.: Fizika a János-hegyen. Vetélkedő gimnazistáknak. *Fizikai Szemle* 63/3 (2011) 26–31.
- Halász T., Jurisits J., Szűcs J.: *Fizika 10. osztályosoknak*. Mozaik Kiadó, Szeged, 2008.
- Halász T., Jurisits J., Szűcs J.: *Fizika 11–12. – Közép és emelt szintű érettségire készülőknak*. Mozaik Kiadó, Szeged, 2008.
- Juhász A.: *Fizikai kísérletek gyűjteménye I.* Arkhimédész Bt. – Typotex, Budapest, 2001.
- Radnóti K., Nahalka I., Wagner É., Poór I.: *A fizikatanítás pedagógiája*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2002.
- Nagy M.: *A fizikatanítás pedagógiája. Matematikai eszközök alkalmazása a fizika tanításában*. TDK-dolgozat, témavezető: Radnóti K., Budapest, 2012.
- Tóth E.: *Fizika IV.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1984.

XVI. ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ FIZIKAVERSENY

Beszámoló, I. rész

Radnóti Katalin
ELTE TTK Fizikai Intézet

A Szilárd Leó Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny először 1998-ban került megrendezésre Szilárd Leó centenáriuma alkalmából Marx György professzor úr kezdeményezésére. Azóta minden évben megszervezi a versenyt az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, az Energetikai Szakközépiskola és Kollégium, valamint a Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány. A verseny-

nek komoly hagyományai alakultak az elmúlt évek alatt. Az idén 236 fő I. kategóriás (11-12. évfolyam) és 70 fő II. kategóriás, (9-10. évfolyam és fiatalabb) tanuló jelentkezett a versenyre. Összesen 306 fő, közülük 37 lány. Ez körülbelül megfelel a korábbi évek jelentkezési adatainak. Tizennégy budapesti iskolából jelentkezett 101 tanuló, harminchárom vidéki iskolából

pedig 198 fő. Idén sajnos csak egyetlen erdélyi iskolából, a székelyudvarhelyi Benedek Elek Pedagógiai Líceumból érkezett hét fő a versenyre. Felvidékről és Kárpátaljáról idén sem kaptunk nevezést.

A verseny feladatsorait egy erre a célra felállított versenybizottság tűzi ki. Az elődöntőben a versenyzőknek 10 feladatot kell megoldaniuk, erre három óra áll rendelkezésükre. Mindegyik feladat helyes megoldása egységesen 5 pontot ér, így összesen 50 pontot lehet szerezni. A döntőben a hasonló írásbeli mellett még kísérleti és számítástechnikai fordulón is összemérik tudásukat a tanulók.

Az első fordulóra (elődöntőre) 2013. február 25-én került sor a versenyzők saját iskolájában. A dolgozatok javítását a felkészítő tanárok végezték, amelyhez a példakítűző versenybizottság részletes útmutatót állított össze. A javítás után a tanárok azon tanulók dolgozatait küldték be a BME Nukleáris Technika Tanszékére, akik a juniorok közül legalább 40%-os, a 11-12. osztályosok közül pedig 60%-os eredményt értek el. Közülük kerültek ki a döntőbe jutott versenyzők.

Az alábbiakban ismertetjük mind az elődöntő, mind pedig a döntő feladatait, valamint röviden a megoldásukat.

Az elődöntő (I. forduló) feladatai és megoldásuk

1. feladat

Tudománytörténeti kérdések. Minden jó válasz fél pontot ért.

Határozzuk meg melyik állítás igaz az alábbiak közül, és melyik hamis!

1. *Henri Becquerel* édesapja *Edmond Becquerel* is a lumineszcencia ismert specialistája volt.
2. A Becquerel által észlelt sugárzás intenzitása jelentősen változott, amikor a sót megolvastotta vagy átkristályosította.
3. A radioaktivitás elnevezés *Rutherford* nevéhez fűződik.
4. Alfa-bomlásnál a kilépő alfa-részecskék sebessége 1000-2000 km/s.
5. Nem létezik olyan sugárzó anyag, amelyik pozitront bocsát ki.
6. A béta-sugárzásnál az elektron mellett antineutrínó is kilép.
7. A Cserenkov-sugárzást okozó béta-sugarakat már 1 mm vastag Al-lemez is elnyeli.
8. A mesterséges radioaktivitás felfedezése *Marie Curie* nevéhez fűződik.
9. Van olyan – a technéciumnál kisebb rendszámú – kémiai elem is, amelynek szintén nincs stabil izotópja.
10. Becquerel soha nem ismerte el, hogy az urán alfa-sugárzást bocsát ki.

Megoldás

Az 1. állítás igaz, a 2., 3., 4., és 5. hamis. Majd a 6. igaz, a 7., 8. és 9. hamis, végül a 10. igaz.

2. feladat

Az egydimenziós potenciáldobozba zárt elektron (például hosszú láncmolekula π elektronrendszere) energiaszintjei a növekvő energiák felé ritkulnak. A hidrogénatomba zárt elektron energiaszintjei viszont egyre sűrűbben követik egymást. Mi a különbség oka?

Megoldás

A láncmolekulát egy egydimenziós, erőmentesnek tekinthető húrral modellezhetjük, ahol a gerjesztett állapotoknak az egyre több belső csomóponttal rendelkező állóhullámok felelnek meg. A húr kemény kovalens kötések tartják össze, ezért a húr hossza a gerjesztések során állandó marad. A húr mentén a potenciális energia sem függ a gerjesztéstől, így a gerjesztett állapotok energiáját egyedül azok hullámhossza szabja meg.

A H-atomot azonban a Coulomb-kölcsönhatás tartja össze, amely „puhább”; azaz a gerjesztett állapotok térfogata nem állandó, a Coulomb-kölcsönhatás egyre nagyobb méretre engedi ki az egyre magasabb energiával gerjesztett állapotokat. Sőt, a Coulomb-potenciál annál laposabb – és így annál „puhább” –, minél távolabb vagyunk az atommagtól. Ezért a magasabban gerjesztett állapotok energiája egyre közelebb kerül egymáshoz.

3. feladat

Egy laboratóriumban 10 liter 20 °C-os vízbe beleejtettek egy kis darab ^{218}Po izotópot, amely alfa-sugárzó (a kismértékű béta-sugárzástól eltekinthetünk). Megfigyelték, hogy negyed óra múlva a víz háromnegyed része elforrt. Mennyi volt a polónium tömege? A veszteségektől tekintsünk el.

Adatok: Felezési idő: 3 perc, egy alfa-részecske energiája = 6 MeV.

Megoldás

10 liter 20 °C-os víz háromnegyedének elforrálásához szükséges energia:

$$Q = 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 10 \text{ kg} \cdot 80 \text{ K} + 2256 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 7,5 \text{ kg} = 20\,280 \text{ kJ}.$$

(Vegyük észre, hogy a teljes 10 kg vízmennyiséget fel kell melegíteni 80 fokkal, viszont elforralni csak 7,5 kg vizet kell.)

Egy α -részecske energiája $E_\alpha = 6 \text{ MeV} = 9,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$. A melegítéshez szükséges energiát tehát

$$N = \frac{Q}{E_\alpha} = \frac{20\,280 \cdot 10^3 \text{ J}}{9,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}} = 2,11 \cdot 10^{19} \text{ darab } \alpha\text{-részecske biztosítja.}$$

Az eredeti atomszám N_0 , az elbomlott atomok száma: $N = N_0 - N(t)$, azaz

$$N = N_0 - N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}} = N_0 \left(1 - 2^{-\frac{t}{T}}\right),$$

tehát

$$N_0 = \frac{N}{1 - 2^{-\frac{t}{T}}} = \frac{2,11 \cdot 10^{19}}{1 - 2^{-\frac{15}{3}}} = 2,178 \cdot 10^{19} \text{ darab.}$$

Mivel 218 gramm polóniumban $6 \cdot 10^{23}$ darab atom van, $2,178 \cdot 10^{19}$ darab atom tömege:

$$m = \frac{2,178 \cdot 10^{19}}{6 \cdot 10^{23}} \cdot 218 \text{ g} = 7,91 \cdot 10^{-3} \text{ g} \approx 8 \text{ mg.}$$

Tehát körülbelül 8 mg polóniumot ejtettek be a vízbe.

4. feladat

Tudjuk, hogy H_2 molekula és H_2^+ is létezik. Vajon léteznek-e a következő molekulák, illetve molekula-ionok? Adjunk indoklást is a válaszokra!

- He_2
- He_2^+
- H_2^-

Megoldás

a) He_2 molekula nem létezik, mert két kötő állapotban lévő elektront és két lazító állapotban lévő elektront tartalmazna, ezért energiája azonos lenne két He-atoméval, azaz nem lenne energetikailag kedvezőbb. Így még ha létre is jönne egy pillanatra, a hőmozgás rögtön szétverné.

b) He_2^+ ion viszont létezik, mivel két elektron kerül kötő állapotba és egy pedig lazítóba, így a molekula energiája mélyebb, mint a He-atom + He^+ -ion együttes energiája.

c) Létezik H_2^- is. Ebben is két kötő állapotban lévő elektron és egy lazító állapotban lévő elektron található.

5. feladat

Másodpercenként körülbelül 10^{11} darab, Napból származó neutrínó halad át testünk minden négyzetcentiméterén.

a) Vajon hány, a Paksi Atomerőműtől származó antineutrínó halad át testünk egy négyzetcentiméterén másodpercenként az erőműtől egy kilométer távolságban, amikor mind a négy blokk üzemel?

b) Miért neutrínók jönnek a Napból, és antineutrínók az atomerőműből?

Adatok: egy blokk hőteljesítménye: 1470 MW, egy hasadás során átlagosan 200 MeV energia szabadul fel, és egy hasadást átlagosan 6 béta-bomlás követ.

Megoldás

a) A négy blokk teljes hőteljesítménye $4 \cdot 1470 = 5880$ MW. Ez azt jelenti, hogy másodpercenként átlagosan

$$\frac{5880 \cdot 10^6}{200 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13}} = 18,375 \cdot 10^{19}$$

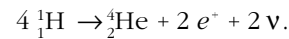
maghasadás történik. Mivel minden maghasadást átlagosan 6 béta-bomlás követ, és minden béta-bomlásban egy antineutrínó keletkezik, ezért másodpercenként $110 \cdot 10^{19} = 1,1 \cdot 10^{21}$ antineutrínó bocsátódik ki a négy reaktor aktív zónájából.

Ezek az antineutrínók a tér minden irányába elnyelődés nélkül egyenletesen repülnek, ezért az atomerőműtől 1 km távolságra egyenletesen oszlanak el az $R = 1$ km sugarú gömb $4\pi \cdot R^2 = 12,57 \text{ km}^2$ nagyságú felszínén. Ebből tehát 1 cm^2 -en az antineutrínók

$$\frac{10^{-4}}{12,57 \cdot 10^6} \approx 8 \cdot 10^{-12}$$

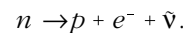
része halad át. Azaz körülbelül $8,8 \cdot 10^9$ antineutrínó (kevesebb, mint a Napból jövő neutrínók egytizede).

b) A Napban fúziós folyamatok zajlanak. Összesítve:



Innen származnak a nap-neutrínók.

Az atomreaktorban maghasadás zajlik, amelynek során neutrongazdag atommagok keletkeznek, ezek pedig negatív béta-bomlással kerülnek alacsonyabb energiájú állapotba. Negatív béta-bomlás során viszont antineutrínók keletkeznek, hiszen egy neutron alakul át protonná az atommagban:



6. feladat

a) Számítsuk ki a trícium (${}^3\text{H}$) és a hélium-3 (${}^3\text{He}$) izotóp kötési energiáját!

b) Adjunk magyarázatot arra, hogy miért a trícium bomlik el a ${}^3\text{He}$ izotópra béta-bomlással, és nem fordítva?

Adatok: ${}^1\text{H}$ atom tömege: 1,007825 u, neutron tömege: 1,008665 u, ${}^3\text{H}$ atom tömege: 3,016049 u, ${}^3\text{He}$ atom tömege: 3,016029 u, elektron tömege: 0,0005447 u (u az atomi tömeg egység, $1 \text{ u} = 931,6259 \text{ MeV}/c^2$).

Megoldás

a) Egy atommag kötési energiáját a tömeghiányból lehet meghatározni:

$$\Delta M(A, Z) = \frac{B(A, Z)}{c^2} = (A - Z) m_n + Z m_H - M(A, Z),$$

ahol $B(A, Z)$ az A tömegszámú és a Z rendszámú mag kötési energiája. Ez alapján a trícium kötési energiája:

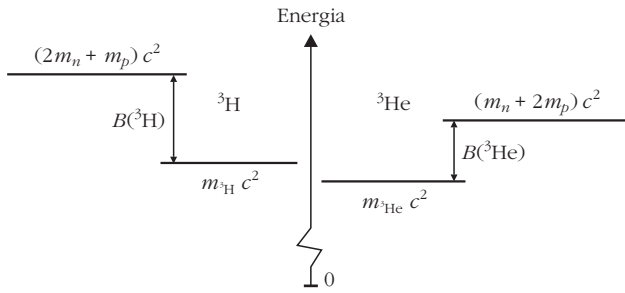
$$\begin{aligned} \Delta M({}^3_1\text{H}) &= \frac{B({}^3_1\text{H})}{c^2} = 2 m_n + m_H - M({}^3_1\text{H}) = \\ &= 0,009106 \text{ u.} \end{aligned}$$

Ebből $B({}^3_1\text{H}) = 8,4834 \text{ MeV}$.

Hasonlóan, a hélium-3 kötési energiája

$$\begin{aligned} \Delta M({}^3_2\text{He}) &= \frac{B({}^3_2\text{He})}{c^2} = m_n + 2 m_H - M({}^3_2\text{He}) = \\ &= 0,008286 \text{ u.} \end{aligned}$$

amiből $B({}^3_2\text{He}) = 7,71945 \text{ MeV}$.



Eredményünk szerint a trícium erősebben kötött, mint a ${}^3\text{He}$! Ezért meglepő, hogy – a feladat állításának megfelelően – mégis a trícium bomlik el a „gyengébben kötött” ${}^3\text{He}$ -ra, és nem fordítva!

b) A bomlási folyamat irányát illetőleg meg kell határozni a Q bomlási energiát, amely a ${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + e^- + \bar{\nu}$ negatív béta-bomlás folyamatában

$$Q_1 = \left\{ \left[M({}^3_1\text{H})_{\text{mag}} + m_e \right] - \left[M({}^3_2\text{He})_{\text{mag}} + 2m_e \right] - m_{\nu} \right\} c^2 =$$

$$= (3,016049 - 3,016029) c^2 = 0,00002 c^2 =$$

$$= 0,01863 \text{ MeV.}$$

Vegyük észre, hogy itt a szögletes zárójelekben álló kifejezések éppen az egyes atomok tömegei (az elektronokkal együtt). Az antineutrínó tömegét elhanyagoljuk.

Fordított esetben viszont, a ${}^3_2\text{He} + e^- \rightarrow {}^3_1\text{H} + \nu$ pozitív (pozitron) béta-bomlási folyamatban:

$$Q_2 = \left\{ \left[M({}^3_2\text{He})_{\text{mag}} + 2m_e \right] - \left[M({}^3_1\text{H})_{\text{mag}} + m_e \right] - m_{\nu} \right\} c^2 =$$

$$= (3,016029 - 3,016049 - 0,0005447) c^2 =$$

$$= -0,52609 \text{ MeV.}$$

Beláthatjuk azt is, hogy nemcsak a pozitronbomlás, hanem az elektronbefogás sem mehet végbe, hiszen az elektronbefogásnál: ${}^3_2\text{He} \rightarrow {}^3_1\text{H} + e^+ + \nu$, ezért itt a bomlási energia:

$$Q_3 = \left\{ \left[M({}^3_2\text{He})_{\text{mag}} + 2m_e \right] - \left[M({}^3_1\text{H})_{\text{mag}} + m_e \right] - m_{\nu} \right\} c^2 =$$

$$= (3,016029 - 3,016049) c^2 =$$

$$= -0,01863 \text{ MeV.}$$

Mivel a bomlás csak akkor mehet végbe (spontán), ha $Q > 0$, ezért a természetben csak a ${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + e^- + \bar{\nu}$ béta-bomlás valósul meg.

A látszólagos ellentmondás feloldása másképpen: a bomlás a teljes energia csökkenése irányában megy végbe. Jóllehet a ${}^3\text{H}$ kötési energiája valamivel nagyobb, és így „mélyebben” kellene lennie az energiaskálán, mint a ${}^3\text{He}$, a teljes energiája mégis nagyobb, mivel több neutron van benne, és így a tömege nagyobb, mint a ${}^3\text{He}$ -nak (az $m_n > m_p$ tömegkülönbség miatt). Ebből a tömegkülönbségből adódó többletenergia túlkompenzálja a nagyobb kötési energiából

adódó energiahányt. Ezeket a viszonyokat mutatja a a balra látható *ábra* jól szemléltetve, hogy ugyan $B({}^3\text{H}) > B({}^3\text{He})$, mégis $E({}^3\text{H}) > E({}^3\text{He})$.

7. feladat

2011 szeptemberében három napkitörésre került sor és a kutatók előre ki tudták számítani – és közvetlenül követni is tudták – ezeknek a különböző bolygókra való eljutását. A Föld felé irányuló kidobódásokat először a NASA Stereo űrszondapárosa észlelte. A NOAA megfigyelő műholdjai intenzív sarki fényjelenségeket regisztráltak. Két héttel később a várakozásoknak megfelelően a lökeshullámok sarki fényt váltottak ki a Jupiteren, amit a Stereo rádiófelvételen megörökített. 9 hétre rá, novemberben, ezek a részecskeáramok végre elérték az Uránuszt.

a) Milyen sebességgel haladnak ezek a protonok?

b) Mekkora az energiájuk?

c) Mekkora hőmérsékleten ekkora a részecskék hőmozgásból származó átlagos energiája?

Adatok: Nap-Föld távolság $150 \cdot 10^6$ km, Nap-Jupiter távolság: $778,5 \cdot 10^6$ km, Nap-Uránusz távolság: $2877 \cdot 10^6$ km. Proton tömege: $1,67 \cdot 10^{-27}$ kg.

Megoldás

a) A sebességet két adathból is ki tudjuk számítani:

$$v_1 = \frac{(778,5 - 150) \cdot 10^6 \text{ km}}{2 \text{ hét}} = 314,25 \cdot 10^6 \frac{\text{km}}{\text{hét}},$$

illetve:

$$v_2 = \frac{(2877 - 150) \cdot 10^6 \text{ km}}{9 \text{ hét}} = 303,25 \cdot 10^6 \frac{\text{km}}{\text{hét}}.$$

Vegyük ezek átlagát, így $309 \cdot 10^6$ km/hét legyen a sebesség. Ezt már csak m/s-ra kell átváltani:

$$10^6 \frac{\text{km}}{\text{hét}} = \frac{10^9 \text{ m}}{7 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s}} = \frac{10^9 \text{ m}}{604800 \text{ s}} = 1653 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

A protonok sebessége: $309 \cdot 1653 \text{ m/s} = 510777 \text{ m/s}$.

b) Ez még messze van a relativisztikus tartománytól, ezért az energia meghatározásához klasszikusan számolhatunk:

$$E = \frac{1}{2} m v^2 = 0,5 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot \left(510777 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 =$$

$$= 2,18 \cdot 10^{-16} \text{ J} = 1,36 \cdot 10^3 \text{ eV} = 1,36 \text{ keV.}$$

c) Milyen hőmérsékleten ekkora a protonok hőmozgásból fakadó átlagos energiája?

$$\frac{3}{2} k T = E,$$

amiből

$$T = \frac{2E}{3k} = \frac{4,36 \cdot 10^{-16}}{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}} = 1,05 \cdot 10^7 \text{ K.}$$

Tehát mintegy 10 millió K-nek felel meg.

8. feladat

A hőmérsékleti sugárzás jelenségét felhasználva becsüljük meg, mennyi lenne a Föld felszíni hőmérséklete légkör és belső hőtermelés hiányában! A Napot és a Földet tekintjük abszolút fekete testnek!

Adatok: a Nap felszíni hőmérséklete 5505 °C , átlagos sugara $R_N = 6,96 \cdot 10^8\text{ m}$, a Föld Naptól mért átlagos távolsága $D = 150 \cdot 10^6\text{ km}$.

Megoldás

A Föld hőmérsékletét úgy kapjuk meg, hogy feltezzük: egyensúly van, azaz a Föld által elnyelt – Naptól jövő – sugárzást kiegyenlíti a Föld által kibocsátott hőmérsékleti sugárzás. A Stefan–Boltzmann-törvény értelmében az egységnyi felületen egységnyi idő alatt kisugárzott energia arányos az abszolút hőmérséklet negyedik hatványával, ezért a Föld által kibocsátott teljesítmény (időegység alatt kisugárzott energia):

$$P_F = 4 \pi R_F^2 \sigma T_F^4,$$

ahol R_F a Föld sugara, T_F a Föld felszínének abszolút hőmérséklete, és σ a Stefan–Boltzmann-állandó, amelynek értéke: $5,6705 \cdot 10^{-8}\text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$.

Hasonlóan, a Nap által kisugárzott teljesítmény: $P_N = 4 \pi R_N^2 \sigma T_N^4$, ahol a megfelelő mennyiségek a Nap adataira vonatkoznak. (Itt használtuk ki, hogy ezek a testek abszolút fekete testként viselkednek.)

A Naptól a Földre érkező teljesítmény:

$$P_N \frac{\pi R_F^2}{4 \pi D^2},$$

ahol D a Nap-Föld távolság. A Földet melegítő teljesítménnyel a kisugárzás egyensúlyt tart:

$$P_F = P_N \frac{\pi R_F^2}{4 \pi D^2}.$$

Az egyensúlyi feltételből kapjuk:

$$4 \pi R_F^2 \sigma T_F^4 = 4 \pi R_N^2 \sigma T_N^4 \frac{\pi R_F^2}{4 \pi D^2}.$$

A megfelelő egyszerűsítések elvégzése után:

$$T_F^4 = T_N^4 \frac{R_N^2}{4 D^2},$$

azaz

$$\begin{aligned} T_F &= T_N \sqrt{\frac{R_N}{2D}} = \\ &= 5778 \cdot \sqrt{\frac{6,96 \cdot 10^8}{2 \cdot 1,5 \cdot 10^{11}}} = 278,3\text{ K}. \end{aligned}$$

Tehát mintegy 5 °C lenne a Föld felszíni hőmérséklete.

9. feladat

Egy neutrínódetektorban több felvillanást észlelnek egy körülbelül 10 fényév távolságban bekövetkezett szupernóva-robbanás első jeleként. Utána 44 órával egy részecske érkezik, ugyanebből az irányból, 30 GeV mozgási energiával. Mekkora az érkező ismeretlen részecske nyugalmi tömege? Milyen részecske lehet ez? (A vákuumbeli fénysebesség táblázatban található pontos értékével számoljunk!)

Megoldás

Legyen s a szupernóva-robbanás távolsága (10 fényév). A neutrínók közel fénysebességgel érkeznek, ezért s/c idő alatt érnek ide. A később, t időkülönbséggel érkező részecske sebessége tehát:

$$v = \frac{s}{\frac{s}{c} + t}.$$

Mivel a részecske sebessége relativisztikus, a tömege:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Legyen $E_0 = m_0 c^2$ a részecske nyugalmi energiája és E_m a mozgási energiája. Mivel az energiákat keressük:

$$\frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = E_0 + E_m,$$

ebből

$$E_0 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) = E_m,$$

rendezve:

$$E_0 = \frac{E_m \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 - \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

A számadatok behelyettesítése: 44 óra: $1,584 \cdot 10^5\text{ s}$, 10 fényév: $9,460529 \cdot 10^{16}\text{ m}$, a fénysebesség pontos értéke: $299\,792\,458\text{ m/s}$. Számoljuk ki v értékét:

$$\begin{aligned} v &= \frac{9,460529 \cdot 10^{16}\text{ m}}{\frac{9,460529 \cdot 10^{16}\text{ m}}{299\,792\,458\text{ m/s}} + 1,584 \cdot 10^5\text{ s}} = \\ &= 299\,642\,337\text{ m/s}. \end{aligned}$$

Számoljuk ki előbb

$$k = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

értékét, amire $k = 0,03164$ -t kapunk. Ebből az energia:

$$E_0 = \frac{E_m k}{1 - k} = \frac{30 \cdot 0,03167}{1 - 0,03167} = 0,980 \text{ GeV},$$

amiből az érkező részecske nyugalmi tömege:

$$m_0 = \frac{E_0}{c^2} = \frac{9,8 \cdot 10^8 \text{ eV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \frac{\text{J}}{\text{eV}}}{9 \cdot 10^{16} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = 1,74 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \approx m_p,$$

azaz jó közelítéssel a proton tömegének felel meg.

Valószínűleg egy proton érkezett 30 GeV mozgási energiával.

10. feladat

Egy gázdifúziós üzemben uránt dúsítanak. A $\rho = 1,695 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ sűrűségű UF_6 gázt egy $V = 10 \text{ cm}^3$ térfogatú α -detektorba vezetik, és megméri aktivitását, ami $A = 181,3 \text{ Bq}$ -nek adódik. Mekkora a dúsítás értéke?

Adatok: a ^{235}U felezési ideje $7,038 \cdot 10^8 \text{ év}$, a ^{238}U felezési ideje pedig $4,468 \cdot 10^9 \text{ év}$.

Megoldás

Az UF_6 molekulák moláris tömege 349 g/mol , illetve 352 g/mol a két különböző uránizotóp esetén. Jelöljük N_{235} -tel a ^{235}U izotópot tartalmazó molekulák számát, és N_{238} -cal pedig a ^{238}U izotópot tartalmazó két.

Ekkor a detektorban lévő gáz tömege a részecskék számával kifejezve:

$$m = \frac{N_{235}}{6 \cdot 10^{23}} \cdot 349 \text{ g} + \frac{N_{238}}{6 \cdot 10^{23}} \cdot 352 \text{ g}.$$

A keverék gáz tömegére felírhatjuk, hogy

$$m = \rho V = 1,695 \cdot 10^{-3} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 10 \text{ cm}^3 = 16,96 \cdot 10^{-3} \text{ g}.$$

A gáz α -aktivitása pedig:

$$A = N_{235} \frac{\ln 2}{T_{1/2}(^{235}\text{U})} + N_{238} \frac{\ln 2}{T_{1/2}(^{238}\text{U})} = 181,3 \text{ Bq}.$$

Látható, hogy a két ismeretlenre két (lineáris) egyenletünk van, ez könnyen megoldható. A felezési idők másodpercekben:

$$T_{1/2}(^{235}\text{U}) = 7,038 \cdot 10^8 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s} = 22,2 \cdot 10^{15} \text{ s},$$

valamint

$$T_{1/2}(^{238}\text{U}) = 4,468 \cdot 10^9 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s} = 140,9 \cdot 10^{15} \text{ s}.$$

A két egyenlet átrendezve és a mértékegységeket elhagyva kapjuk:

$$16,96 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 10^{23} = 349 N_{235} + 352 N_{238},$$

illetve

$$181,3 = 31,22 \cdot 10^{-18} N_{235} + 4,919 \cdot 10^{-18} N_{238}.$$

Az egyszerűbb számolás érdekében vezessünk be két új változót: $n_5 = N_{235} \cdot 10^{-18}$ és $n_8 = N_{238} \cdot 10^{-18}$. Ezekkel kapjuk:

$$101,76 = 3,49 n_5 + 3,52 n_8,$$

illetve

$$181,3 = 31,22 n_5 + 4,919 n_8.$$

Az egyenletrendszer megoldásából kapjuk: $n_5 = 1,484$ és $n_8 = 27,439$.

A dúsítás tehát

$$d = \frac{n_5}{n_5 + n_8} = \frac{1,484}{1,484 + 27,439} = 0,0513,$$

azaz mintegy 5%.

Az elődöntő eredményei

A beküldött tanulói dolgozatokat a versenybizottság tagjaiból álló bizottság ellenőrizte és a beküldött 18-ból a legjobb 8 junior versenyzőt, a beküldött 40-ből a legjobb 22 I. kategóriás versenyzőt hívta be a paksi Energetikai Szakközépiskolában 2013. április 19–21. között megrendezett döntőre (sajnos egy junior versenyző nem tudott eljönni). A korábbi években általában 10, illetve 20 versenyzőt hívtunk be az egyes kategóriákból. Az idén azért alakult a szokásostól eltérően, mert az I kategóriában többszörös holtverseny alakult ki, a junior kategóriában pedig a 8. helyezett után volt nagyobb „szakadás” a pontszámokban.

A következő részben a döntő feladatairól, azok értékeléséről és a tanári díjak nyerteseiről számolunk be.

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 Stúdió, nyomdai munkálatok: OOK-PRESS Kft., felelős vezető: Szatmáry Attila ügyvezető igazgató.

Terjeszté az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, előfizethető a Társulatnál vagy postautalványon a 10200830-32310274-00000000 számú egyezményen.

Megjelenik havonta, egyes szám ára: 800.- Ft + postaköltség.

HU ISSN 0015–3257 (nyomtatott) és HU ISSN 1588–0540 (online)

OLVADÓ JÉGHEGYEK, MELEGEDŐ TENGEREK

Baranyai Klára
Berzsenyi Dániel Gimnázium, Budapest

Két egyszerű, olcsó eszközökkel elvégezhető, látványos kísérletet szeretnék bemutatni. Mindkettő szorosan kapcsolódik a tengervíz hőmérsékletének alakulásához, ezért ezen kísérleteknek talán a földrajzórán is hasznukat lehet venni.

Jégkockák olvadása édes és sós vízben

Kísérlet a hosszán úszó jéghegyek olvadásának szemléltetésére

Egy kémiatanár-kolléga észrevette, hogy sós vízben a jégkockák sokkal lassabban olvadnak el, mint édesvízben. Az olvadási idők különbsége egy főzőpohárnyi víz esetén akár 15-20 perc is lehet.

Mi lehet a jelenség magyarázata?

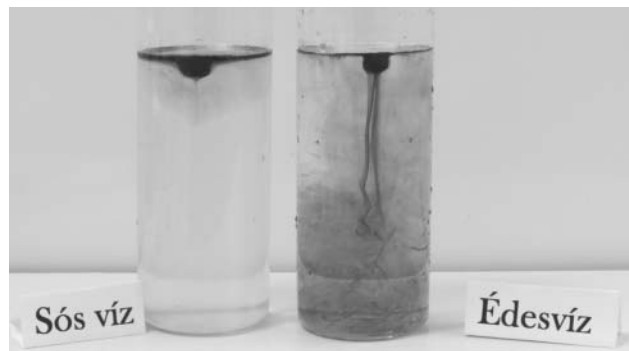
A kísérlethez szükségünk van két azonos hőmérsékletű vizet tartalmazó, egyforma üvegedényre. Az egyik edényben a vizet alaposan sózzuk meg. Fagyasszunk ételfestékkel színezett, egyforma jégkockákat. (Az üzletekben kapható piros, kék... ételfesték nem változtatja meg jelentősen sem a víz sűrűségét, sem az olvadáspontját.)

Ha óvatosan egy-egy színezett jégkockát helyezünk mindkét pohárba, a látványt megfigyelve hamar rájöhethetünk az olvadási idők különbségének nyitjára.

Az édesvízbe helyezett jégkocka olvadéka $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletű, sűrűsége nagyobb a pohárban lévő $15\text{--}20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletű vizénél. Ezért lesüllyed a pohár aljára, utat enged a melegebb víznek, amely a jégkockával közvetlenül érintkezve gyorsan olvasztja azt. A pohárban lesüllyedő színezett olvadék láthatóvá teszi a kialakuló konvekciót (1. ábra, jobb oldali edény).

A sós vízbe helyezett jégkocka esetén nem alakul ki hasonló áramlás. Az olvadék sűrűsége alacsonyabb hőmérséklete ellenére is kisebb, mint a melegebb sós vízé. A pohárban jól látszik, hogy a színezett olvadék a folyadék tetején marad, tehát a jégkocka a saját $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

1. ábra. A sós vízbe helyezett színes jégkocka saját olvadékában úszik (balra), míg az édesvízbe rakott olvadéka lesüllyed, keveredik (jobbra).



hőmérsékletű olvadékában úszik. Így érthetővé válik, hogy miért tart sokkal tovább a jégkocka elolvadása a sós vízben, mint az édesvízben.

Tapasztalataim szerint ez a kísérlet jól használható az órán, hiszen a gyerekek minden részét ismerik. Az élénkebb eszű tanulók a látvány alapján maguktól rájönnek a teljes magyarázatra, de ha jó kérdéseket teszünk föl, lépésről lépésre a többiekkel is eljuthatunk a megfejtésig. Foglalkozhatunk vele tanulókiérleteti órán, vagy feladhatjuk fejtörőnek háziversenyen. Akár az általános iskolás korosztály számára is alkalmas órai feldolgozásra.

A jelenség alapján megmagyarázhatjuk azt is, hogy a sarki jégtakaróról leváló hatalmas jégtömbök miért tudnak évekig sodródni a tengeri áramlatokkal, míg akár az 50. szélességi fokon is túljutnak, mire elolvadnak [1]. Miért nem olvadnak el a jéghegyek a melegebb tengerekre érve hamarabb [2]? Erre a méretük önmagában nem elegendő magyarázat, a jéghegyek $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ körüli édesvízből álló „pocsolyákban” úsznak, nem érintkeznek a „meleg” tengervízzel.

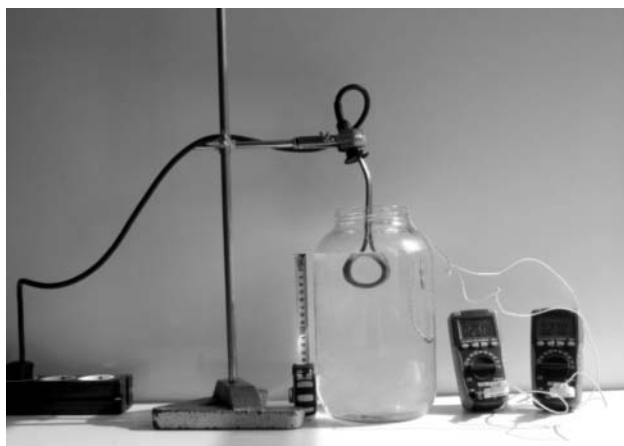
A globális felmelegedés következtében a sarki jégtakaró olvadása felgyorsul. Az olvadék a tenger sókoncentrációját csökkenti, ami a kísérlet tanúsága szerint a jéghegyek olvadását is felgyorsítja. Ez egy pozitív visszacsatolású folyamat, beindulása nagy veszélyeket rejt magában.

Felülről fűtött folyadékok

Kísérlet a tavak, tengerek melegedésének szemléltetésére

A másik kísérletet a *Quantum* című folyóiratban találtam [3]. Ez a folyóirat az Amerikai Egyesült Államokban 1990. és 2001. között jelent meg [4]. Elsősorban a Szov-

2. ábra. A kísérleti elrendezés: vízzel teli uborkásüveg, merülőforraló Bunsen-állványon, két multiméter hőmérő csatlakozóval.

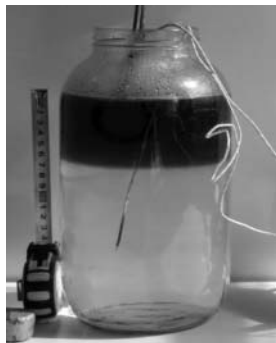


jetunióból és Kelet-Európából elszármazott fizikusok és matematikusok cikkeit közölte, és kifejezetten a középiskolai tehetséggondozást tűzte ki céljául. A folyóirat címe is utal a sokak által ismert orosz *Kvantra*.

Egy nagy uborkásüvegbe engedjük hideg csapvizet, és közvetlenül a felszín alá süllyesszünk be egy merülőforralót! Az uborkásüveg mellé egy mérőszalagot is állíthatunk, és különböző magasságokba süllyesztett hőmérőkkel mérhetjük a víz hőmérsékletét (2. ábra).

Ha a fűtést bekapcsoljuk, rövid idő múlva a merülőforraló közvetlen környezetében a víz forni kezd.

Ekkor cseppentsünk a vízbe ételfestéket! A felső vízréteg egyenletesen elszíneződik, és meglepődve tapasztalhatjuk, hogy éles határfelület választja el a festetlenül maradt tiszta víztől (3. ábra).



3. ábra. Élesen elválik a forró (színes) és a hideg (színtelen) réteg.

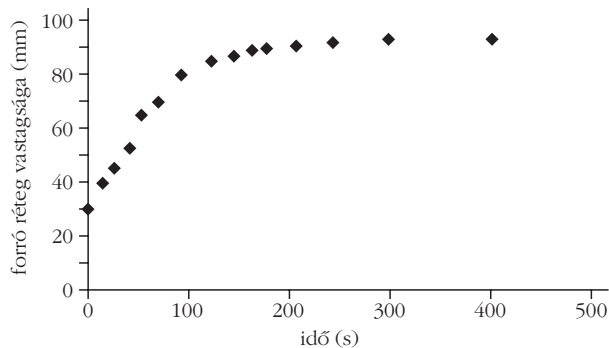
Megmérhetjük a víz hőmérsékletét különböző mélységekben. Azt tapasztaljuk, hogy az elszíneződött felső réteg mindenütt forró, 85-95 °C hőmérsékletű, míg a színezetlenül maradt alsó rétegben a víz mindenhol szobahőmérsékletű maradt. A határfelület két oldala között nagy hőmérséklet-különbséget mérhetünk, ebben a zónában nagy a hőmérsékleti gradiens.

A határvonal az idő előrehaladtával lassan lejjebb kúszik, de hosszú idő elteltével sem éri el az uborkásüveg alját. (A mi kísérletünkben a merülőforraló karkája alatt 2 centiméterrel megállt.)

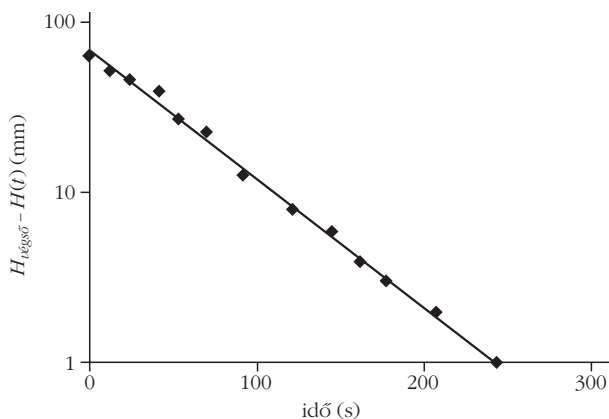
A merülőforraló körül a sűrűségkülönbség hatására áramlás kezdődik. A forró víz felszáll, helyére oldalról hidegebb víz áramlik. Az uborkásüveg tetején beinduló áramlás egyenletesen színesre festi a vizet, közben ez a réteg a merülőforralóval való érintkezés hatására egyre melegebb lesz. Mivel a forró víz sűrűsége kisebb a hideg víznél, a konvekció csak a felső réteget érinti, a határvonal akkor kerül lejjebb, ha a határfelület mentén az áramlás elég gyors ahhoz, hogy a hideg rétegből is magával ragadjon egy kis vizet. Ezért a határfelület lejjebb húzódása egy idő után megáll. Ekkor a merülőforraló által időegységenként betáplált energia megegyezik a mozgásban tartott vízréteg időegységre eső energiavesztésével.

Ezt a kísérletet demonstrációként is bemutathatjuk, de méréseket is végeztethetünk a gyerekekkel. Izgalmas kérdés, hogy a határfelület hogyan és meddig süllyed az idő múlásával.

Egy szakköri csoporttal megmértük a határfelület süllyedését az idő előrehaladtával. A színes, forró réteg $H(t)$ vastagságát ábrázoltuk az idő függvényében a 4. ábrán. A forró réteg vastagságának növekedése lassuló, sejtésünk szerint exponenciálisan közelít az egyensúlyi $H_{végső}$ értékhez. Ennek igazolására a $H_{végső} - H(t)$ értékeket ábrázoltuk az idő függ-



4. ábra. A forró réteg vastagsága egyensúlyi állapothoz tart.

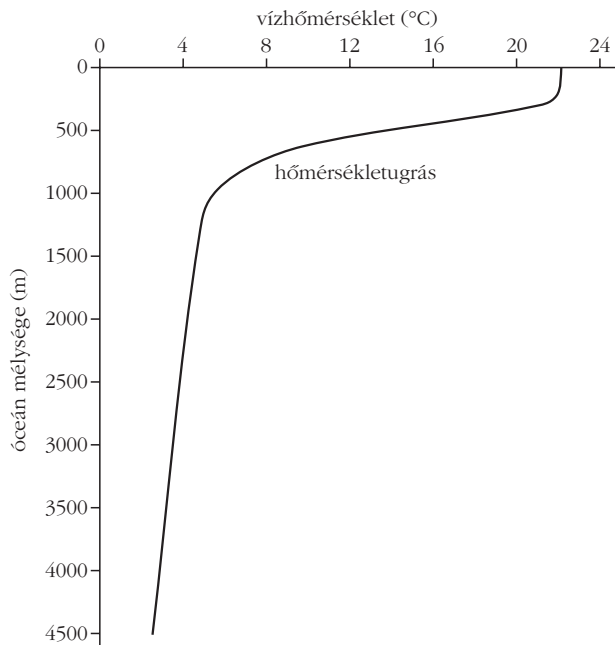


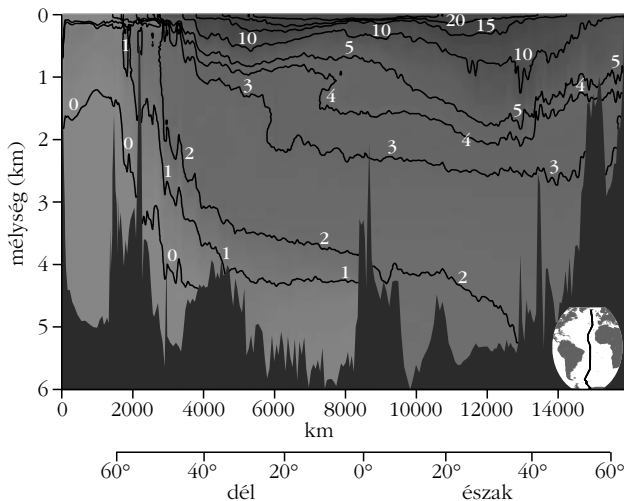
5. ábra. A 4. ábrán tapasztalt változás exponenciálisan alakul ki – tanúsítja a logaritmikus ábrázolás.

vényében logaritmikus skálán az 5. ábrán. Az értékekre illeszkedő trendvonal igazolta sejtésünket. A mérési adatokat Excel programmal dolgoztuk fel. A mi mérésünkben a forró réteg egyensúlyi vastagsága $H_{végső} = 93$ milliméter volt.

A földfelszín vizeit a Nap felülről melegíti. Az uborkásüveghez hasonlóan a tavak és tengerek vizeinél is megfigyelhető az éles határvonal megjelenése. Ha

6. ábra. A tengervíz hőmérsékletének változása lefelé haladva [5–7].





7. ábra. Az Atlanti óceán vizének hőmérsékleti térképe egy észak-déli irányú függőleges felület (lásd a jobb alsó sarokban), [2] alapján.

szélcsendes időben olyan helyen fürdünk egy tóban, ahol mások aznap még nem kavarták föl a vizet, a kellemesen langyos felszíni rétegből a lábunkat lejjebb engedve megérezhetjük az uborkásüvegben lát-

hatóvá tett éles határt a langyos és a hideg réteg között. A tengerek hőmérsékleti adatait adatbázisokba gyűjtik [2]. Ezek tanúsága szerint a tengereknek még az Egyenlítőnél is csak a felső néhány száz méteres rétege tud átmelegedni. Ha lefelé haladunk a tenger mélye felé, a hőmérséklet egyszercsak hirtelen zuhanni kezd, majd eléri a +4 °C körüli értéket, és ez lényegében változatlan marad a tengerfenékgig (6. és 7. ábra). Azt a réteget, amelyben a hőmérséklet ugrásszerűen változik, termoklin zónának nevezik [5–7]. Ez a mi uborkásüvegünkben a színes és színezetlen réteg közötti éles határfelületnek felel meg.

Irodalom

1. National Snow and Ice Data Center: http://nsidc.org/icetrek/research_updates.html
2. http://galathea3.emu.dk/satelliteeye/projekter/sst/back_uk.html
3. V. Pentegov: Heating Water from the Top. *Quantum* 1999. november/december 41.
4. A folyóirat információs oldala: <http://www.nsta.org/quantum/info.asp>
5. <http://www.windows2universe.org/earth/Water/temp.html>
6. Jánosi I., Tél T.: *Bevezetés a környezeti áramlások fizikájába*. Typotex, 2012.
7. G. K. Vallis: *Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics*. Cambridge, 2006.

A LEGNAGYOBB CITROMERŐMŰ

2013. április 27-én a DaVinci Learning, az első hazai oktatási és ismeretterjesztő csatorna Guinness-rekordot állított fel: a gyümölcsrel működtetett legnagyobb erőmű kategóriában döntötték meg a fennálló rekordot. A kísérlethez 1500 citromot használtak, a termelt árammal egy telefont is fel lehetne tölteni. Az erőmű nem először épült fel, és később is látható lesz egy tavaszitól ősziig tartó roadshow keretében.

A DaVinci Learning csatorna célja, hogy megkedveltesse a tanulást és a természettudományokat nézőivel. Ezért indult útjára a Kis Zsenik Klubja roadshow, amelynek első állomásán márciusban felépült a legnagyobb gyümölcsrel működtetett erőmű. Ezzel több rekord is megdőlt (méret, gyümölcsök száma, működőképesség, magyarországi csúcs), de a gyümölcserőmű teljesítménye nem volt nagyobb az akkor fennálló Guinness-rekordnál.

A Da Vinci Learning az első oktatási TV-csatorna, amely számos különböző tudományterületről kínál ismeretterjesztő filmeket az egész családnak, életkortól függetlenül. A Da Vinci Learningnél tudják, hogy mindenki kíváncsi a dolgok valódi működésére, vágyik a felfedezés és a rácsodálkozás élményére. Ezért a csatorna könnyed, tévézés közbeni tanulást kínál, ahol a nézőket játékosan ösztönzik arra, hogy részt vegyenek az izgalmas válaszok megtalálásában. A csatorna célja, hogy az érdekes és tanulságos műsorok párbeszédet indítsanak a családtagok között, hiszen a közös tévézés, a látottak átbeszélése a legértékesebb televízióhoz köthető tapasztalat.

További információ: <http://hu.da-vinci-learning.com> és *Hering Orsolya* (20-978-5080).

A roadshow második állomásán, Budapesten a Campona üzletközpontban viszont sikerült rekordot dönteni! A gyümölcsrel működtetett legnagyobb erőmű kategóriában a csatorna nézői közreműködésével Guinness-rekord született! Az erőmű 1500 citromból, hat panelből, 15 cellából és közel 90 méter elektródból állt, és 1,1 W teljesítménnyel működött – ezzel megdőlt az 1 W-os rekord, amit egy krumplikból összeállított akkumulátor tartott. Az 1,1 W elég például egy ledsor kivilágítására, vagy egy mobiltelefon feltöltésére. Szombaton minden érdeklődő megtudhatta, hogyan tud áramot termelni a citrom, milyen kémiai reakció zajlott le a szerkezetben, és részese lehetett a rekordkísérletnek is. Volt szórakoztató fizikashow, éneklő csövek, égnek álló hajak, örvényáramok és egyéb kísérletek.

Az erőmű egyrészt a teljesítmény és a méret összefüggéseire világít rá, de a környezetvédelem és energiatakarékosság kérdéseit is felveti. Emellett arra is ösztönöz, hogy képletek helyett sokszor könnyed formában, interaktív módszerekkel jobban motiválhatók a gyerekek, így a játékos formában való tanulást népszerűsíti. A kísérletben használt citromok a szegedi biogáz erőműbe kerülnek.

A citrommal működtetett legnagyobb erőmű a Kis Zsenik Klubja roadshow keretében ezután Győrben épült fel, majd a nyári szünetet követően Szekszárdon, Szegeden és Jászberényben is látható lesz.

<http://hu.kids.da-vinci-learning.com>

A KLÍMAVÁLTOZÁSOKRÓL

Válas György
Budapest

A kiindulópont

Földünk globális klímája katasztrofálisan melegszik! Ezt mi magunk okozzuk az üvegházhatású gázok kibocsátásával! Meg kell mentenünk a klímánkat, különben végveszélybe rohanunk, kipusztul az emberiség, soha nem látott kihalás sújtja az egész élővilágot! – Ilyen szövegek uralják a sajtót és a közvéleményt. Nemzetközi politikai konferenciákat tartanak, nemzetközi politikai egyezményeket kötnek a klímavédelemről. Hazánkban már klímavédelmi államtitkára is van.

Vizsgáljuk meg, milyen tudományosan igazolható tények támasztják alá vagy cáfolják ezeket a világgözvéleményt uraló állításokat! Ehhez először is szedjük rendbe őket. A következő állítást kapjuk:

1. *Földünk globális klímája melegszik.*
2. *Ez a) egészen rendkívüli jelenség b) vagy legálábbis egészen rendkívüli mértékű.*
3. *A felmelegedés az ipari forradalommal kezdődött, ez bizonyítja, hogy a felmelegedés oka az emberi tevékenység.*
4. *A katasztrofális felmelegedést az üvegházhatású gázok hatalmas mennyiségű emissziójával okozzuk, a fosszilis energiaforrások elégetéséből származó szén-dioxiddal, az iparszerű állattenyésztésből és a rizstermesztésből származó metánnal.*
5. *Az emisszió visszafogásával meg kell fékeznünk a melegedést, különben kihal az emberiség, soha nem látott kihalás sújtja az egész élővilágot.*

„Mindenki ezt mondja, a legnagyobb tudósok is ezt mondják” – halljuk, olvassuk sokszor a laikusok számára döntőnek tűnő érvet a felsorolt állítások mellett. Mi, tudományal foglalkozók azonban tudjuk, hogy a tudományban ez nem érv. Volt idő, amikor mindenki azt mondta, a legnagyobb tudósok is azt mondták, hogy a világ közepe a Föld, a körülötte forgó hét kristálygömbre van felszögezve a hét bolygó, a legkülső nyolcadikba vert aranyszögek a csillagok. Volt idő, amikor mindenki azt mondta, a legnagyobb tudósok is azt mondták, hogy a Föld ötezer-valahány száz éves, és csak arról folyt a késhegyre menő vita, hogy az ötezen túl még hany száz.

A Fizikai Szemle szerkesztőbizottsága az 1972-ben meghirdetett VÉLEMÉNYEK sorozatát az olvasók kérésére tovább folytatja ez évben is. A szerkesztőbizottság állásfoglalása alapján „a Fizikai Szemle feladatául vállalja el, hogy teret nyit a fizikai kutatásra és fizika oktatására vonatkozó véleményeknek, ha azok értékes gondolatokat tartalmaznak és építő szándékúak, függetlenül attól, hogy egyeznek-e a lap szerkesztőinek nézetével, vagy sem”. Ennek szellemében várjuk továbbra is olvasóink, várjuk a magyar fizikusok leveleit.

A tudományban csak tényekkel érvelhetünk, nem pedig a „legnagyobb tudósok” tekintélyével. A legfontosabb tényeket egy viszonylag fiatal tudomány, a paleoklimatológia szállítja.

Az állítások vizsgálata

Vegyük hát akkor sorra a fenti állításokat.

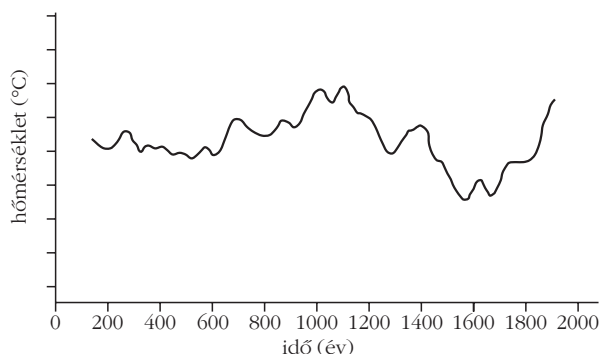
1. *Földünk globális klímája melegszik.*

Az állítás lényegében igaz. Ezt igazolja a gleccsek és a sarki jég visszahúzódása, a tengerszint emelkedése és még sok más jelenség. Azért én módosítanám, pontosítanám az állítást, hogy ne csak lényegében, hanem teljesen igaz legyen. Az én megfogalmazásomban az állítás így hangzik: *Földünk globális klímája a közelmúlt évszázadokban melegedett. Hogy még most is melegszik-e, azt majd néhány évtized múlva utólag meglátjuk.* Azért tartom fontosnak ezt a pontosítást, mert a klímára, különösen pedig a klíma változására néhány évtizednél rövidebb időszakból nem lehet következtetést levonni. A klímához ugyanis akkor jutunk el, ha az aktuális időjárást befolyásoló tényezőket kiátlagoljuk, köztük az olyan hosszú időtartamúakat is, mint az El Niño jelenség, az észak-atlanti cirkuláció és a 11 éves fél napciklus.

2. *a) Ez egészen rendkívüli jelenség.*

Az állítás hamis. Mind az 1., mind a 2. ábrán láthatjuk, hogy a klíma folyamatosan változik. A klíma legjellemzőbb tulajdonsága az állandó változás. Pedig évtizedekig komolyan vették, világszerte hirdették az úgynevezett hokiütő-grafikont, amely azt ábrázolta, hogy a klíma évezredekig változatlan volt, aztán az ipari forradalom idején elkezdett melegedni, azóta megállíthatatlanul melegszik. Hirdették, pedig ennek

1. ábra. A globális hőmérséklet közel 2000 éves változása a jégfúrások alapján [1].



a hokiütő-grafikonak tudományos alapja nincs. Ma már a felmelegedéstől rémüldözők se emlegetik.

2. b) *Vagy legalábbis egészen rendkívüli mértékű.*

Az állítás ebben az enyhített formájában is hamis. A felmelegedés tempóját általában a tengerszint-emelkedés sebességével szoktuk jellemezni, mert az integrálja a különböző helyeken mérhető felmelegedést. Nos, a tengerszint-emelkedés sebessége jelenleg 2–3 mm évente. Ezzel szemben i. e. 8750 körül, az úgynevezett felső dryas epizód erőteljes lehülése után olyan heves melegedés következett, amelytől 10 év alatt 7 métert emelkedett a tenger szintje. Ez két és fél nagyságrenddel gyorsabb volt a mainál. Akkor hogy mondhatnánk a mairra, hogy rendkívüli mértékű?

3. *A felmelegedés az ipari forradalommal kezdődött, ez bizonyítja, hogy a felmelegedés oka az emberi tevékenység.*

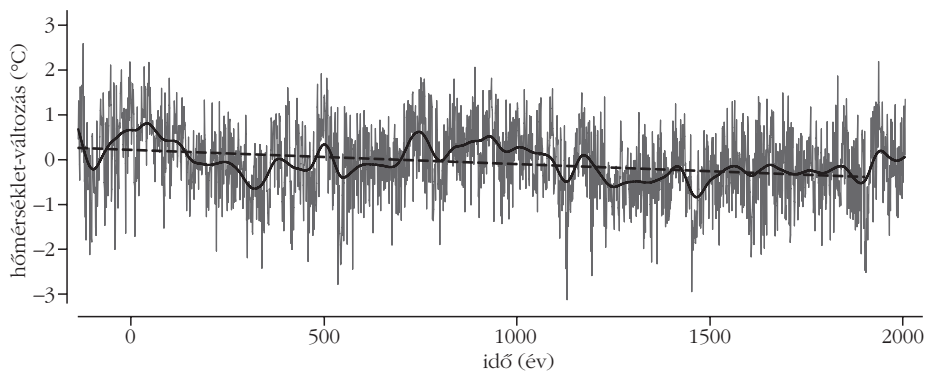
Az állítás hamis. Az 1. ábráról leolvasható, hogy a jelenlegi felmelegedés egy teljes évszázaddal az ipari forradalom előtt, az 1700-as évek elején kezdődött.

Egyébként is teljesen érthetetlen, hogy első elhangzásakor, évtizedekkel ezelőtt mire alapozták ezt a ma már posztulátumként kezelt állítást. Paleoklimatológiai adatok akkor még nem voltak. Közvetlen mérések pedig az ipari forradalom idejéről és az előtről nem léteznek. A szabványosított és szisztematikus meteorológiai megfigyelések fél évszázaddal az ipari forradalom után, az 1850-es években kezdődtek. Akkor szabványosították a meteorológiai műszereket. Akkor szabványosították a leolvasási időpontokat is. Az 1850-es évek előtt csak ötletszerű, nem szabványos műszerekkel végzett, főleg az extremitásokra fókuszáló mérések voltak, amelyekből egy időbeli folyamat kezdőpontját nem lehet meghatározni.

Az is érthetetlen, hogy ha a mi ipari tevékenységünk okozná a felmelegedést, akkor miért az ipari forradalommal kezdődött volna, amikor még csak itt-ott lézengett egy-két gőzgép. Miért nem a XIX. század utolsó negyedében, amikor kialakult a nagyipar, a vasúthálózat és a gőzhajózás, vagy az első világháború idején, amikor létrejött a tömegtermelés?

4. *A katasztrofális felmelegedést az üvegházhatású gázok hatalmas mennyiségű emissziójával okozzuk, a fosszilis energiaforrások elégetéséből származó szén-dioxiddal, az iparszerű állattenyésztésből és a rizstermesztésből származó metánnal.*

Az állítás nem igazolható. Valóban hatalmas mennyiségű szén-dioxidot bocsátunk az atmoszférába a fosszilis energiaforrások elégetésével. De mihez képest hatalmas mennyiséget? A vulkánok természetes



2. ábra. A németországi nyári hőmérséklet bő 2000 éves változása a fák évgyűrűiből [2].

emissziójához képest? Hogy ezt kimondhassuk, tudnunk kéne, mennyi szén-dioxidot emittálnak a vulkánok és a posztvulkáni területek. Ezt azonban nem tudjuk. Még azt se tudjuk, mennyi vulkán van a Földön, hiszen a többségük az óceánok mélyén, ismeretlenül lapul. Egy-egy robbanásos vulkáni kitérőben hatalmas mennyiségű gáz szabadul fel, éppen ettől robbanásos a kitérő. A kiszabaduló gáz három összetevője közül pedig az egyik a CO₂. A sok tízezer kilométer hosszú szubdukciós zónákban alábukó óceáni lemezek egyik fő összetevője a tengeri élőlények mészvázából képződött mészkő, CaCO₃. Amikor az alábukó lemez eléri a köpeny hőmérsékletét, a mészkő nem olvad meg, mint a vulkáni kőzetek és a kvarc, hanem disszociál. A belőle felszabaduló CO₂ a vulkánokon át az atmoszférába távozik. Tudjuk, hogy ez gigantikus mennyiség, de nem tudjuk, mennyi. Tudományos lelkiismerettel nem mondhatjuk ki, hogy ehhez képest meghatározó az antropogén emisszió.

Mihez képest rengeteg a CO₂, amelyet kibocsátunk? Az óceánok kompenzáló képességéhez képest? De hiszen arról se tudjuk, mekkora.

Voltak, akik más oldalról közelítették meg a kérdést. Megmérték, hogy változott a légkör CO₂-tartalma az utóbbi évszázadokban. Sokan úgy találták, hogy számottevően növekedett. Aztán egy kutató korrektebbül újraértékelte a mérési adataikat [3], és úgy találta, hogy a legutóbbi 160 évben szignifikáns változás nem tapasztalható. A mérések tehát ellentmondóak, nem alapozható rájuk az az állítás, hogy az antropogén emisszió meghatározó. Voltaképpen olyan érzékeny mérésről van szó, amelynek az eredményét befolyásolhatja a kutató prekoncepciója. Megbízható eredmény tehát csak vak mérésből remélhető, de ilyet nem végeztek.

Mihez képest hatalmas a metán-kibocsátásunk? A mocsarak természetes emissziójához képest? De hát ki tudja, mennyi metánt bocsátanak ki a mocsarak? Csak azt tudjuk, hogy rengeteget. Ki tudja egyáltalán, hogy mennyi mocsár van a fel nem térképezett trópusi esőerdőkben, a fel nem térképezett szubarktikus tajgában, a tengerparti mangrove-világban? Megint hatalmas, de ismeretlen mennyiséghez akarjuk hasonlítani az antropogén kibocsátást. Ez nem fér össze a tudományos lelkiismerettel.

Mi a több, az ember által létrehozott rizsföldek területe vagy az ember által megszüntetett, lecsapott mocsarak területe? Ezt még senki se mérte fel.

Tényleg nagyobb a nagyüzemi állattenyésztésben élő marhák, más kérődzők száma, mint a földtörténet leghatékonyabb ragadozója, a fegyverrel vadászó ember megjelenése előtti kérődzőfauna? Ez valószínűtlenül hangzik akár Euráziára, ahol az általunk kipusztított őstulok volt a jellemző kérődző, de mellette hatalmas számban éltek bivalyok, bölények, szarvasfélék, nem kérődző, de metánt termelő vastagbőrűek, akár Afrikára, ahol a maihoz képest legalább tízszeres egyedszámban éltek kafferbivalyok, antilop és gazellafélék, vastagbőrűek, akár Észak-Amerikára, ahol másfél évszázada is még százmillió bölény élt és mellettük rengeteg szarvasféle.

Összefoglalva: nem tekinthető tudományosan megalapozottnak az az állítás, hogy az üvegházhatású gázok antropogén kibocsátása döntően megváltoztatva volna a klímát a korábbi helyzethez képest. A két hamis érv után a harmadik érv értékelhetetlen a mellett, hogy az ember okozná a felmelegedést.

És szól valami az ellenkezője mellett? A mellett, hogy nem az ember okozza? Igen.

Az 1. és a 2. ábráról leolvasható, hogy ezer éve melegebb volt, mint ma. A 2. ábráról az is leolvasható, hogy kétezer éve is melegebb volt, mint ma. Jégfúrásokból tudjuk, hogy 4200 éve is melegebb volt, mint ma. Egyiptológus régészek kutatásaiból meg tudjuk, hogy 4200 éve egy sok évtizeden át tartó iszonyatos aszály és az azzal járó rendkívüli éhínség bomlasztotta fel az egyiptomi Óbirodalmat. A két adat egymást erősíti. Tudjuk [4], hogy 125 ezer éve, a legutóbbi interglaciálisban is melegebb volt, mint ma. A felsorolt meleg időszakok egyikét sem okozhatta antropogén hatás, mert az emberi tevékenység még túl gyenge volt ahhoz, hogy a klímára hatással legyen. Akkor milyen alapon gondoljuk, hogy épp ezt a mostani felmelegedést, amely ráadásul az ipari forradalom előtt egy évszázaddal kezdődött, a felsoroltakkal elentétben antropogén hatás okozná?

Levonhatjuk tehát az egyetlen tudományosan megalapozott következtetést: A globális felmelegedést nem okozhatja antropogén hatás, azt az embertől független természeti erőnek kell okoznia. Minden tudományos alapot nélkülöz az az állítás, hogy a felmelegedést mi magunk okozzuk. Így aztán a klímánkat nem is tudjuk megvédeni.

Hogy mi az a természeti erő, amely a klímaváltozást okozza, arról majd kicsit később.

Felmerül a kérdés: ha a klímánkat nem tudjuk megvédeni, akkor hiábavaló volt minden, amit eddig ebben az irányban tettünk? Nem. Ugyanis a CO₂-kibocsátás csökkentése egyben takarékoskodást jelentett a fosszilis energiaforrásokkal. Azokkal pedig takarékoskodnunk kell, mert a készletük meglehetősen véges. Nem fogynak olyan gyorsan ki, mint amivel a „zöldek” riogatnak. Ha figyelembe vesszük, hogy a legnagyobb készlethez, a tengerfenék metán-hidrátjához még hozzá sem nyúltunk (pontosabban egy sikeres

kísérlet már volt a kinyerésére [5]), akkor jó néhány évszázadra tehetjük a kifogyásukat, de akkor is belátható időn belül fogynak ki. Addigra meg kell oldania az emberiségnek a termonukleáris energiatermelést.

Veszélyben vagyunk?

5. *Az emisszió visszafogásával meg kell fékeznünk a melegedést, különben kihal az emberiség, soba nem látott kihalás sújtja az egész élővilágot.*

Ennek az ötödik állításnak a vizsgálatát kétfelé kell bontanunk. Az egyik kérdés: ha tényleg nagyon sokáig tart a melegedés, az valóban pusztulással fenyeget-e minket. A másik kérdés: milyen klimatikus jövő várható? Nézzük először az elsőt!

Először is szögezzük le: az ember a legalkalmazkodóképesebb élőlény. Minden más élőlénynek csak biológiai eszközei vannak a változó körülményekhez, egyebek között a klímaváltozásokhoz való alkalmazkodásra. Az embernek erre műszaki eszközei is vannak, a műszaki eszközt a legszélesebb értelemben értve. Az emberiség kihalásától tehát csak akkor kéne tartanunk, ha a fajok túlnyomó többségét sújtaná a kihalás. A földtörténet viszont arra tanít minket, hogy nagy kihalást felmelegedés még sohasem okozott. Nagy kihalásnak azt nevezzük, amikor a létező fajok jóval több, mint a fele kipusztul. Ebből következik, hogy szörnyű aránytvesztés áldozatai azok a „zöldek”, akik a nagy kihalások közé sorolják a pleisztocén-holocén átmenetet, a legutóbbi glaciálisból a mai interglaciálisba való átmenetet. Akkor mindössze néhány tucat állatfaj halt ki, azokról is áll a vita, hogy milyen szerepe volt a kihalásukban a felmelegedésnek és milyen a földtörténet leghatékonyabb ragadozója, a fegyverrel vadászó ember megjelenésének. Ez tehát nem is hasonlítható a valóban nagy kihalásokhoz.

A földtörténet során eddig öt nagy kihalásról tudunk, esetleg hatról. Megjegyzendő, hogy ezek nem egyoldalúan katasztrófák voltak, hanem egyben az élővilág evolúciójának fontos lépései. Mindegyikük teret nyitott az élővilág olyan csoportjainak, amelyek előtte elnyomott helyzetben voltak. Nélkülük nem alakult volna olyanná a földi élet, amilyennek most látjuk, nem jutott volna el hozzánk, emberekig.

1–2 milliárd éve „hógolyóvá” fagyott a Föld. A tengerek az egyenlítőig befagytak 1000 m mélyen.

715,5 millió éve, [6] megint „hógolyóvá” fagyott a Föld.

450 millió éve, az ordoviciumban is volt egy 75%-os kihalás. Az okát nem tudjuk, de felmelegedés nem okozhatta, mert egy lehűlési időszak mélypontján történt.

252 millió éve a perm-triász kihalást (nagy kihalást) 40 km körüli átmérőjű kisbolygó becsapódása okozta az Antarktisz mellett, majd a becsapódás következtében az antipóduson létrejött sok millió négyzetkilométeres, sok százezer évig tartó vulkánosság, a szibériai trapp. Az ismert fajok 90%-a, a tengerekben 95%-a halt ki.

Egy új publikáció szerint [7] mintegy 100 millió éve, a triász végén is volt egy kihalás, amelyet nagymértékű vulkánosság okozott, de hogy ez a nagy kihalások közé sorolható-e, az nem világos.

65 millió éve a kréta-tercier kihalást 15 km körüli átmérőjű kisbolygó becsapódása okozta a Yucatán-félsziget peremén, majd a becsapódás következtében az antipóduson létrejött félmillió négyzetkilométeres vulkánosság, a dekkáni trapp. Az ismert fajok 65%-a halt ki.

Láthatjuk tehát, hogy, bár nagyon nagy felmelegedéseket élt át a Föld története során (ennek szélsőséges esetei voltak a felmelegedések a két „hógyó-korszak” végén), a nagy kihalásokat sohasem ezek okozták. A földtörténet arra tanít bennünket, hogy még a legszélsőségesebb felmelegedés sem okozhatja az élővilág nagymértékű kihalását.

Ezzel tehát végezve, rátérhetünk a probléma másik részére.

Milyen klimatikus jövő várható?

Ha nem mi, emberek okozzuk a felmelegedést, akkor az se igaz, hogy amíg üvegházhatású gázokat bocsátunk ki, addig a klíma egyre csak melegszik. De mi várható? Kellő ismeretek híján egyenletet nem tudunk felállítani a klímaváltozásokra. Marad a fenomenológiai módszer. Nézzük meg, mi történt a múltban, és következtessünk abból a jövőre. Három időléptékben érdemes vizsgálódnunk.

Ha több milliárd éves léptékben vizsgáljuk a klímaváltozásokat, azt látjuk, hogy néhány százmillió évenként néhány millió évre jégkorszakba zuhan a klímánk. Erre az jellemző, hogy ilyenkor Földünknek sarki jég-sapkái jelennek meg, amelyek a közbülső százmillió évek alatt hiányoznak. Erről azért érdemes beszélnünk, mert ma is ilyen jégkorszakban élünk, amely 2,5 millió éve kezdődött és várhatólag még legalább 1–2 millió évig eltart. Nagy változás lesz, ha véget ér. A legmegbízhatóbb becslések szerint 66 méterrel emelkedik a tengerszint, ha a Földön található minden jég elolvad. Tudjuk, hogy az emberiség túlnyomó része ennél alacsonyabban lakik, tehát a mai élőhelyeink zöme tenger alá kerül. Nagy változás lesz, de nem végső katasztrófa, hiszen akkor a Föld mindössze visszakerül az alapállapotába. Nagy változás lesz, de ez nem a mi gondunk. Összehasonlításul: fajunk, a *Homo sapiens* faj mindössze 200 ezer éves, nemzetségünk, a *Homo* genus nagyjából kétmillió éves. Kétmillió év múlva születő leszármazottaink gondoljainak legyenek a mi gondoljaink.

Lépjünk három nagyságrendet, és nézzük a klíma történetét egy-két millió éves léptékben! Már belül vagyunk a jelenlegi jégkorszakon. Azt látjuk, hogy ezt az időszakot százvalahányezer éves ciklusok jellemzik, durván százezer éves glaciális és durván harmincezer éves interglaciális szakaszok váltakoznak. Sokak szerint ezt a periodicitást a földpálya excentricitásának a periodikus változása okozza: amikor kicsi az

excentricitás, mint most, interglaciális van, amikor megnő az excentricitás, a Kepler-törvény szerint (a vezető sugár egyenlő idők alatt egyenlő területeket sűröl) több időt tölt a Föld a Naptól távol, mint ahhoz közel, ami lehűlést hoz. Jelenleg egy interglaciális szakaszban élünk, amely nagyjából tízezer éve kezdődött. Még hátra lehet belőle vagy húszezer év. Ha ez elmúlik, és visszatérünk a következő glaciálisba, az durva lesz. Arra számíthatunk, hogy olyan világ alakul ki, mint a legutóbbi, a Würm glaciálisban. 120 méterrel lejjebb száll a tengerszint, a kialakuló jégpajzs pedig Európában az Alpok és a Kárpátok északi lábáig leér, Észak-Amerikában a nagy tavaktól délre, de egy belőle kiinduló jégár leborotválhatja New Yorkot is. A Central Park sziklakibúvásain jól láthatók a jég karcolásai. A jégpajzs Szibériában és a mai Kanadában 3000, Skandináviában 2000 méter vastag lesz. Kemény világ lesz, de megint azt mondhatjuk, hogy ez nem a mi gondunk. Összehasonlításul: az egész emberi magas civilizáció a legutóbbi 10 ezer évben alakult ki, kezdve a földművelés és állattenyésztés feltalálásával, folytatva a kerék, a fémmegmunkálás, az írás feltalálásával és mindennel, ami az óta történt. Húszezer évvel ezelőtti elődeink még nem civilizált emberek voltak, hanem ősemberek. Húszezer év múlva születő leszármazottaink gondoljainak ne legyenek a mi gondoljaink.

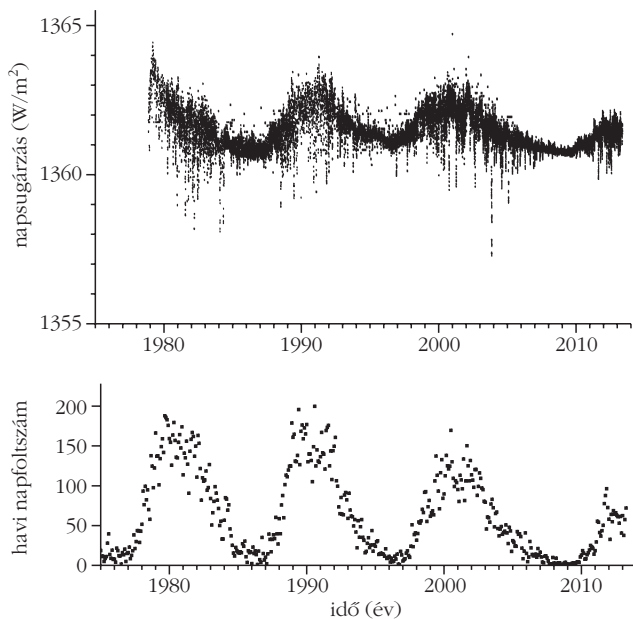
És most megint lépjünk három nagyságrendet! A legutóbbi nagyjából 2000 év klímátörténetét az 1. és a 2. ábráról olvashatjuk le.

Látjuk, hogy 2000 éve, időszámításunk kezdete körül volt egy meleg, a mainál is melegebb időszak. *Hannibálnak* tehát nem okozott akkora nehézséget átkelni az Alpokon, mint ahogy azt a klíma változatlanságában hívő történelemtanárok tanítják.

Ezt a meleg időszakot a népvándorlás korában egy hosszú hideg időszak követte. Nem zárható ki az a feltételezés, hogy talán éppen ez a lehűlés indította el a népvándorlást.

1000 éve ezt megint a mainál melegebb időszak követte. Valójában erről a meleg időszakról már a paleoklimatológia kialakulása előtt is tudtunk. Ebben az időszakban, 1000 körül fedezték fel a viking hajósok Grönlandot, és ekkor nevezték el Grön Landnak, Zöld Földnek, mert szépen zöldellő réteket találtak rajta. *Pártai Lúcia* meteorológus nyilvános szóbeli közlése szerint egy korabeli feljegyzés arról szól, hogy a 990-es évek egyikében olyan forró volt a nyár, hogy Európa minden folyója kiszáradt.

Megint hosszú hideg időszak következett, amely becenevet is kapott: kis jégkorszaknak hívjuk. Tanultuk, hogy ebben az időszakban, az 1241–42-es télen (valószínűleg már 1242 januárjában) a tatárok egy hadicsel után a Duna jegén keltek át a jobb partra. 1458. január 28-án, történelmünk első politikai tömegtüntetése során a rákosi vásártérről oda áramló vásárosok a Duna jegén követelték *Hunyadi Mátyás* királlyá választását a Várban ülésező nagyuraktól. Mégpedig közvetlenül a Vár tövében, a jobb part közelében, ahol hóforrások sora gyengíti a jeget. Akkor



3. ábra. Kapcsolat a nemzetközi napfoltszám és a Napból érkező sugárzó energia között [8].

mégis bírta őket. A mai klíma mellett ez lehetetlen lenne. Az 1600-as években kedvenc témájuk volt a németalföldi festőknek a csatornák, folyók, tavak jegén korcsolyázók megfestése. Ott, ahol ma telente többet esik az eső, mint a hó.

Ez után, a legutóbbi három évszázadban megint melegszik a klíma.

Látjuk tehát, hogy a Föld globális klímája határozott periodicitást mutat, lehűlések és felmelegedések váltakozásával. Ebből egyetlen tudományosan megalapozott következtetés vonható le: az, hogy a mai meleget is lehűlés követi majd.

Összegezve: A globális fölmelegedés akkor se okozna katasztrófát, ha sokáig tartana, de ráadásul arra kell számítanunk, hogy a felmelegedés előbb-utóbb véget ér, és lehűlés követi. Vagyis minden tudományos alapot nélkülöz az a sokat hangoztatott kijelentés, hogy a klímánkat meg kell védenünk. A klímát nem tudjuk megvédeni és nincs miért megvédenünk.

A naptevékenység szerepe

A kis jégkorszak egy sajátosságáról eddig még nem esett szó. Ebben a hideg időszakban három alkalommal is évtizedekre, több napciklus idejére eltűntek a Nap felületéről a napfoltok, 1280-tól 1350-ig a *Wolf-minimum*, 1450-től 1550-ig a *Spörer-minimum* és 1645-től 1715-ig a *Maunder-minimum* idejére. Közülük a harmadik már a távcsöves megfigyelések korára esik. A kis jégkorszak idején három ilyen hosszú naptevékenységi minimum is volt, azóta egy sem. (A még korábbiakról nincs tudásunk, akkor még nem figyelték, nem ismerték a napfoltokat.) Ez azt a sejtést alapozza meg, hogy összefüggés van a naptevékenység és a földi klíma alakulása között. Ezt a sejtést erősíti, hogy a XX. század egy kivételével (1939–40) min-

den szokatlanul hideg tele a naptevékenységi minimumok környékére esett, és ez igaz a XXI. század eddig egyetlen szokatlanul hideg telére, a 2009–10-es telre is.

A 3. ábra ezt a sejtést bizonyossággá változtatja.

Az ábra a naptevékenység mértékét jól jellemző nemzetközi napfoltszám és a Napból érkező sugárzó energia korrelációját ábrázolja. Bár a szerzők a korrelációs együtthatót nem számították ki, a grafikon ránézésre is igen erős korrelációt mutat a két mennyiség között. Másrészt viszont a Napból a Földre érkező sugárzó energia egyértelműen meghatározza a földi klímát. Kimondhatjuk tehát: A föld globális klímáját a naptevékenység mértéke határozza meg.

A teljes igazsághoz tartozik, hogy a grafikonon publikált ezt nem mondják ki. Sőt, lebecsülik a naptevékenység hatását a földi klímára, mondván, hogy a Napból érkező sugárzó energia mindössze egyetlen ezrelékkel változik a naptevékenységi ciklus során. Igen, egy naptevékenységi ciklus során csak egy ezrelékkel változik, és ez nem is hoz klímaváltozást, mindössze a hideg tél létrejöttének a valószínűségét befolyásolja. A kis jégkorszak során észlelt három hosszú, több évtizedes naptevékenységi minimum azonban, amelyek a fölmelegedés idején már nem ismétlődtek meg, azt jelzik, hogy a naptevékenység több évszázados változásai nagyon sokkal erősebbek, mint az egy cikluson belüli változásai. Így ezek már elegendőek a klímaváltozások előidézéséhez.

Mikor?

A következő kérdés ezek után az, hogy meddig tart a felmelegedés, mikor kezdődik az azt követő lehűlés.

Az 1. és a 2. ábráról 1000 éves periodicitás olvasható le. Ha ez igaz, küszöbön van a felmelegedés vége, a lehűlés kezdete. A lehűlés mélypontja pedig a 2. ábrán látható évezredes lassú lehűlési tendenciából (fekete szaggatott vonal) következtetve hidegebb lehet majd, mint a késő középkori kis jégkorszaké.

Csak hogy a 4200 évvel ezelőtti meleg időszak azt sugallja, hogy a periódus talán mégis hosszabb 1000 évnél. Igaz, akkor hiányzik egy maximum a 4200 évvel ezelőtti és a 2000 évvel ezelőtti között. Tényleg hiányzik? Bár csak közvetett információnk van róla, úgy tűnik, hogy nem.

Weiss, H. [9] arról számol be, hogy a történelem során bizonyos birodalmak, kultúrák pusztulását időjárás rendellenességek okozták. Felsorolásából csak azokat válasszuk ki, amikor a pusztulást „évszázados aszály”, vagyis sok évtizedig tartó aszály okozta. Már láttuk az egyiptomi Óbirodalom sorsából, hogy ez voltaképpen meleg időszakot jelent. A szerző hét ilyen esetet sorol fel, közülük hat ismert időpontokra esik. I. e. 2200 körül „évszázados aszály” okozta az Akkád birodalom vesztét. Ráismerünk: ez ugyanaz a meleg időszak, amely az egyiptomi Óbirodalom bukását is okozta. I. e. 1100 körül „évszázados aszály” okozta mind az egyiptomi Újbirodalom, mind annak

legnagyobb ellensége, a Hettita birodalom pusztulását, emellett a legrégebb görög magaskultúra, a műkénéi pusztulását is, azét a kultúráét, amelyről Homérosz eposzai szólnak. Ez közvetett bizonyíték arra, hogy 3100 évvel ezelőtt is volt egy meleg időszak. Végül i. sz. 900 körül „évszázados aszály” okozta a Maja birodalom pusztulását és Kínában a Tang dinasztia vesztét. Ez már az 1000 évvel ezelőtti meleg időszak bevezető szakasza. Más forrásból egyébként tudjuk, hogy cseppköveken végzett mérések szerint a Maja birodalom területén a legszörnyűbb aszály később, 1020-tól 1100-ig pusztított, csakhogy akkor a már elpusztult birodalomból megmaradt lakosság utódait sanyargatta.

Meleg időszak volt tehát 4200 éve, 3100 éve, 2000 éve és 1000 éve. Lehet, hogy korábban 1100 éves volt a periodicitás és ez időszámításunk kezdete óta lerövidült 1000 évre? Lehet. De az is lehet, hogy az 1000 és 1100 körül látható kettős csúcshól a második az igazi, továbbra is 1100 évtől a periódusidő, és még hátravan 200 évünk a felmelegedésből. Meg az is lehet, hogy megismétlődik az említett kettős csúcs, még száz évig melegszik a klíma, aztán még további száz év, mire megkezdődik a lehűlés.

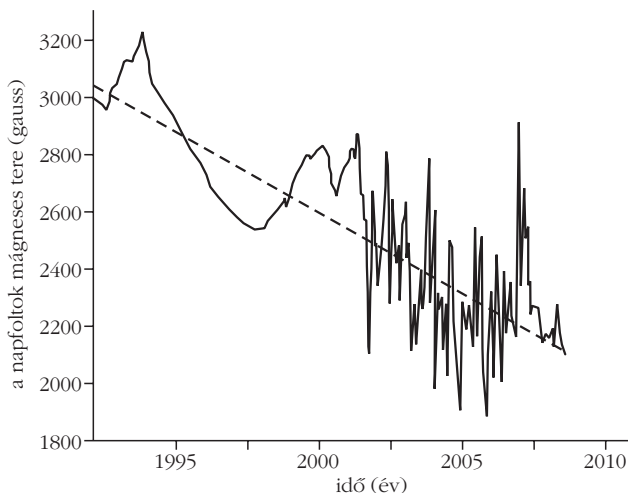
Összefoglalva: Az elmúlt 4200 év klímaváltozásaitól az valószínűsíthető, hogy kétszáz éven belül véget ér a globális felmelegedés és megkezdődik a lehűlés. Azt azonban, hogy ezen a kétszáz éven belül mikor, kellő információ hiányában nem tudjuk meghatározni.

Két elgondolkasztó jel

2009-ben jelent meg a 4. ábrán látható megdöbbentő grafikon [10], amely a napfoltok mágneses terének a változását mutatja a 2009-cel végződő húsz évben.

Mint látható, a mért érték folyamatosan és drasztikusan csökken. Ha ez a csökkenés így folytatódik, akkor 2020-ra eléri azt az 1500 gaussos határt, amely alatt napfolt nem képződhet. Akkor pedig beleszaladunk egy olyan több évtizedes naptevékenységi minimumba, amelyet a kis jégkorszakban hármat is látunk. Ez minden bizonnyal lehűlést hoz. Azt jelenti ez, hogy véget ér a globális felmelegedés és megkezdődik a globális lehűlés? Jelentheti azt is. Lehetséges azonban az is, hogy a felmelegedés csak megtorpan, aztán nekilendül újra. Kevés a tudásunk ennek a biztos eldöntéséhez. Ki kell várnunk, mit hoz a jövő, anélkül, hogy túlzottan rövid időszakokból távlati következtetést vonnánk le.

2009 óta folytatódik a naptevékenység csökkenése? Úgy tűnik, igen. 2010 januárjában befejeződött a megfigyelések kezdete óta leghosszabb és legmélyebb naptevékenységi minimum, amelynek során 821 napfoltmentes nap volt (2009-ben több, mint 70%), szemben a minimumok során átlagosnak számító 486 nappal. 2013 a naptevékenységi maximum éve, ehhez képest megdöbbentően alacsony a naptevékenység. 2013 februárjában például 50 alatt volt a havi átlagos nemzetközi napfoltszám. Megdöbbentően, de egyelő-



4. ábra. A napfoltok mágneses terének változása 20 év alatt [10].

re nem példátlanul alacsony. A XIX. század elején két maximumban is 50 körül volt a nemzetközi napfoltszám, aztán egy harmadikban is nagyon alacsony volt, a negyedikre normalizálódott. Lehet, hogy most is ez ismétlődik meg, lehet, hogy nem. Az akkori alacsony napfoltszám egyébként meg is látszik az 1. ábrán. A XIX. század elején megtorpan a melegedés, újabb jeleként a naptevékenység és a földi klíma közötti összefüggésnek. Hogy a 4. ábrán látható csökkenés akkor is észlelhető volt-e, nem tudhatjuk, akkor még nem voltak olyan nagy felbontású napteleszkópok, amelyekkel az egyes napfoltok mágneses terét egyenként mérni lehetett volna.

Ez a naptevékenység-csökkenés mindenesetre felhívja a figyelmünket arra, hogy a három évszázada észlelt globális felmelegedés nem feltétlenül folytatódik napjainkban.

„Miért nőtt meg az antarktikus tengeri jégborítás a klímaváltozás hatására?” – ez a címe a brit antarktisz-kutató szervezet 2012 végén megjelent sajtójelentésének [11]. A sajtójelentésből megtudjuk, hogy műholdas mérések szerint az Antarktisz körüli téli jégtakaró kiterjedése az utóbbi húsz évben növekedett. Ez a húsz év egyrészt egybeesik azzal a húsz évvel, amely alatt a naptevékenység drasztikusan csökkent, másrészt egybeesik azzal az időszakkal, amelyben évről évre pánikszzerű jelentéseket olvashatunk arról, hogy az Arktiszon a nyári jég kiterjedése már megint kisebb, mint az előző évben. Egyébként a sajtójelentés szerint a nyári jég kiterjedése az Antarktisz körül is csökkent. Mint a címből kiolvasható, a sarkkutatók a téli jég kiterjedésének a növekedését a globális felmelegedésnek tulajdonítják. Azt magyarázzák, hogy a felmelegedés miatt megváltozott a széljárás, és ettől nő a téli jég kiterjedése. Nem igazán meggyőző érvelés. Sokkal valószínűbb, hogy a naptevékenység drasztikus csökkenésének a hűtő hatását látjuk.

Lehetséges, hogy a lehűlés télen észlelhető, nyáron még nem? Igen, lehetséges. A 11 éves naptevékenységi félévközi klimatikus hatását is a hideg telek megnövekedett valószínűségén látjuk, a nyarakon meg nem észleljük. Lehetséges, hogy a kezdődő lehűlés a

déli féltekén észlelhető, az északin még nem? Igen lehetséges. A földtengely mai állása szerint az északi félteke telén, a déli nyarán vagyunk legközelebb a Naphoz, az északi félteke nyarán, a déli telén vagyunk legtávolabb tőle. Ez az északi féltekén csökkeneti, a délin növeli a tél és a nyár közötti hőmérséklet-különbséget. A déli félteke így érzékenyebb lehet egy kezdődő lehűlésre.

Úgy tűnik tehát, hogy a naptevékenységnek az utóbbi húsz évben tapasztalható drasztikus csökkenése máris hozott egy olyan lehűlést, amely még csak a legérzékenyebb ponton vehető észre. Ugyanakkor ebből a publikációból is látszik, hogy még a tudományos kutatóknak is nehezükre esik elszakadni a közvélekedéstől, hogy a felmelegedést mi, emberek okozzuk, és amíg üvegházhatású gázokat bocsátunk az atmoszférába, addig a globális klíma melegszik, és minden időjárási változás ennek a következménye.

Azért vigyázzunk, tartsuk magunkat ahhoz, hogy túl rövid időszakokból ne vonjunk le következtetéseket a hosszú távú klímaváltozásokra. Ami lehetséges, az nem biztos, hogy való is.

KÉRDÉS VÁLASZ NÉLKÜL

Meglepődve (megdöbbenve!) olvastuk Csörgő Tamás tavaly tartott előadásának írott változatát a *Fizikai Szemle* 2013/6 számában (a 205. oldalon). A szerkesztő maga is feltette a kérdést, vajon miért A FIZIKA TANÍTÁSA rovatba került a közlemény, de választ az írásból nem sikerült kiolvasnunk. A cikk első részében a szakasz címe szerint a szerző tudományos kutatásairól kíván rövid összefoglalást nyújtani. Ehelyett tárgyi tévedésektől sem mentes, dagályos önreklámozást kap az olvasó.

A tudományos eredmények jelentőségének megvitatása szakmai fórumokra tartozik, nem is azért fogtunk íráshoz. Írásának második részében a szerző kifejti, hogy eredményeit mennyire nem értékeli hazájában, bezzeg a nagyvilágban! A sértett hangvétel mellett nem mehetünk el szó nélkül, mert a szakmai tapasztalatokkal nem rendelkező olvasóközönség és főként a fiatalok körében azt a téveszmét keltheti, hogy hazánkban nem érdemes kutatással foglalkozni, nem lehet vele elismerést szerezni. Határozott ellenvéleményünket kívánjuk kifejezni mind a megbírált kutatói közösség, mind a *Fizikai Szemle* Szerkesztőbizottságának tagjaiként.

Véleményünknek két vonatkozása van. Egyrészt tudományometriai eredményei bemutatásakor a szerzőnek sokkal szerényebbnek kellene lennie. Csörgő Tamás kétségtelenül nagyon termékeny kutató, azonban munkáinak közel fele nagy nemzetközi együttműködések terméke, hivatkozásainak háromnegyede ezekre a közleményekre érkezett. Az ilyen együttmű-

Irodalom

1. Behringer, W.: *A klíma kultúrtörténete*. Corvina Kiadó, Budapest 2010, Idézi: Berényi D., *Természet Világa*, 142/3 (2011) március, <http://www.termeszetvilaga.hu/szamok/tv2011/tv1103/berenyi.html>
2. Esper, J. et al., *Nature Climate Change*, 8 July 2012. <http://www.uni-mainz.de/eng/15491.php>
3. Knorr, W., *Geophys. Res. Lett.* 36 (2009) 21. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2009GL040613/abstract>
4. Kopp, R. E. et al., *Nature* 462 (2009) 863–867. <http://www.nature.com/nature/journal/v462/n7275/full/nature08686.html>
5. Cyranoski, D., *Nature News*, 23 April 2013. <http://www.nature.com/news/japanese-test-coaxes-fire-from-ice-1-12858>
6. Cohen, P. A. et al., *Harvard Gazette*, Nov. 19 2009. <http://news.harvard.edu/gazette/story/2010/03/scientists-find-signs-of-snowball-earth>
7. Blackburn, T.J. et al., *Science Express*, March 21 2013. <http://www.sciencemag.org/content/early/2013/03/20/science.1234204>
8. NASA, *The Effects of Solar Variability on Earth's Climate: A Workshop Report*. The National Academies Press, 2012, ISBN-10: 0-309-26564-9, ISBN-13: 978-0-309-26564-5, http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2013/08jan_sunclimate/
9. Weiss, H., *New Scientist*, 06 August 2012.
10. Livingston, W.; Penn, M., *Eos* 90 (2009) 30. <http://www.leif.org/EOS/2009EO300001.pdf>
11. British Antarctic Survey Press Release (2012): http://www.antarctica.ac.uk/press/press_releases/press_release.php?id=1967

kodésekben nem lehet csak a tudományometriai mutatókra hagyatkoznunk, mert félrevezetőek lehetnek. Tudnunk kell az együttműködő munkatársak véleményét is. Nagy nemzetközi kutatócsoportokban mindig lehet tudni, kik az igazi húzóemberek és kik azok, akik egy-egy részfeladat megoldásával járulnak hozzá a nagy egészhez (ami szintén fontos és szép feladat!). Az igazi húzóemberek kapják általában a kiemelt vezetési feladatokat az együttműködésben, például valamely adatiértékelési terület tevékenységének összehangolását. Noha a <http://phenix.elte.hu/szerepunk> oldalon sok szép elismerésről olvashatunk, egyetlen ilyen vezetői feladat ellátásáról sem találunk hiteles adatot, ami megkérdőjelezi, hogy a PHENIX-ben a magyar hozzájárulás meghatározó lenne. (A CERN CMS együttműködésében például van nem egy ilyen kiemelt feladattal megbízott magyar résztvevő.)

Véleményünk másik része, hogy Csörgő Tamás Magyarországon elismert tudós, az MTA doktora, 2013-ban akadémikusnak jelölték. Hazai tudományos elismertsége lényegesen nagyobb, mint a nemzetközi. Itthon számos díjjal tüntették ki, a legutóbbi az egyik legnagyobb elismerésnek számító Charles Simonyi ösztöndíj, amelynek elnyerése kapcsán írását közzétette. Kutatási pályázatainak nyerési hányada nem rosszabb a hazai átlagnál. Például az OTKA-ban forráshiány miatt az elmúlt évtizedben az alig 10%-os nyerési esély volt általános. A nagy elismertségnek örvendő Lendület pályázatok esetén szintén hasonló a nyerési arány. (Nem jobb a helyzet a Európai Unió

által kiírt pályázatok esetén sem.) Tehát a minden hatodik pályázat támogatása nem nevezhető átlag alattinak. Különösen nem, ha a tényekre szorítókunk. Az OTKA nyilvános adatbázisa szerint, amely a 2000-es évek eleje óta elnyert OTKA pályázatok adatait nyilvánosan hozzáférhetővé teszi, Csörgő Tamás vezetése alatt a következő pályázatokat találjuk:

38406 Csörgő Tamás, MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont (RMI – Elméleti Osztály), 2002-01-01–2005-12-31: Kísérleti adatok elméleti értelmezése és elméleti jóslatok kísérleti vizsgálata a nagyenergiás nehézion-fizikában, 13 980 eFt.

49466 Csörgő Tamás, MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont (RMI – Elméleti Osztály), 2005-01-01–2009-12-31: A nehézion-ütközésekben létrehozott új anyag tulajdonságainak vizsgálata, 18 330 eFt.

73143 Csörgő Tamás, MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont (RMI – Elméleti Osztály), 2008-04-01–2011-04-30: Nehézion-fizikai és részecskefizikai kutatások a PHENIX/RHIC és a TOTEM/LHC kísérletekben, 52 000 eFt.

101438 Csörgő Tamás, MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont (RMI – Elméleti Osztály), 2012-01-01–2015-12-31: A QCD kritikus pontjának és új tartományainak

keresése a RHIC gyorsító PHENIX és az LHC gyorsító TOTEM kísérletében, 95 692 eFt.

Láthatjuk tehát, hogy a szerzőt az OTKA folyamatosan (olykor átfedéssel) nagy összegű pályázatokkal támogatta. (Emlékeink szerint a szerző 2011-ben tartósan külföldön tartózkodott.) A cikk szerint nem csak az OTKA volt az adott időszakban az egyetlen támogató, úgyhogy nyugodt lelkiismerettel állítjuk, ilyen kiugró támogatással kevés kutató rendelkezik hazánknak abban a részében, amelyre rálátásunk nyílik.

Természetesen a pályázati eredményesség céltudatos pályázati tevékenységgel javítható. A pályázónak gondosan mérlegelnie kell, hogy vajon jó helyre nyújtja be pályázatát, kellő gondossággal van-e összeállítva, megvalósítható-e a tudományos célkitűzés, nem túlzó-e a pénzügyi terv. Mielőtt a szerző bírálói rosszindulatot sugall, nem árt (sík)tükörbe nézni, és meggyőződni róla, vajon az adott pályázat valóban neki van-e kiírva.

Gratulálunk Csörgő Tamásnak a Charles Simonyi ösztöndíjhoz! Egyben kérjük, tudását, tapasztalatát és energiáját maga és csoportja előtérbe helyezése, gonosz erők munkájának sugalmazása helyett a magyar fizikai kutatások elősegítésére próbálja használni.

Trócsányi Zoltán, Horváth Dezső

KÖNYVESPOLC

TERMÉSZET VILÁGA: A MI VILÁGUNK

Bencze Gyula
MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont
Részecske és Magfizikai Intézet

A Tudományos Ismeretterjesztő Társulat *Természet Világa* folyóirata nem szorul bemutatásra a *Fizikai Szemle* olvasói számára. A „messziről jöttek” kedvéért röviden csak ennyit: a világ egyik legrégebb tudományos ismeretterjesztő folyóirata, a tekintélyes brit *Nature* folyóirattal egy időben, annak megjelenését 10 hónappal megelőzve, 1869-ben jött létre a *Természettudományi Közlöny*, hogy „a természettudományi ismereteket terjessze a művelt magyar közönségnek”. A neves fizikus, *Szily Kálmán* alapította, aki akkor a Királyi Magyar Természettudományi Társulat főtitkára volt. A jogutód *Természet Világa* folyóirat címlapján, alcímében ma is őrzi a lap alapításkori nevét.

A *Természet Világa* az alapítója célkitűzéseit követve, a természettudományos kultúrát terjeszti hazánkban, magas színvonalú, nyelvileg is igényes, népszerű tudományos írásokkal. Szétparcellázódó világunkban a tudományterületek közötti információcserét segíti. Szerzői között egykoron és ma is megtalálható a magyar természettudományos-műszaki értelmiség legjava. A folyóirat munkáját 27 fős, neves kutatókból álló szerkesztőbizottság segíti. Szerkesztőbizottsága élén az el-

múlt két évtizedben *Szentágothai János*, *Császár Ákos*, *Gergely János* akadémikusok álltak, jelenleg *Vizi E. Szilveszter* az elnöke. A folyóirat szerkesztői a természettudományok területén megszerzett egyetemi diplomával rendelkező tudományos újságírók.

A lap közérthetően tájékoztat a természettudományok és a technika legújabb eredményeiről, és bemutatja a tudományt művelő embert is. A szerkesztőség különös gondot fordít arra, hogy az érdeklődő fiatalok figyelmét a műszaki és a természettudományok felé irányítsa, cikkpályázatokkal kisebb-nagyobb alkotómunka elvégzésére ösztönözze. A *Természet Világa* 1991 óta egy 16 oldalas természettudományos diáklapot „működtet”, amelyet tehetséges középiskolások írnak. Ez egyedülálló Európában. E cikkpályázat abban különbözik minden más tehetségkutató versenytől, hogy itt a diákoknak a tudásukról érthetően, szép magyarsággal megírt cikkekkkel kell számot adniuk. Később, ha kutatókká válnak, ez az ismeretátadó tudás fontos lehet majd számukra.

A *Természet Világa* ma már a hazai tudományos ismeretterjesztés egyik alapvető intézményévé vált.

Ennek ellenére csak kevesen figyeltek fel arra, hogy idén április 26-án, a Szellemi Tulajdon Világnapja alkalmából a folyóirat Millenniumi Díjat¹ kapott a Budapest Music Centerben tartott ünnepségen. A millennium évében a Magyar Szabadalmi Hivatal (mai nevén a Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala) által alapított díjat a szellemi tulajdon védelmében fontos szerepet játszó intézmények nyerhetik el. Az idei nyertesek között van – a *Természet Világa* mellett – a fizikus közösség nagy öröme az ELTE Környezetoptikai Laboratóriuma is. Az ő díjukat a laboratóriumot 2008-ban alapító

Horváth Gábor vette át. A *Természet Világa* hűséges olvasói még kiskunhalasi diákként emlékezhetnek rá, aki megnyerte a folyóirat *Ki mit vesz észre?* fizika megfigyelési versenyét. Fizikusként végzett, majd rövidesen a *Természet Világa* szerkesztőbizottsága tagjává fogadta. Az ELTE docense, a lap állandó szerzője, diák-pályázatának segítője lett. Ez nagyszerű példája annak, hogy a szellemi műhelyek hogyan segíthetik egymást alkotó kapcsolatuk révén. Bizonyára sokan emlékeznek arra, hogy a *Természet Világa* 2004-ben elnyerte a Magyar Örökség és Európa Egyesület Magyar Örökség-díját is.

A lap folyamatosan szolgál érdekességekkel a tudományok és a tudományos ismeretterjesztés témaköréből, Nobel-díjas fizikusok sora – *Paul Dirac, Carlo Rubbia, Steven Weinberg, Zsorez Alfjorov, Kostya Novoselov* stb. – adott interjút a lap munkatársainak. Érdekességként érdemes kiemelni, hogy a folyóiratot alapító Szily Kálmán dédunokájának, a brazíliai São Pauló-i Állami Egyetem fizikaprofesszora, *Lépine-Szily Alinka* munkásságával a *Természet Világából* ismerkedhettek meg első kézből a hazai olvasók (2011. 5. szám). A neves tudóst 2010-ben a Magyar Tudományos Akadémia Arany János éremmel tüntette ki. Érdeemes felidézni, hogyan beszélt erről a *Természet Világának*: „Természetesen nagy megtiszteltetésnek tartom. Amikor e-mail üzenetben megérkezett ennek a híre a Magyar Tudományos Akadémiától, felhívtam ottani legjobb barátomat, és megosztom vele az örömet. Erre nagy felhajtást csináltak, díszvacsorát adtak tiszteletre São Paulóban, a Magyar Házban. Nagyon sokan

gratuláltak, az ország más részeiből is eljöttek a barátaim. Megható volt, amilyen kedvesen, együtt örülve ünnepelték meg az Arany János-díjamat. Az elismerés váratlanul ért, mert igaz, hogy együttműködöm a debreceni fizikusokkal, részt veszek nemzetközi bizottságok munkájában, mégsem hittem volna, hogy odahaza erre odafigyelnek.” A történet csattanójaként *Lépine-Szily Alinkát* májusi közgyűlésén a Magyar Tudományos Akadémia külső tagjává választotta.

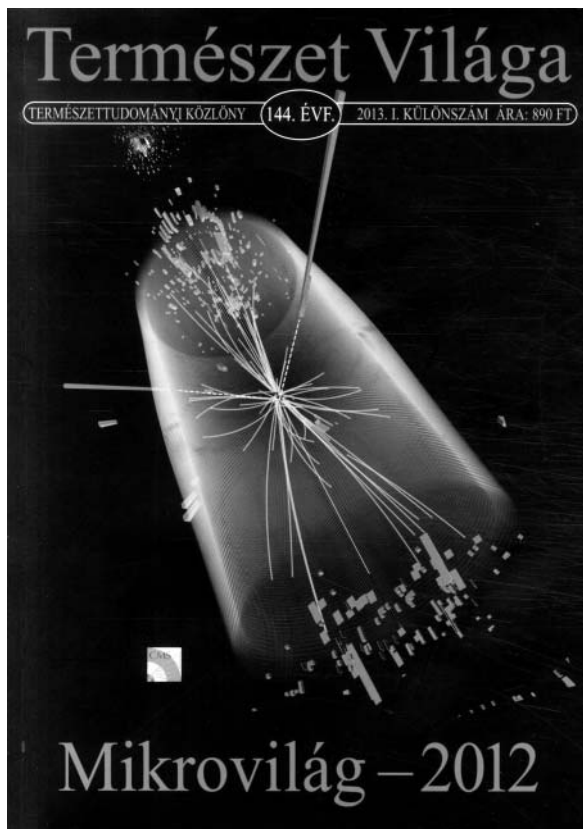
Részletes méltatás és dicséret helyett inkább arra hívjuk fel a figyelmet, hogy a folyóirat alapszámain kívül

évről évre megjelent tematikus különszámokat a fizikai kutatásokról. Megemlíthető itt a legutóbbi *Mikrovilág* – 2012 különszám és a 2000-ben megjelent elődje, avagy a legendás műegyetemi professzor, *Simonyi Károly* két kiadásban is napvilágot látott *A magyarországi fizika kultúrtörténete* című műve. A folyóirat ma is keresett különszámait a 2005-ben megjelent *A fizika százada* és a 2011-es *Emberközelben a fizika* – KFKI-60 is.

Az élet azonban megy tovább, és a lapnak is állandóan új eseményekre kell reagálnia, ha önként vállalt feladatát be akarja tölteni. Ami most a fizikus szakmai közösséget leginkább érdekli, az a 2012. decemberi számban megjelent cikk *Tél Tamás* professzor tollából, amelynek címe: *Milyen tudomány a fizika? Amit minden középiskolásnak*

*tudnia kellene.*² A kiváló fizikus az új NAT kapcsán fejt ki gondolatait a fizikáról és annak oktatásáról. A cikk nagy vitát váltott ki, amelyben megszólaltak a „tudomány tudományának” (science studies) hazai szakértői, a NAT egyik megalkotója, valamint neves fizikus és biológus kutatók is. A fizikus szakmai közösségnek feltétlenül érdekes lesz a vita, amelyben különböző szempontok („paradigmák?”) koccannak össze. A részletek ismertetése helyett ajánlatos a lap 2012. decemberi, valamint ez évi márciusi és májusi számainak elolvasása.

Nos, akárhogy is alakul majd a fizika oktatása és a NAT, az olvasók biztos számíthatnak arra, hogy a *Természet Világa* továbbra is nyomon követi a tudományok, köztük a fizika fontos eredményeit és eseményeit és terjeszti az ismereteket a legmagasabb szinten és a legszélesebb körben!



¹ A Millenniumi Díj *Pataki Mátyás* és *Weichinger Miklós* ötvöszobrászművészek alkotása.

² www.termeszetsvilaga.hu/szamok/tv2012/tv1212/tel.pdf

NAGY IMRE, 1931–2012

Az egykori MTA Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet Fémkutatási Osztályának nyugalmazott tudományos főmunkatársa, Nagy Imre 2012. április 2-án, életének 81. évében elhunyt.

Nagy Imre az ELTE-n szerzett fizikus diplomát 1955-ben. Már diplomamunkásként bekapcsolódott a Központi Fizikai Kutatóintézetben Pál Lénárd mellett az akkor létrehozott Ferromágneses Osztályon induló mágneses kutatásokba, diplomamunkáját itt készítette el ferromágneses anyagok mikrohullámú viselkedése témakörben. A diploma megszerzése után mindvégig a KFKI-ban dolgozott és innen vonult nyugdíjba 1990-ben.

Kutatói pályája kezdeti időszakában alkalmazott kutatási téma kidolgozásában vett részt, a feladat mágneses memória céljára alkalmas ferritek fejlesztése és vizsgálata volt.

A fenti program befejeztével fémötvezetek rend-rendezetlen fázisátalakulásának vizsgálatára tért át, amelynek során Nagy Elemérrel dolgozott együtt. Időközben felvették önálló aspiránsnak. 1967-ben nyújtotta be és védte meg kandidátusi disszertációját, amely a Cu_3Au rendszer rendeződési folyamatainak kinetikai vizsgálatáról szólt, különös tekintettel a kristályhibák szerepére. Az ezen a területen kifejtett eredményes tevékenységét 1972-ben KFKI Intézeti Díjjal ismerték el. E téma szerves folytatásaként másodrendű fázisátalakulások kritikus jelenségével kezdett el foglalkozni ismét Pál Lénárddal együtt.

Ebben a témakörben 1973-ban 6 hónapot az USA-ban, a Brookhaven National Laboratoryban töltött ENSZ-ösztöndíjjal.

Hazatérése után az USA-ban szerzett tapasztalatok alapján amorf mágneses anyagok vizsgálatával kezdett foglalkozni Tarnóczy Tivadarral együttműködve. Kezdetben a buborékmémória szempontjából ígéretesnek tűnő átmeneti fém – ritkaföldfém amorf vékonyrétegek előállítása és vizsgálata volt az érdeklődésük középpontjában. 1977 folyamán bekapcsolódtak az akkor indult fémüveg téma keretében a gyors-hűtéssel előállított amorf mágneses ötvözetek vizsgálatába, különös tekintettel ezen metastabil rendszerek termikus stabilitásának termomágneses mérésekkel történő tanulmányozásába. Ezen a témán Hargítai Csabával is szorosan együttműködött és nyugdíjba vonulásáig azután ez lett a tevékenységének meghatározó területe. Részt vett két belföldön rendezett nemzetközi konferencia szervezésében (*Conference*

on Metallic Glasses, Budapest, 1980; *6th Conference on Soft Magnetic Materials*, Eger, 1983), majd 1986-ban meghatározó kezdeményezője és szervezője volt a balatonfüredi *Amorphous Magnetism* nemzetközi szimpóziumnak.

Kutató pályájának utolsó korszakában az általa korábban épített Faraday-típusú érzékeny mágneses mérleggel végzett velem együttműködve méréseket paramágneses amorf ötvözetek mátrixában hőkezelés hatására megjelenő kis mennyiségű mágneses kiválások tanulmányozására. Ezzel a módszerrel unikális módon ki tudtuk mutatni a Zr-Ni típusú fémüvegekben hidrogénezés hatására végbe menő fázisszegregációt a mágneses Ni-dús tartományok detektálásán keresztül. Ebben az időszakban az OTKA-támogatással létrejött *Budapesti Anyagtudományi Műszerközpont Oktató Műhely Füzetek* sorozatához megírta Tarnóczy Tivadarral közösen a *Mágneses mérések I.* című füzetet.

Három és fél évtizedes kutatói pályafutása során a fenti témákkal kapcsolatban elért eredményeiről a kezdeti időszak magyar nyelvű közleményei után 23 nemzetközi folyóiratcikk, valamint 10 konferenciaközlemény jelent meg, amelyekre közel 300 hivatkozást kapott (ezek listája a volt Fémkutatási Osztály honlapján érhető el: <http://www.szfki.hu/HU/metalsres>). Számos előadást tartott elsősorban mágneses témájú nemzetközi konferenciákon. Eredményei közül kiemelésként érdemes a kandidátusi értekezése a Cu_3Au ötvözet rendeződési folyamatairól, a Ni fémbe fellépő mágneses fázisátalakulással kapcsolatos kritikus jelenségekről szóló dolgozatok, a Co-Gd amorf vékonyrétegekben lejátszódó mágneses doménfallozgatás videómagnós vizsgálati módszerének kidolgozása és az eredmények bemutatása az *International Conference on Magnetism* című konferencián (Amszterdam, 1976), illetve a fémüvegek fizikai tulajdonságainak és gyártási paramétereinek kapcsolatáról szóló előadás az 1986-ban Hyderabadban tartott *Metallic and Semiconducting Glasses* című konferencián.

Kollégái egy problémákra nyitott, hozzáértő és segítőkész munkatársnak tartották és a kutatói pályája utolsó időszakában történt együttműködésünk során én is ezt tapasztaltam. A mintegy 60 évvel ezelőtt a KFKI-ban induló mágneses kutatások egyik első művelőjeként emlékezünk rá és igyekszünk megőrizni ezt a szakmai kultúrát a jövőben is.

Bakonyi Imre



TAR DOMOKOS, 1932–2013

Tar Domokos 1932-ben született a Székelykeresztúr melletti Fiafalván. Gimnáziumba 1949-ig Székelykeresztúron járt, de 1952-ben Kecskeméten érettségizett. 1952 és 1956 között a budapesti Eötvös Loránd Tudományegyetem fizikus hallgatója volt, ám fizikus diplomáját az ETH-nál állították ki Zürichben.

Innen kezdve pályafutása földrajzilag egyhangú, munkahelyei mindvégig svájciak voltak. Három évig a Brown–Boveri badeni félvezető fejlesztésén, hét évig a Battelle Memorial Institute ferroelektromosság és fotovezetők kísérleti laboratóriumában Genfben, végül 25 évig, nyugdíjazásáig a Cerberus AG mánedorfi kutató laboratóriumában lángdetektorok fejlesztésével foglalkozott. A fotovezetés tanulmányozásának eredményességéről cikkek, konferencia-előadások tanúskodnak. A lángdetektorok fejlesztéséről is van egy tucatnyi publikációja, de itt szabadalmai háttér szabtak a közlékenységnek.

1993-as nyugdíjba vonulásakor így foglalta össze kedvteléseit: *Gömbvillámok és fúziós reaktorok tanulmányozása, hegyi túrázás, fényképezés, barkácsolás*. Az utolsó kettő nyilván megvalósult, hiszen mindenki csinálja, olyanok is, akik nem töltöttek 35 évet kísérletezéssel. A hegyi túrázáshoz Svájc nem rossz terep, és Domokos még tavaly sem tett le arról, hogy hetente legalább kétszer el ne sétáljon ezer méterrel magasabban fekvő célpontjához.

A fúziós reaktorokat és a gömbvillámokat a plazmafizika köti össze. „A gömbvillám hasonló jelenség lehet, mint a magfúzió a csillagokban. A szerző megfigyelt egy gömbvillámeseményt, amelynek kialakulására egy új elméletet fektetett le. Ennek az elméletnek alapján a szerző egy új fúziós kísérletet ajánlott, amely EU szabadalmi leírásban található.” Ezekkel a mondatokkal vezeti be Tar a gömbvillámokkal és a fúziós reakcióval foglalkozó publikációs listáját. A csaknem mindig egyedül publikáló Tar a szabadalmi leírásban társszerzővel osztozik, *Karl Alexander Müller*rel, aki a szupravezető kerámiákért kapott Nobel-díjat. (*Szilárd Leó Einsteint* választotta társszerzőnek folyékony fémes hűtőgép szabadalmához.)

A gömbvillámokkal foglalkozó nyolc közleményéből kettő a *Fizikai Szemlé*ben jelent meg. A 2004-es írásból kiderül, hogy nem a szerző keresett témát, hanem a téma nyűgözte le a szerzőt: „A szerző, aki fizikus, pontosan és részleteiben megfigyelte 1954-ben a Margitszigeten egy gömbvillám keletkezését, a jelenség lefolyását és eltűnését. Azóta se felejtette el ezt a különös, gyönyörű és egyúttal félelmetes tüneményt. A szerző, amíg aktívan dolgozott, nem ért rá a megfigyelték értelmezésével foglalkozni. Nyugdíjazása után azonban közel egy éves szakirodalmi búvárkodással áttanulmányozta a téma legfontosabb közleményeit, aminek során kiderültek a

mai gömbvillámmodellek hiányosságai. A megfigyelés mozaikdarabjait összerakva sikerült egy új elméletet föllátni, amely teljesen megfelel a megfigyeléseknek.” Úgy tűnik, hogy a témával foglalkozók is mindinkább így gondolják, és joggal írta tavaly decemberben Domokos nekem, hogy: „Mondtam-e már, hogy 2 ország egyetemi laborja projektet indított a BL [BL = Ball Lightning, gömbvillám] előállítására elméletem alapján?”

Nem véletlen, hogy a *Fizikai Szemlé*ben jelentek meg gömbvillámos cikkei. Tar Domokos 1997-ben már a Szemle nívódíjasa volt. Ezt a díjat: *Selényi Pál és a xerográfia* című írásáért kapta, ami nemcsak egy lexikális adatokból összeállított dolgozat volt, hanem önálló kutatáson alapuló bizonyítása *Selényi* elsőségének a xerográfiában: „A Bádeni (Svájc) Brown–Boveri & Co. cég kutató-fejlesztő fizikai laboratóriumában történt 1960-ban. Munkaterületünk: az erősáramú Si-diódák és tirisztorok (SCR) kifejlesztése, ezen belül a mérés technika volt. Akkor kaptuk meg az amerikai Xerox cégtől az első fénymásológépet. Egy eladómérnök előadást tartott a gépről és elmondta, hogy a gépet *Chester F. Carlson*, egy amerikai szabadalmi ügyvéd találta ki

1938-ban. Erre az egyik svájci kollégám, *G. Induni* villamosmérnök (ETH) szót kért és kijelentette, hogy a készüléket nem Carlson, hanem *Selényi Pál* fizikus professzor, az ő budapesti barátja találta ki sokkal korábban, már 1935-ben. *Selényi* gépét ő maga is látta, amikor *Selényi* azt a zürichi ETH-n bemutatta. Annak is egy hengere volt, amit kézzel lehetett hajtani, forgatni és a gép jó másolatokat készített. Az előadó semmit se tudott *Selényiről*.

Rögtön felfigyeltem, mert *Selényi*nek diákja voltam a budapesti ELTE-n 1953-ban. Igen kedveltem *Selényi*t, mert vérbeli kísérleti fizikus volt: dimenziókkal számolt, így a fizikai nagyságok összefüggését, lényegét kitűnően, érthetően megmutatta sok matematikai formalizmus nélkül. Nagyon eredeti volt, a kutató fizikus sugárzott ki belőle. Sajnos, nem sok órát adott, mert akkor már betegeskedett. Az előadás után rögtön utánanézttem. Kíváncsi voltam, hogy mi az igazság ebben, mert ha jól emlékszem akkor hallottam először (28 évesen) a *Selényi* fénymásoló készülékéről.”

Tar Domokos szenvedélyesen védi meg *Selényi* igazát. Ugyanígy állítja elénk a 36 éves korában elhunyt csillagász, *Izsák Imre* munkásságát, majd szól hozzá egy másik, *Fizikai Szemlé*ben megjelent cikkében a fiatalok fizika attitűdjének megjavításához.

Jó tudni, hogy élt Svájcban egy széles érdeklődési körű, elismert fizikus, aki magától értetődően volt magyar. Sajnáljuk, hogy csak nyolcvan évet élt.

Füstöss László



A TÁRSULATI ÉLET HÍREI

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat közhasznúsági jelentése a 2012. 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. A Társulat önálló jogi személy, amely az egyesülési jogról, a közhasznú jogállásról, valamint a civil szervezetek működéséről és támogatásáról szóló 2011. évi CLXXV. törvény („Civil törvény”) keretei között közhasznú civil szervezetként működik. Ez a közhasznúsági jelentés az említett jogszabály előírásainak figyelembe vételével készült, ezért szerkezetében valamelyest eltér a korábbi évek közhasznúsági jelentéseitől.

I. rész – Gazdálkodási és számviteli beszámoló Mérleg és eredménykimutatás

A Társulat 2012. évi gazdálkodásáról számot adó mérleget a jelen közhasznúsági jelentés 1. sz. *melléklete* tartalmazza. A 2. sz. *melléklet*ként csatolt eredménykimutatás szerint jelentkezett 280 eFt tárgyévi eredmény a mérlegben tökeváltozásként kerül átvezetésre. A 3. sz. *melléklet* tartalmazza a közhasznú jogállás megállapításához szükséges mutatókat. A mellékletekben szereplő adatokat *Pusztainé Holczer Magdolna* bejegyzett mérlegképes könyvelő állította össze.

Költségvetési és pályázati támogatás és felhasználása

Központi költségvetésből a Társulat 2012-ben 2 100 eFt-ot kapott. Ebből 1 100 eFt-ot az Emberi Erőforrások Minisztériumától, a XXII. Öveges József Fizikaverseny lebonyolításával kapcsolatos dologi kiadások részbeni fedezetére, 1 000 eFt-ot pedig a Nemzeti Kulturális Alaptól, a *Fizikai Szemle* megjelenítésének, szerkesztési és nyomdai költségeinek részbeni fedezésére. Emellett pályázati úton a Társulat elnyert 1 500 eFt támogatást a Jövőnk Nukleáris Energetikusáért Alapítványtól, amit a CERN-i tanártovábbképzés költségeinek részbeni fedezésére fordítottunk. A Társulat az MTA-tól 2 800 eFt-ot kapott a *Fizikai Szemle* előállítási költségeinek részleges fedezésére.

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 figyelembevételével 280 eFt értékben növekedett. Így az 1989. évi állapotot tükröző induló tőkéhez (7 581 eFt) képest a tárgyév mérlegében mutatkozó, halmozott induló tökeváltozás (-3 969 eFt) ezzel az értékkel növekedett, értéke tehát jelenleg -3 689 eFt. Így a

Társulat saját tőkéjének jelenlegi, a mérleg szerint és a tárgyév eredményének figyelembevételével számított értéke 3 892 eFt, szemben a tárgyévet megelőző, 2011. évre vonatkozó, hasonlóképpen számított 3 612 eFt tőkeértékkel.

Tagdíj és a személyi jövedelemadó 1%-a

A Társulat a tagdíjakból 2012-ben 9 373 eFt bevételhez jutott (4 978 eFt magánszemélyektől, 4 395 eFt jogi személyektől). Ez több a 2011-es tagdíjak 8 809 eFt összegénél. A 2011. évi személyi jövedelemadó 1%-ának a Társulat céljaira történt felajánlásából a tárgyévben 886 eFt bevétel származott, ami sajnos kevesebb az előző évi 1 067 eFt-nál. Ezt az összeget a Társulat a *Fizikai Szemle* nyomdai költségeinek részleges fedezeteként, valamint a Társulat által szervezett tehetséggyógyító versenyek támogatására használta fel.

Cél szerinti juttatások

A Társulat valamennyi természetes tagja (jelenleg 780 fő) – a fennálló tagsági viszony alapján – a tagok számára természetben nyújtott, cél szerinti juttatásként kapta meg a Társulat hivatalos folyóirata, a *Fizikai Szemle* 2012-ben megjelentetett évfolyamának számait.

Közcélú támogatások, adományok

A Társulat 2012-ben összesen 6 975 eFt közcélú támogatást kapott, ami tartalmazza a központi költségvetésből, illetve pályázatból kapott összegeket, valamint elhatárolás megszüntetéséből származó 1 500 eFt-ot. Ezekben túlmenően kapott támogatások:

MATFUND Alapítvány	600 eFt
Ericsson	450 eFt
Természettudományi és Műszaki Alapítvány	300 eFt
Morgan Stanley	250 eFt
Semilab Zrt.	150 eFt
Szegedi Önkormányzat	95 eFt
Magánszemély	30 eFt
A Társulat 2012-ben 5 045 eFt adományt is kapott:	
MOL Magyar Olaj- és Gázipari Nyrt.	3 500 eFt
Paksi Atomerőmű Zrt.	750 eFt
Richter Gedeon Zrt.	300 eFt
DACHS Magyarország	200 eFt
Magnificat Kft.	150 eFt
National Instruments Hungary Kft.	100 eFt
EGIS	100 eFt
Karcagi Ipari Park	30 eFt
Magánszemélyek	65 eFt

A fenti támogatásokat, adományokat tanárok továbbképzésére, tanulmányútra és tehetséggyógyító versenyek szervezésére fordítottuk.

Vezető tisztségviselőknek nyújtott juttatások

A Társulat vezető tisztségviselői ezen a címen 2012-ben sem részesültek semmilyen külön juttatásban. A tisztségviselők a Társulat tagjaiként, a Társulat valamennyi tagjának a tagsági viszony alapján járó cél szerinti juttatásként kapták meg a *Fizikai Szemle* 2012. évi évfolyamának számait.

II. rész – Tartalmi beszámoló a közhasznú tevékenységről

A Társulat közhasznú tevékenységeit a következő négy csoportba osztva foglaljuk össze: tudományos tevékenység, kutatás; szakmai folyóiratok, kulturális örökség megóvása; tehetséggondozás, képességfejlesztés, ismeretterjesztés; valamint köznevelés, tanár-továbbképzés.

Tudományos tevékenység, kutatás

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. Például Sugárvédelmi továbbképző tanfolyam, Doktori konferencia, Anyagtudományi Őszi Iskola, Vákuumfizikai tanfolyam, Statisztikus fizikai napok, Őszi fizikus napok, Részecskefizikusok elméleti fizikai iskolája, Marx György emlékülés, *Kövesi-Domokos Zsuzsa* tiszteletbeli tag székfoglaló előadása.

A közhasznú tevékenységhez kapcsolódó jogszabály: 2004. évi CXXXIV. tv. a kutatás-fejlesztésről és a technológiai innovációról 5. § (1). A közhasznú tevékenység célcsoportja és a tevékenységből részesülő létszáma: kutatók, egyetemi oktatók, fizikusok, orvosok (580 fő). A közhasznú tevékenység főbb eredményei: legújabb tudományos eredmények széleskörű bemutatása.

Szakmai folyóiratok, kulturális örökség megóvása

A Társulat havonta megjelenő hivatalos folyóirata a *Fizikai Szemle* a 2012. évben a 62. évfolyamába lépett. A *Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapok* társtulajdonosaként részt veszünk a folyóirat megjelentetésében. Kulturális örökségünk megóvása érdekében rendszeresen koszorúzzuk a fizikus nagyjaink síremlékeit. Például *Eötvös Loránd* síremlékének és emléktáblájának, *Bozóky László* síremlékének, *Gábor Dénes* emléktáblájának, *Marx György* síremlékének és további fizikus nagyjaink síremlékének, emléktáblájának koszorúzása.

A közhasznú tevékenységhez kapcsolódó jogszabály: 2001. évi LXIV. tv. a kulturális örökség védelméről 5. § (1). A közhasznú tevékenység célcsoportja és a tevékenységből részesülők létszáma: diákok, oktatók, pedagógusok, fizikusok, orvosok (5300 fő). A közhasznú tevékenység főbb eredményei: ismeretterjesztés, tehetséggondozás, kulturális értékek megőrzése.

A 2012. év mérlege

Megnevezés	előző év (eFt)	tárgyév (eFt)
ESZKÖZÖK (AKTÍVÁK)		
<i>A. Befektetett eszközök</i>	311	191
Immateriális javak	15	30
Tárgyi eszközök	296	161
Befektetett pánzügyi eszközöl	0	0
<i>B. Forgóeszközök</i>	10 125	8 952
Készletek	0	0
Követelések	2 704	927
Értékpapírok	0	0
Pénzeszközök	7 421	8 025
<i>C. Aktív időbeli elhatárolások</i>	0	0
ESZKÖZÖK (AKTÍVÁK) ÖSSZESEN	10 436	9 143
FORRÁSOK (PASSZÍVÁK)		
<i>D. Saját tőke</i>	3 612	3 892
Induló tőke (1989)	7 581	7 581
Tőkeváltozás	-4 482	-3 969
Lekötött tartalék	0	0
Értékelési tartalék	0	0
Tárgyévi eredmény alaptevékenységből	513	225
Tárgyévi eredmény vállalkozási tevékenységből	0	55
<i>E. Céltartalékok</i>	0	0
<i>F. Kötelezettségek</i>	2 148	2 411
<i>G. Passzív időbeli elhatárolások</i>	4 676	2 840
FORRÁSOK (PASSZÍVÁK) ÖSSZESEN	10 436	9 143

Tehetséggondozás, képességfejlesztés, ismeretterjesztés

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. 2012-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 megrendezésre kerülnek. A Társulat 2012-ben is megrendezte országos jellegű fizika-versenyeit: Eötvös-verseny, Ortway-verseny, Mikola-verseny, Öveges-verseny és Szilárd Leó fizikaverseny. A Társulat szervezte meg a résztvevők kiválasztását és felkészítését az évenkénti Nemzetközi Fizikai Diákolimpiára. Továbbra is szakmai felügyeletet látunk el

Az egyszerűsített éves beszámoló eredménykimutatása a 2012. évről

	alaptevékenység		vállalkozási tevékenység		összesen	
	előző év (eFt)	tárgyév (eFt)	előző év (eFt)	tárgyév (eFt)	előző év (eFt)	tárgyév (eFt)
BEVÉTELEK						
1. Értékesítés nettó árbevétele	20 629	14 437	3 320	3 407	23 949	17 844
2. Aktivált saját teljesítmények értéke	0	0	0	0	0	0
3. Egyéb bevételek	19 892	23 041	0	0	19 892	23 041
– tagdíj, alapítótól kapott befizetés	8 809	9 373	0	0	8 809	9 373
– támogatások	6 116	6 975	0	0	6 116	6 975
– adományok	3 900	5 045	0	0	3 900	5 045
4. Pénzügyi műveletek bevételei	261	282	0	0	261	282
5. Rendkívüli bevételek	0	0	0	0	0	0
ebből: alapítótól kapott befizetés	0	0	0	0	0	0
támogatások	0	0	0	0	0	0
A. Összes bevétel (1+2+3+4+5)	40 782	37 760	3 320	3 407	44 102	41 167
ebből: közhasznú tevékenységek bevételei	20 629	34 478	0	0	20 629	37 478
RÁFORDÍTÁSOK						
6. Anyagjellegű ráfordítások	23 829	22 457	3 320	3 352	27 149	25 809
7. Személyi jellegű ráfordítások	13 325	14 365	0	0	13 325	14 365
ebből: vezető tisztségviselők juttatásai	0	0	0	0	0	0
8. Értékcsökkenési leírás	265	140	0	0	265	140
9. Egyéb ráfordítások	2 850	573	0	0	2 850	573
10. Pénzügyi műveletek ráfordításai	0	0	0	0	0	0
11. Rendkívüli ráfordítások	0	0	0	0	0	0
B. Összes ráfordítás (6+7+8+9+10+11)	40 269	37 535	3 320	3 352	43 589	40 887
ebből: közhasznú tevékenység ráfordításai	40 269	37 007	0	0	40 269	37 007
EREDMÉNY						
C. Adózás előtti eredmény (A+B)	513	225	0	55	513	280
12. Adófizetési kötelezettség	0	0	0	0	0	0
D. Adózott eredmény (C–12)	513	225	0	55	513	280
13. Jávahagyott osztalék	0	0	0	0	0	0
E. Tárgyévi eredmény (D–13)	513	225	0	55	513	280
TÁJÉKOZTATÓ ADATOK						
A. Központi költségvetési támogatás	1 050	2 100	0	0	1 050	2 100
B. Helyi önkormányzati költségvetési támogatás	0	95	0	0	0	95
C. Az Európai Unió strukturális alapjaiból, illetve a Kohéziós Alapból nyújtott támogatás	0	0	0	0	0	0
D. Normatív támogatás	0	0	0	0	0	0
E. A személyi jövedelemadó meghatározott részének az adózó rendelkezése szerinti felhasználásáról szóló 1996. évi CXXVI. tv. alapján átutalt összeg	1 067	886	0	0	1 067	886
F. Közszolgáltatási bevétel	8 170	10 512	0	0	8 170	10 512

a BSCA kuratóriumán keresztül a Csodák Palotája működése fölött. Említést érdemel még az igen sikeres

Fizibusz az ELMŰ támogatásával, valamint az Ericsson támogatásával megrendezett Kutatók Éjszakája.

A közhasznú tevékenységhez kapcsolódó jogszabály: 2011. évi CXCV. tv. a nemzeti köznevelésről 19. §. A közhasznú tevékenység célcsoportja és a tevékenységből részesülők létszáma: diákok, főiskolai és egyetemi hallgatók (3100 fő). A közhasznú tevékenység főbb eredményei: tehetségek megtalálása, kiválasztása és képességfejlesztés. Érdeklődés felkeltése a fizika és a természettudományok iránt.

Köznevelés, tanártovábbképzés

A tanártovábbképzés a Társulat oktatási szakcsoportjai, valamint területi csoportjai szervezésében folyt. A fizikatanár közösség számára módszertani segítséget, tapasztalatcsere és szakmai továbbképzés lehetőségét kínálta az oktatási szakcsoport által 2012. évben megrendezett, elismert továbbképzésként akkreditált Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, amelyet Győrben rendeztünk. Kiemelt feladatunk a fizikának és általában a természettudományoknak a közoktatásban betöltött szerepével való foglalkozás, véleményeztük a NAT-ot, illetve a pedagógus életpályamodell és javaslatokat tettünk ezzel kapcsolatban a Nemzeti Erőforrás Minisztériumnak. A fizika keret-tervekkel kapcsolatban szakmai fórumokat szerveztünk. A Társulat szervezésében fizikatanárok 45 fős csoportja vett részt a CERN-ben magyar nyelven megtartott továbbképzésen. Megtörtént a 2013-as Science on Stage rendezvényre kiutazó magyar tanár-csapat kiválasztása. Részt vettünk az Ericsson-díjjal és a Rátz Tanár Úr Életműdíjjal jutalmazott tanárok kiválasztásában.

A közhasznú tevékenységhez kapcsolódó jogszabály: 2011. évi CXCV. tv. a nemzeti köznevelésről 19. §. A közhasznú tevékenység célcsoportja és a tevékenységből részesülők létszáma: általános és középiskolai tanárok (200 fő). A közhasznú tevékenység főbb eredményei: az akkreditált tanári továbbképzés szervezésével állami feladatot látunk el.

A fentiekben túl 2012-ben elkezdtük az ELFT új stratégiai tervének kidolgozását, amelyet megvitatásra a 2013-as Közgyűlés elé terjesztett a Társulat Elnöksége.

A kutatás területén elért eredmények elismerésére a Társulat 2012-ben is odaítélte tudományos díjait, amelyek közül a Budó Ágoston-díj (*Hartmann Péter*), a Detre László-díj (*Vinkó József*), a Jánossy Lajos-díj (*Barnaföldi Gergely*), a Novobáztzy Károly-díj (*Fodor Gyula*), a Schmid Rezső-díj (*Lábár János*) és a Selényi Pál-díj (*Bobátka Sándor*) került kiadásra.

A Társulat Küldöttközgyűlése a 2012. évi ELFT-érmeket Bakos Józsefnek, a Prométheusz-érmeket Kopcsa Józsefnek ítélte oda. A Társulat Eötvös-plakettjét 2012-ben Bartos Elekes István kapta. A Marx György Fizikai Szemle nívódíjban a Bokor Nándor – Laczik Bálint szerzőpáros és Radnai Gyula részesültek.

Az általános és középiskolai tanároknak adományozható Mikola Sándor díjat 2012-ben Pántyáné Kuzder Mária és Schwartz Katalin kapták.

Közhasznú jogállás megállapításához szükséges mutatók

Alapadatok	(eFt)	
	előző év (1)	tárgyév (2)
A. Vezető tisztségviselőknek nyújtott juttatás összesen	0	0
B. Éves összes bevétel ebből:	44 102	41 167
C. A személyi jövedelemadó meghatározott részének az adózó rendelkezése szerinti felhasználásáról szóló 1996. évi CXXVI. tv. alapján átutalt összeg	1 067	886
D. Közszolgáltatási bevétel	8 170	10 512
E. Normatív támogatás	0	0
F. Az Európai Unió strukturális alapjaiból, illetve a Kohéziós Alapból nyújtott támogatás	0	0
G. Korrigált bevétel [B-(C+D+E+F)]	34 865	29 769
H. Összes ráfordítás (kiadás) ebből	43 589	40 887
I. Személyi jellegű ráfordítás	13 325	14 365
J. Közhasznú tevékenység ráfordításai	40 269	37 007
K. Adózott eredmény	513	280
L. A szervezet munkájában közreműködő közérdekű önkéntes tevékenységet végző személyek száma (a közérdekű önkéntes tevékenységről szóló 2005. évi LXXXVIII. tv-nek megfelelően)		
Erőforrás-ellátottság mutatói	mutató teljesítése	
	igen	nem
Ectv. 32. § (4) a) [(B1+B2)/2 > 1 000 000,- Ft]	×	
Ectv. 32. § (4) b) [K1+K2 ≥ 0]	×	
Ectv. 32. § (4) c) [(I1+I2-A1-A2)/(H1+H2) ≥ 0,25]	×	
Társadalmi támogatottság mutatói	mutató teljesítése	
	igen	nem
Ectv. 32. § (5) a) [(C1+C2)/(G1+G2) ≥ 0,02]	×	
Ectv. 32. § (5) b) [(J1+J2)/(H1+H2) ≥ 0,5]	×	
Ectv. 32. § (5) c) [(L1+L2)/2 ≥ 10 fő]		×

Ericsson-díjat kaptak 2012-ben a fizika népszerűsítéséért: Móróné Tapody Éva és Janóczki József, a fizika tehetségeinek gondozásáért: Wágner Éva és Tóth Károly. Az Alapítvány a Magyar Természettudományos Oktatásért Rátz Tanár Úr Életműdíjában Kovács László és Ősz György részesültek.

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2013. évi Küldöttközgyűlése

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat éves Küldöttközgyűlését 2013. május 25-én tartotta az ELTE TTK Eötvös-termében (Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A).

A napirend előtti – szokás szerint tartalmas és élvezetes – szakmai előadást *Horváth Dezső*, az MTA Wigner FK Részecske- és Magfizikai Intézet tudományos tanácsadója tartotta *Hogyan is állunk a Higgs-bozonnal?* címmel.

Miután meggyőződött arról, hogy a Küldöttközgyűlés határozatképes – a 67 küldöttből 56 megjelent –, *Kroó Norbert* elnök megnyitotta a Közgyűlést, köszöntötte a küldötteket, a meghívottakat, az elnökséget, valamint a Társulat érdeklődő tagjait. A napirendi pontok rövid ismertetése után megnyitó beszédében először mondott a stratégia előterjesztéséhez, amelyben beszélt például az oktatásban történt változásokról, a tudomány új helyzetéről. Ezeknek fényében az ELFT-nek is át kell dolgoznia a stratégiáját, amelyet a főtitkár fog elővezetni beszámolója végén.

Ez után került sor – a Közgyűlés egyhangú egyetértésével – a Szavazatszámoló Bizottság (*Kocsonya András, Martinás Katalin, Zátanyi Sándor*), a Mandátumszámoló Bizottság (*Paripás Béla, Szénási Istvánné*), a Jegyzőkönyvvezető (*Pónya Melinda*) és a Jegyzőkönyv-hitelesítők (*Hegedűs Árpád, Lengyel Krisztián*) felkérésére.

Ezt követően tartotta meg *Kürti Jenő* főtitkári beszámolóját. A beszámoló előtt megemlékezett *Marx Györgyről*, aki a Közgyűlés napján lenne 86 éves. Marx György meghatározó elnöke volt a Társulatnak. Ezután a főtitkár a Közgyűlés elé terjesztette a Társulat 2012. évi közhasznúsági jelentésének gazdálkodási és számviteli beszámolóját, a tartalmi beszámolót, valamint a 2013. évi költségvetési tervet.

Az új Civil Törvény miatt más lett a közhasznúsági jelentés formája a tavalyihoz képest. Az egyszerűsített éves beszámolóknak és közhasznúsági mellékletének tartalma:

Higgs-bozon és Horváth Dezső garancia a feszült figyelemre.



Fotók: Kármán Tamás



Utolsó egyeztetés Kroó Norbert és Kürti Jenő között.

- Mérleg
- Eredménykimutatás (bevételek és kiadások)
- A közhasznú tevékenység érdekében felhasznált vagyoni kimutatása
- Cél szerinti juttatások kimutatása
- Vezető tisztségviselőknek nyújtott juttatás
- Közhasznú jogállás megállapításához szükséges mutatók
- Pályázatok, támogatások
- Szakmai rész, közhasznú tevékenységek bemutatása

A közhasznúsági jelentést a mellékleteivel együtt be kell mutatni a Közgyűlésnek, ott jóvá kell hagyni, majd továbbítani kell az Országos Bírósági Hivatalnak.

Mivel a közhasznúsági beszámolót és annak mellékleteit a *Fizikai Szemle* jelen számában külön részleteztük, ezért itt csak a 2012. évi költségvetés, valamint a 2013. évi költségterv legfontosabb számaint foglaljuk össze.

2012. évi költségvetés (a számok jelentése mindenhol: eredmény = bevétel mínusz kiadás):

Eredménykimutatás: az összes bevétel 41 167 498 Ft, az összes kiadás: 40 887 351 Ft, ebből az eredmény 280 147 Ft.

Működés	1 637 330 Ft
Közgyűlés	–425 709 Ft
Ankét, versenyek	1 434 703 Ft
Rendezvények	2 028 795 Ft
Területi csoportok	66 012 Ft
Fizikai Szemle	–4 460 984 Ft
Eredmény összesen:	280 147 Ft

A 2013. évi költségterv

Eredménykimutatás: az összes bevétel 41 530 000 Ft, az összes kiadás 41 458 200 Ft, ebből az eredmény 71 800 Ft.

Működés	1 226 800 Ft
Közgyűlés	–450 000 Ft
Ankét, versenyek	20 703 Ft
Rendezvények	1 085 000 Ft
Fizikai Szemle	–1 810 000 Ft
Eredmény összesen:	71 800 Ft

Megjegyzendő, hogy a *Fizikai Szemlénél* egyik eredménykimutatásban sem szerepel a tagdíj, illetve az MTA-tól mindkét évben célzottan kapott 2 800 000 Ft támogatás. 2013-ban például ez majdnem 1 000 000 Ft pozitívumot jelent!

A főtítkár ezután a vezető tisztségviselőkről is szólt néhány mondatot. Elnök úrral 2 éve együtt kezdték meg munkájukat. Kroó Norbert azonban a szokásosnál egy évvel rövidebb ideig lesz az elnökségben, a korábbi elnök, illetve megválasztott elnök, *Horváth Zalán* és *Kollár János* halálával bekövetkezett rendkívüli helyzet miatt. Kroó Norbert most leköszönő elnök lesz egy évig, és a 2012-ben megválasztott *Zawadowski Alfréd* fogja átvenni a helyét az elnöki poszton. Köszönjük Kroó Norbert munkáját, aki sokat tett a Társulatért, főként a tanárok ügyében!

Az elnökségi üléseken a főbb témák a következők voltak 2012-ben: Csodák Palotája, kerettanterv, aktuális rendezvények és a társulati stratégia. Az új stratégia kialakításában a legtöbb munkát *Nagy Dénes Lajos*, a Stratégiai Bizottság elnöke végezte, ezért Kürti Jenő át is adta a szót neki, hogy a stratégiát a Közgyűlés elé terjessze.

Nagy Dénes Lajos elmondta, hogy az interneten körülbelül 3-4 napja került nyilvánosságra a végső stratégiai anyag. A Stratégiai Bizottság 3 éve kezdett foglalkozni vele. Ennek terjesztésére létrejött az ELFT fórum, amelyet integrálni lehetne a Társulat új honlapjára, de még nincs meg hozzá a megfelelő humán erőforrás. Ezen belül külön tanári és kutatói fórum is létrejött. Van, aki nem a fórumon, hanem külön kereste meg az elnökséget javaslataival, például *Patkós András*, aki sokat segítette a Bizottság munkáját. Közben létrejött a Társulat Facebook-oldala, hogy a fiatalokat jobban el tudjuk érni. Nagy Dénes Lajos elmondta, hogy ő nem optimista a pénzügyeket illetően. Például, az egykulcsos adó és a nyugdíjazási hullám nem tesz jót az SZJA 1%-okból befolyt összegnek. Fontos cél:

- A taglétszám csökkenését minimum megakadályozni, de a taglétszámot inkább növelni kellene.
- Közel kell hozni az ELFT-t és az MTA Fizikai Osztályát, például a rendezvények és a díjak terén.

A megnyílt elektronikus fórumok továbbra is élnek. A stratégiát iránymutatónak és egy folyamatnak tekintjük!

Három határozati javaslatot kellett megvitatni:

- 2012. évi közhasznúsági beszámoló
- 2013. évi költségterv
- stratégiai javaslat.

Mielőtt a vita megkezdődött volna, a Felügyelő Bizottság jelentése következett. *Újfalussy Balázs* elmondta, hogy a Felügyelő Bizottság folyamatosan figyelemmel kísérte a Társulat működését. A 2012-es év gazdálkodása a főösszeget tekintve lényegében a terveknek megfelelően alakult. Pozitív, hogy a *Fizikai Szemle* terjesztési költségeit sikerült menet közben csökkenteni. A folyó évre vonatkozó tervek főösszege lényegében véve megegyezik a tavalyiával. A jelen



Idén Kovách Ádám az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Érmese.

közgyűlésen hivatalba lépő (tavaly megválasztott) elnökkel (Zawadowski Alfréd), és az új elnökségi tagok megválasztásával az elnökség szerkezete fokozatosan igazodik az alapszabályban meghatározott-hoz. A beszámolót, tervet elfogadásra javasolta a Bizottság. Az elnökségi üléseket havi rendszerességgel megtartották a nyári szünet kivételével. A konferenciák nehezen tervezhetőek, de nagy szükség van rendezvényekre. A Felügyelő Bizottság örömmel állapítja meg, hogy előrelépés történt a hosszú távú stratégia kialakításában, és megnyílt az ennek megvitatására létrehozott internetes portál is. A Felügyelő Bizottság úgy látja, hogy az elmúlt évben a Társulat működése megfelelt az alapszabálynak és az ügyrendnek, valamint a rendeleti előírásoknak. A Társulat elnökségével és titkárságával a Bizottság együttműködése zavartalan volt. A Bizottság kérte a jelentés tudomásulvételét.

Ezután következett a vita a három határozati javaslatról és a Felügyelő Bizottság jelentéséről.

Sükkösd Csaba észrevételezte, hogy az Ericsson támogatta a tanárok CERN-i útját és a Kutatók Éjszakáját is, de ez nem látható a beszámolóban. 2013-ra Paks II is támogatja a *Fizikai Szemlét*, de ez sem látszik a költségtervben.

Nagy Zsigmondné elmondta, hogy az új civil törvény miatt a közhasznúsági beszámolót egy formanyomtatványon kell kitölteni, és abban csak a pályázatokot kell feltüntetni, az egyéb támogatásokat nem. Természetesen megérkezett az Ericssontól a támogatás, amely az egyéb jogi személytől kapott támogatás között szerepel. Paks II támogatása viszont azért nem szerepel a tervben, mert még nem született róla konkrét döntés.

Kármán Tamás megjegyezte, hogy az Akadémiától kapott támogatási pénzt nem látja a *Fizikai Szemlénél*, a folyóiratba bekerülhetne az adományozók és a támogatók listája.

Kürti Jenő elmondta, hogy az MTA-támogatás más módon érkezett, ezért nem lehetett közvetlenül a *Fizikai Szemlénél* lekönyvelni.

Csajági Sándor megjegyezte, hogy normatív támogatásra lehetett volna pályázni.

Nagy Zsigmondné: igen, be akartuk adni rá a pályázatot, de a kiírás szerint a 2012. évi mérleget is csatolni kellett volna, amit a pályázati határidőig nem tudtunk beadni, mert a jelen Közgyűlésen kell elfogadni.

Radnai Gyula elmondta, hogy a taglétszám csökkenése az Eötvös-verseny résztvevőinek számában is megmutatkozik. A testvéregyesületek fejlődnek, ez is közrejátszhat a tagság csökkenésénél. Például a Bolyai Matematikai Társulattal szorosabbra lehetne fűzni a kapcsolatot. A *Fizikai Szemle* elektronikusan is megjelenhetne, de maradjon meg papíralapon is. A díjak névadóiról lehetne megjelentetni egy kiadványt, vagy cikket a *Fizikai Szemlében*.

Kroó Norbert elmondta, hogy az MTESZ az utolsó napjait éli. Egy új, más MTESZ-t kellene létrehozni, például Magyar Természettudományos Egyesületek Szövetsége néven. Ebbe olyan egyesületek tartoznának, akik tanárokkal foglalkoznak.

Kádár György elmondta, hogy a mérnökök már elkezdtek az új szervezetük szervezését. Az új MTESZ létrehozását jó lenne sürgetni.

Lakatos Tibor felhívta a figyelmet a Magyar Biofizikai Társaságra. Korábban már szerveztünk velük együtt vándorgyűlést.

Sükösd Csaba szerint a taglétszám növelésénél a fiatalítás is fontos. A Magyar Fizikus Hallgatók Egyesületével is össze lehetne fogni!

Kürti Jenő elmondta, hogy *Moróné Tapody Éva* körülbelül 2000 fizikatanárnak küldi ki rendszeresen hírlevelét, ennek ellenére sajnos csak 120 tanár jött el az Ankétra. A MAFIHE-vel már volt egy egyeztetés. A fiatalításra jó kezdeményezés a Doktoranduszi Konferencia (DOFFI), amelyet idén már 2. alkalommal rendez meg a Társulat.

Cserti József javasolta, hogy évente egy alkalommal párhuzamosan több városban lehetne szervezni a fizikatanárok közreműködésével egy „Fizika napja” rendezvényt, a Magyar Dal Napja mintájára.

Kármán Tamás ehhez kapcsolódóan javasolta, hogy arra a napra komplett, a Társulat vagy a *Fizikai Szemle* honlapjáról letölthető előadással segítsék a fizikatanárok munkáját.

Tóth Pál a Fizibusszal érdemelte ki a Prométheusz-érmet.



Halász Tibor jónak tartja a stratégia fő irányvonalait. A taglétszám csökkenésénél közrejátszik, hogy a központi szervek hosszú évek óta magára hagyták a civil szervezeteket. A *Fizikai Szemlében* nagyobb helyet kapjon a fizika tanítása rovat. A Társulat a tanárok érdekérvényesítését segítse!

Mester András javasolta, hogy a Tanári Ankét előtt lehetne a *Fizikai Szemlének* egy különszáma, amely tanároknak szól. Az idei Ankéton a *Nukleon* különszámát osztogattuk.

Barnafieldi Gergely szerint a fiataloknak van publikációs lehetőségük a *Fizikai Szemlében*. A cikkek előtt röviden be lehetne mutatni a szerzőket. A facebookos kezdeményezést jó ötletnek tartja.

Gergely György szóvá tette, hogy az orvosi konferenciákon a résztvevőknek oklevelet adnak. Az itteni rendezvényeken is lehetne oklevelet adni, hogy az illető részt vett rajta.

Nagy Zsigmondné elmondta, hogy a Tanári Ankét akkreditált továbbképzés, és ott tanúsítványt kapnak a tanárok, valamint a Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyamon is adunk oklevelet.

Nagy Dénes Lajos megköszönte a stratégiához való hozzászólásokat. Elmondta, hogy külön-külön nem akar most észrevételeket tenni, de az elnökség és a Stratégiai Bizottság megvitatja a javaslatokat.

Ezt követően Kroó Norbert berekesztette a vitát és a három határozati javaslatot, valamint a Felügyelő Bizottság jelentését szavazásra bocsátotta. A Közgyűlés a 2012. évi közhasznúsági beszámolót, a 2013. évi költségtervet és a Felügyelő Bizottság jelentését egyhangú igennel, a stratégiát a kiegészítésekkel 1 tartózkodással elfogadta.

A következő napirendi pont az Alapszabály módosítása volt. *Zagyvai Péter* elmondta, hogy az új Alapszabály kidolgozására az új civil törvény miatt volt szükség. A munkában hármán vettek részt, rajta kívül még Nagy Dénes Lajos és *Wojnarovich Ferenc*. Az elnökség a legutóbbi ülésen megvitatta, majd pár napja közzétette átolvasásra. Azóta két további apró javítást javasoltak. Az egyik, hogy a Magyar Köztársaság helyett Magyarország szerepeljen. A másik pedig a Társulat spanyol nevét módosítani kell. Továbbá, az MTESZ szavakat töröltük a szövetség jelenlegi helyzete miatt. *Radnai Gyula* megjegyezte, hogy a 14. § 5. pontját az elnökségi hatáskörnél javítani kellene, mert KöMaL Bizottság már nincsen. A módosításokkal a Közgyűlés egyhangúan elfogadta az új Alapszabályt.

A következő napirendi pont a Jelölőbizottság előterjesztése volt az új tisztségviselők megválasztására. *Sólyom Jenő*, a Jelölőbizottság elnöke elmondta, hogy a főtítkári beszámolóval a főtítkár visszaadta megbízatását. A most tisztségre lépő új elnökről a tavalyi Közgyűlés szavazott.

A 2013-as Tisztújító Közgyűlésig hivatalban lévő tisztségviselők: Kroó Norbert (elnök); *Zawadowski Alfréd* (választott elnök, 2012); Kürti Jenő (főtítkár); *Moróné Tapody Éva*, Nagy Dénes Lajos, *Zagyvai Péter* (alelnökök) és *Cserti József*, *Kádár György*, *Kirsch*



A Marx György Vándorplakettet Csajági Sándornak adta tovább Piláth Károly.

Éva, Krasznahorkay Attila (főtitkárhelyettes). A 2013–2015 évekre az új jelöltek: Kürti Jenő (főtitkár); Mester András, Nagy Dénes Lajos, Sükösd Csaba, Zagyvai Péter (alelnökök) és Cserti József, Halász Tibor, Kádár György, Kirsch Éva, *Kotormán Mihály* (főtitkárhelyettesek), valamint a már megválasztott Zawadowski Alfréd elnök és Kroó Norbert leköszönő elnök.

Az alelnöki és főtitkárhelyettesi tisztségek megújíthatók, ha az illető vállalja. Krasznahorkay Attila és Moróné Tapody Éva nem vállalja tovább a megbízatást. A négy alelnökjelöltből hármat, az öt főtitkárhelyettesből négyet lehet választani. Sólyom Jenő még elmondta, hogy a csoportok vezetőitől javaslatokat kért, de nem voltak nagyon aktívak. Esetleg van-e valakinek még javaslata? Szabó István főtitkárhelyettesnek javasolta Fábíán Margitot. A Közgyűlés 5 tartózkodással egyetértet az eredeti listával és 9 tartózkodás mellett Fábíán Margit felkerült a jelöltek listájára.

Ezt követően Kürti Jenő ismertette az elnökség javaslatát az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Érmére és a Prométheusz-éremre. Az előbbire Kovách Ádám, az utóbbira Tóth Pál a jelölt. Vita nem volt, mindenki elfogadta a javaslatokat. A tudományos díjakra a Díjbizottság korábban megtette a javaslatát az elnökségnek, amiről az elnökség a júniusi ülésén dönt. A tudományos díjakat az augusztusi Vándorgyűlésen adják át.

Ezután szünet és szavazás következett. A küldöttigazolványok leadásakor minden résztvevő megkapta a szavazólapokat, ezzel szavazhattak. A küldötteknek a főtitkár, az alelnökökre, a főtitkárhelyettesekre, valamint az ELFT-éremre és a Prométheusz-éremre javasolt személyekre kellett szavazniuk. A szünet ideje alatt a Szavazatszámoló Bizottság összesítette az eredményeket.

A folytatódó közgyűlésen a Szavazatszámoló Bizottság nevében Kocsonya András kihirdette az eredményt. A főtitkár 56 igen szavazattal Kürti Jenő maradt, alelnökök: Mester András (44 igen), Nagy Dénes Lajos (43) és Sükösd Csaba (42). Zagyvai Péter 33 igen szavazatot kapott. Főtitkárhelyettesek: Kirsch

Éva (51), Cserti József (50), Kádár György (39), Halász Tibor (29). Fábíán Margit 27, Kotormán Mihály 26 igen szavazatot kapott.

Kovách Ádám (55) kapta meg az ELFT-érmet, Tóth Pál (54) pedig a Prométheusz-érmet. Érvénytelen szavazat nem volt. A Marx György Fizikai Szemle Nívódíj is átadásra került. Ezt Horváth Dezső és Härtlein Károly kapták. Gratulálunk az új tisztségviselőknek és a díjazottaknak.

Kürti Jenő megköszönte a bizalmat és egyúttal ismertette, hogy az idei évben eddig – a Közgyűlésen átadott díjakon kívül – milyen díjakat osztott már ki a Társulat. Mikola-díj Halász Tibornak és Lang Ágotának, Eötvös-plakett Kövesdi Zoltánnak. A Marx György Vándorplakettet Piláth Károlytól Csajági Sándor vehette át. Végül tájékoztatta a Közgyűlést, hogy az elnökség idén tiszteletbeli tagnak szavazta meg Erdős Pált és Johannes Zittartz-ot. Rövid méltatásuk megtalálható az idei márciusi elnökségi ülés emlékeztetőjében.

A zárszóban először Kroó Norbert leköszönő elnök visszaemlékezett, hogy az akkori Jelölbizottság elnöke, Patkós András rábeszélésére és a Társulat helyzetére való tekintettel vállalta el az elnöki megbízatást – megtiszteltetés volt a Társulat elnökének lenni. Ezekkel a szavakkal átadta a stafétabotot a tavaly megválasztott új elnöknek, Zawadowski Alfrédnek.

Zawadowski Alfréd elmondta, hogy ez nem egyszerű időszak a Társulat életében, és hogy a legfiatalabb generációra kellene koncentrálni, a fiatalokat kellene összefogni. Megköszönte, hogy bizalmat szavaztak neki, valamint megköszönte a jelenlevőknek a Közgyűlésen való megjelenést és a Bizottságok munkáját. A jövőre nézve jó közös munkát és kellemes nyarat kívánt, majd bezárta az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2013. évi Tisztújító Küldöttközgyűlését.

Kürti Jenő

Zawadowski Alfréd már a jövő feladatairól beszélt.



Marx-emlékelőadás 2013

Az ELTE Fizikai Intézete és az Eötvös Társulat tizenegyedik alkalommal tisztelgett a neutrínók asztrofizikai szerepének úttörő kutatójaként nemzetközi hírnevet szerzett *Marx György* professzor emléke előtt. Hagyományosan a születésnapjához legközelebb eső Ortway-kollokvium adja a neutrínófizika legújabb fejleményeiről beszámoló előadás keretét. 2013. május 23-án *Mikhail Shaposhnikov*, a svájci École Polytechnique Fédérale de Lausanne részecskefizika és kozmológia kutatócsoportjának vezető professzora tartotta meg az idei emlékelőadást *Sterile neutrinos as the origin of the neutrino masses, dark and baryonic matter*¹ címmel. Az előadót *Groma István*, a Fizikai Intézet igazgatója mutatta be a nagyszámú közönségnek.

Shaposhnikov professzor előadásának elején egyetértően idézte Marx professzor véleményét: „a neutrínók egyaránt kulcsszerepet játszanak a részecskefizikában és a kozmológiában”. Előadásának célja az volt, hogy a Higgs-bozon felfedezésével zártnak tekinthető Standard Elmélet² három alapvető hiányosságának orvoslására a neutrínócsalád kiegészítése révén tegyen egységes javaslatot.

A legszembetűnőbb, hogy a Standard Elméletben a neutrínók zérus tömeggel szerepelnek és a gyenge kölcsönhatásokban keltett különböző neutrínóállapotok egymásba nem tudnak átalakulni. Ennek alapvetően ellentmond a neutrínóoszilláció jelensége. E jelenségben nyer értelmezést a Földön észlelt Nap-neutrínók áramának elmaradása az elméleti jóslattól. Szintén értelmezhetővé válik a földi atmoszférába lépő kozmikus sugárzás ütközéseiből származó elektron- és müontípusú neutrínók arányának irányfüggése a Föld egy meghatározott felszín közeli pontján végzett észlelésekben. Végül pedig több földi (atomreaktorból vagy részecskegyorsítóból származó neutrínókkal végzett) kísérletben is észlelték már a keltett típus áramának csökkenését és figyelték meg egyidejűleg egy abból oszcillációval létrejövő másik neutrínófajtára jellemző reakciót. Ma a háromféle neutrínó egymásba alakulását leíró keverési mátrix összes elemét ismerjük, és ismerjük a tömegfelhasadások nagyságát is, amelyek a századelektronvolt tartományába esnek. Közvetlen megfigyelésből azonban nincs információnk a neutrínótömeg abszolút nagyságára.

A minden érdeklődő laikusnak is könnyen elmagyarázható második feladvány az anyag és antianyag aszimmetrikus jelenléte kozmikus környezetünkben.

¹ Steril neutrínók, mint a neutrínótömeg, a sötét és a barionikus anyag forrása

² Jelen beszámoló szerzője megfontolt szándékkal használja (és javasolja kollégáinak is) a történetileg kialakult „Standard Modell” megnevezés helyett a „Standard Elmélet” kifejezést. A magyar nyelvben a „modell” szó a megváltoztathatóság, a nem-véglegesség hangulatát hordja. Ezt az elektrodinamikával vagy a kvantum-kromodinamikával (lásd aszimptotikus szabadság!) eddig sem volt értelmes sugallani. A Higgs-részecske felfedezése az elméletnek a gyenge kölcsönhatásokat összefoglaló harmadik komponensét is a természetismeret állandó törvényévé szilárdította.

Ennek kicsi, de nem nulla értéke adja a kulcsot a könnyű atommagok létrejöttének és kozmikus elterjedtségének a megfigyelésekkel egyező értelmezéséhez. Az ebből származtatott aszimmetriát megerősítik a kozmikus háttérsugárzás irányingadozásainak lenyűgöző szögfelbontású és pontosságú mérései is. Az aszimmetria kialakulása nem mond ellent az anyag és antianyag felcserélése során változatlan mikroszkopikus természettörvényeknek, amennyiben az úgynevezett Szaharov-kritériumok teljesülnek. A Standard Elmélet szerkezete megadja a lehetőséget arra, hogy az Univerzum korai története során kialakuljon az aszimmetria, ám a paraméterek megvalósult értékei (nem utolsósorban a Higgs-részecske tömege) olyanok, hogy e keretben csak az észlelések által jelzett-nél jóval kisebb lehetne az aszimmetria értéke.

Végül a galaxisok szerkezete és dinamikája (például az úgynevezett forgási görbék) a háttérsugárzás megfigyelési adataival párosulva egyértelművé teszik sötét (azaz fényt nem sugárzó) anyag jelenlétét, amelynek koncentrációja mintegy ötszöröse a barionikus (fényt sugárzó) anyagénak. A semleges atomokon kívül a neutrínók az egyetlen ismert stabil és semleges anyagfajta. Ezért javasolták már a hetvenes években,³ hogy a sötét anyag neutrínókból állhat. Azonban néhány év alatt kiderült, hogy a (majdnem) zérus tömegű neutrínók erre a szerepre alkalmatlanok, mivel nagy szabad úthosszuk révén szétmosnák a rövid távolságskálakon észlelt sűrűségingadozásokat (inhomogenitásokat).

A csillagászati és részecskefizikai megfontolásokat összegezve Shaposhnikov professzor megállapította, hogy amennyiben a sötét anyag összetevői elemi részecskék, akkor az Univerzumnál hosszabb élettartamuk kell legyen és tömegük 400 eV és néhány TeV közé kell essék. Továbbá nyilvánvaló követelmény, hogy az ismert részecskékkel igen kis intenzitással hathatnak kölcsön.

Javasolata igen szuggesztív formában ábrázolható, ha a Standard Elméletben (SM) szereplő elemi részek táblázatára pillantunk (*1. ábra*). Ebben a táblázatban a vizsgált kérdések szempontjából felesleges az erőterek és a Higgs-részecske szerepeltetése, csak az úgynevezett anyagi részecskék (matter fields) szerepelnek. A szereplő kvarkok és leptonok spinje $\frac{1}{2}$, azaz két polarizációs állapotuk lehetséges. Kivéve a neutrínókat, amelyek esetében csak a balra csavarodó spin-állapot létezhet a Standard Elmélet keretei között. A táblázatban tehát minden részecske bal- és jobbcsavarodású állapottal szerepel, kivéve a neutrínókat. Shaposhnikov munkatársaival olyan elméletet dolgozott ki, amelyben 3 újfajta (N_1, N_2, N_3 , csak jobbcsavarodású polarizációval rendelkező) neutrínó is létezik. Ezek éppen kitöltik a Standard Elmélet részecsketáblázatának kimaradt helyeit (*2. ábra*). A kiegészítéssel kiala-

³ Marx György és *Szalay Sándor* az elsők között voltak!

		SE fermionok kvarkok					
balkezes		u	d	c	s	t	b
jobbkezes		u	d	c	s	t	b
balkezes		ν_e	e	ν_μ	μ	ν_τ	τ
jobbkezes			e		μ		τ
		leptonok					

		vMSM fermionok kvarkok					
balkezes		u	d	c	s	t	b
jobbkezes		u	d	c	s	t	b
balkezes		ν_e	e	ν_μ	μ	ν_τ	τ
jobbkezes		N_e	e	N_μ	μ	N_τ	τ
		leptonok					

1. ábra. Az ismert $\frac{1}{2}$ spinű elemi részecskék táblázata, amelyen külön sorban szerepelnek a „balkezes” és „jobbkezes” spinállapotok. Az (u, d, c, s, t, b) a 6 kvarkfajta nevének rövidítései a (e, μ , τ) a három töltött leptont, míg (ν_e , ν_μ , ν_τ) a velük társuló neutrínókat jelöli. Az utóbbiak a Standard Elméletben csak „balkezes” állapotban létezhetnek!

kuló modell neve „neutrínókkal minimálisan kiegészített Standard Elmélet”, rövidítve vMSM. Ez a kiegészítés jóval „gazdaságosabb”, mint bármely divatos szuperszimmetrikus (SUSY) vagy nagy egységesítésű (GUT) javaslat, amelyekben a kiegészítő részecskék száma a jelenleg ismertekkel (közel) azonos.

Az új neutrínók kizárólag a már ismert neutrínókkal hatnak kölcsön, ezért kapták a „steril neutrínó” nevet. A Standard Elmélet zérus tömegű neutrínói éppen e kölcsönhatások révén nyerik el végső, igen kis tömegüket. A szerzők az új neutrínók tömegei számára a 100 keV – 1 GeV tartománybeli értéket találják a legkedvezőbbnek. Pontosabban, az egyik új neutrínónak javasolt 100 keV körüli tömeg alkalmassá teszi azt a sötét anyag szerepének betöltésére. A másik két neutrínó pedig 1 GeV nagyságrendű tömegével részben tömeget generál a könnyű neutrínóknak, részben képes az Univerzum anyag-antianyag aszimmetriája kialakulásának értelmezésére.

2. ábra. Ugyanaz, mint az 1. ábra, ám annak üresen maradt helyeire kerülnek a kiegészített elméleti modell nehéz, csak „jobbkezes” spinállapotú steril neutrínói (N_1 , N_2 , N_3).

Előadásának záró részében Shaposhnikov professzor a feltételezett új neutrínók megfigyelésének stratégiájára kidolgozott javaslatait vázolta. A legfontosabb bomlási módust, amellyel egy röntgenfoton kibocsátásával a nehéz neutrínó egy könnyebbe átalakulhat, az űrben dolgozó röntgenteleszkópokkal lehetne megtalálni a könnyebb nehéz-neutrínó esetében. A nehezebb nehéz-neutrínók bomlásai megfigyelésére speciális detektorok építése adna lehetőséget a már működő gyorsítóknál. Bár modelljének egyszerűsége és egyidejűleg három alapvető kérdés megválaszolására való képessége igen vonzó, Shaposhnikov mégis elképzeléseik viszonylag olcsó tesztelhetőségét (és cáfolhatóságát) emelte ki összefoglalójában.

Az Ortvay-kollokvium közönsége nagyszámú kérdéssel adott módot az előadónak elmélete még részletesebb kifejtésére. A kérdés-szekció lezárása után *Kürti Jenő*, az ELFT főtitkára adta át az 2013. évi emlékezőadót illető érmet, *Varga Imre* Marx György 75. születésnapjára készített alkotásának egy példányát.

Patkós András

AZ AKADÉMIAI ÉLET HÍREI

PhD-fokozatok nyomában: fókuszban a minőség és a perspektivikus pályáiv

A fokozatot szerzett PhD-hallgatók nyomon követésének módszertanáról, a nyomon követés eredményeinek tanulságairól és tudománypolitikai hasznosításáról tartott tudományos eszmecserét az MTA, a Magyar Akkreditációs Bizottság (MAB) és az Országos Doktori Tanács (ODT). A résztvevők megvitatták a PhD-képzés minőségi megújításának feltételeit és lehetőségeit.

Pálincás József, az MTA elnöke vitaindító megnyitójában – az április 6-án megrendezett 11. Bolyai Műhelykonferencia tanulságaira is utalva – megerősítette: a hazai PhD-képzés minőségi megújításához elenged-

hetetlen a képzés struktúrájának és színvonalának, valamint a megszerzett PhD-fokozatok tudományos értékének kritikus felülvizsgálata.

Balázs Ervin, az MTA rendes tagja, az MAB elnöke a doktori túlképzésre utalva rámutatott, hogy a reálisnak mondható 100 helyett jelenleg mintegy 70-nél több, 170 doktori iskola működik Magyarországon. A képzések minőségéről szólva pedig emlékeztetett rá, hogy a 2011. évi felsőoktatási törvényben, illetve a doktori kormányrendeletben megfogalmazottak szerint jelenleg felülvizsgálják a doktori iskolák által odaítélt PhD-fokozatok minőségét.

Mihály György, az MTA rendes tagja, az ODT elnöke előadásában a doktoranduszi pálya nyomon követésének tanulságait ismertette. Elmondása szerint az ODT adatbázisa közvetlenül is alkalmas a doktori képzések színvonalának összehasonlításához szükséges statisztikai adatok kigyűjtésére (például nappali/levelező képzésben részt vevők aránya, a lemorzsolódás mértéke, abszolutóriumot szerzők száma).

„Rengetegen kezdik el a PhD-képzést, ám kevesen szerzik meg a tudományos fokozatot” – mutatott rá Mihály György. A sikeres kutatói pálya kulcsfontosságú elemeként említette a jó témaválasztást, a motiváltságot és a predoktori ösztöndíj jelentőségét. A lemorzsolódás okait taglalva megjegyezte: az ösztöndíj a pályakezdők átlagfizetésének felét sem éri el.

<http://mta.hu>

HÍREK A NAGYVILÁGBÓL

Az első, négy kvarkot tartalmazó részecske létezését megerősítették

Fizikusok újraélesztettek egy részecskét, amely az Ősrobbanás utáni első forró pillanatokban létezhetett. A titokzatos $Z_c(3900)$ elnevezésű részecske az első, megerősített négy kvarkból összetett részecske, az Univerzum anyaga nagy részének építőköve.

Egészen mostanáig a megfigyelt, kvarkokból álló részecskék mindössze három kvarkot tartalmaztak (mint a proton és a neutron), vagy csak két kvarkot (mint a kozmikus sugárzásban található pionok és kaonok). Bár a fizika törvényei nem zárják ki a nagyobb csoportosulásokat, a kvartettek megtalálása kibővíti a lehetőségeket, amelyekben a kvarkok az anyag exotikusabb formáit is létrehozhatják.

A részecske felfedezése nagy meglepetés volt *Zhiqing Liu*, a pekingi Nagyenergiájú Fizikai Intézet és a Belle kollaboráció kutatója szerint, amely az egyike volt a felfedezést a *Physics Review Letter*ben bejelentő két kutatócsoportnak.

A japán Tsukuba városában működő High Energy Accelerator Research Organization (KEK) Belle részecskedetektora intenzív elektron- és pozitronnyalábok ütközését vizsgálja. Ezekben az ütközésekben az energia mindössze ezredrésze a világ legnagyobb energiájú

gyorsítója, a genfi Nagy Hadronütköztető (LHC) energiájának, azonban elegendő ahhoz, hogy megközelítse a korai Univerzumban uralkodó viszonyokat. A KEK-ben az ütközések száma több mint kétszerese az LHC-nál, és alkalmanként olyan ritka részecskék is születnek az ütközésekben, amelyek a természetben nem fordulnak elő – mindössze egy szempillantásnyi ideig léteznek, azután alkotórészeikre bomlanak.

Az ütközés szubatomi „repszei” amelyek a négykvark rendszerek bomlásánál várhatóak, két „bájos” kvark, valamint két könnyebb kvark, amelyek töltést adnak a részecskének. 159 ilyen $Z_c(3900)$ birtokában a Belle-csapat azt állítja, hogy egy a három és fél millióhoz annak a valószínűsége, hogy az eredmény kísérleti hiba lenne. *Riccardo Faccini*, a római Sapienza Egyetem részecskefizikusa szerint „világos bizonyítéka van a négykvarkos részecske létezésének”.

Az új részecske létezését egy második kísérlet is megerősíti: a pekingi Beijing Electron Positron Collider BESIII spektrométere is talált 307 $Z_c(3900)$ részecskét 10^{36} elektron-pozitron ütközés vizsgálatával. „Ez bizonyítja az összes többi részecske létezését, amelyet a Belle együttműködés megfigyelt” – állítja

VAN ÚJ A FÖLD FELETT

Az elmúlt 15 év legfontosabb csillagászati eredményeit összefoglaló, tanórai előadásra is alkalmas segédanyag on-line változata szabadon letölthető a www.fizikaiszemle.hu honlap „mellékletek” pontjából.



Fred Harris, a University of Hawaii, Manoa részecskefizikusa, és a BESIII szóvivője. 2008-ban a Belle a négy-kvarkos állapot egy másik jelöltjét is látta, 2011-ben pedig két további részecskét, amelyek négy kvarkból állhattak. Azonban más részecskegyorsítók nem erősítették meg ezeket a megfigyeléseket.

A legújabb részecskénél senki nem kérdőjelezi meg az alkotó kvarkok számát. Inkább az elrendezésük körül van vita, amelynek fontos következményei lehetnek a kvantum-színdinamikában. Az elméleti fizikusok két táborra oszlanak.

Az egyik tábor azt vélelmezi, hogy a részecske ténylegesen két közönséges mezonból áll, vagyis a $Z_c(3900)$ részecske két mezon molekulyszerű kötődéséből jön létre.

Más elméletek az új részecskét tetrakvarknak tételezik fel – amely négy kvark szoros kötődése egy tömör labdaszerű alakban, amelyben két kvark és két anti-kvark van. Ilyen páros nem fordul elő az eddig ismert részecskéknél, ezért az anyag egy új építőköve lehet.

A tetrakvarkelmélet hívei szerint a két mezonból álló „molekula” könnyen kettészakadhat, de ezt még nem figyelték meg.

A vita eldöntésére a BESIII kutatói tovább ásnak a kísérleti adatokban, amelyeket decemberben és januárban gyűjtöttek az első mérések alatt. Annak a függvényében, hogy mit találnak, a $Z_c(3900)$ rejtély megoldásának várnia kell, amíg a Belle-detektor új és korszerűbb változata a tervek szerint 2015-ben üzembe áll.

<http://www.nature.com>

A fizika törvényeinek látszólag ellentmondó viselkedésű anyagot fedeztek fel

Chicago egyik külvárosi laboratóriumában kutatók egy csoportja a fizika törvényeivel látszólagos ellentmondásban olyan módszert talált, amellyel nyomás hatására az anyag kiterjed, ahelyett hogy összenyomódna/összehúzódna.

„Olyan, mintha egy követ összenyomva egy óriási szivacsot hoznánk létre” – mondja *Karena Chapman*, a U.S. Department of Energy laboratóriumának vegyészje. „Az anyagok nyomás alatt sűrűbbek és tömörebbek lesznek, mi azonban ennek éppen az ellenkezőjét látjuk. A nyomással kezelt anyag sűrűsége a kiinduló állapoténak a fele. Ez ellentmond a fizika törvényeinek.”

Mivel ez a viselkedés lehetetlennek tűnik, Chapman és kollégái több évig kísérleteztek, amíg elhitték a hihetlent és megértették, hogyan lehetséges a lehetetlen. Minden kísérletnél ugyanazt a döbbenetes

eredményt kapták. „A kötések az anyagban teljesen átrendeződnek, ez egyszerűen felfoghatatlan.”

A felfedezés nemcsak a tankönyveket fogja átírni, hanem megduplázza az iparban használatos porózus csomagolóanyagok választékát is. A kutatók ezeket az anyagokat, amelyek szerkezetében szivacszerű lyukak vannak, anyagok tárolására és szűrésére használják. A szivacszerű lyukak alakja szerint különböző molekulákhoz választhatók ezek az anyagok, amelyeket vízszűrőnek, kémiai szenzornak és összenyomható széndioxid-tárolónak is felhasználhatnak hidrogén üzemanyagcellákban. A kutatócsoport eredményeiről a *Journal of the American Chemical Society* május 22-i számában számoltak be *Exploiting High Pressures to Generate Porosity, Polymorphism, And Lattice Expansion in the Nonporous Molecular Framework Zn(CN)₂* címmel.

<http://www.sciencedaily.com>

ОГЛАВЛЕНИЕ

П. Сабо, М. Г. Сабо: Куча планет, обнаруженных станцией Кеплер

М. Шереш, А. Чук: Стабильность строя многоплитной системы из двойных элементов аморфный Si/Ge – часть вторая

А. Эри, Г. Хорват: Достижение простой или двойной фокусировки без искажений – назначение средней части на линзах трилобитов – часть первая

К. Кермес, Г. Пистер, З. Вертеши, Л. П. Биро, Ж. Балинт: Роль синей окраски бабочек при установлении их рода другими бабочками того же рода – часть первая

А. Хаген: Оценка скорости движения динозавров на основе их следов

Л. Вирт: Два с половиной столетия с опубликованием физики Ньютона в Венгрии ученым П. Мако

Э. А. Сала: Памяти К. Сили

ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

Ш, Эри, Я. Матх: Обучение физике: что, как, кому?

Т. Стонабский: Физика определения наименьшего безопасного расстояния от впереди едущего

Т. Чёрч: Как «создать» Хиггс-бозон из кварково материала? – часть вторая

М. Надь, К. Радноти: Решение задач по распределению Бойцмана

К. Радноти: Отчет о XVI. студентском конкурсе им. Л. Силарда по ядерной физике – часть первая

К. Бараняй: Тающие айсберги, согревающиеся моря

Самая большая лимонная электростанция

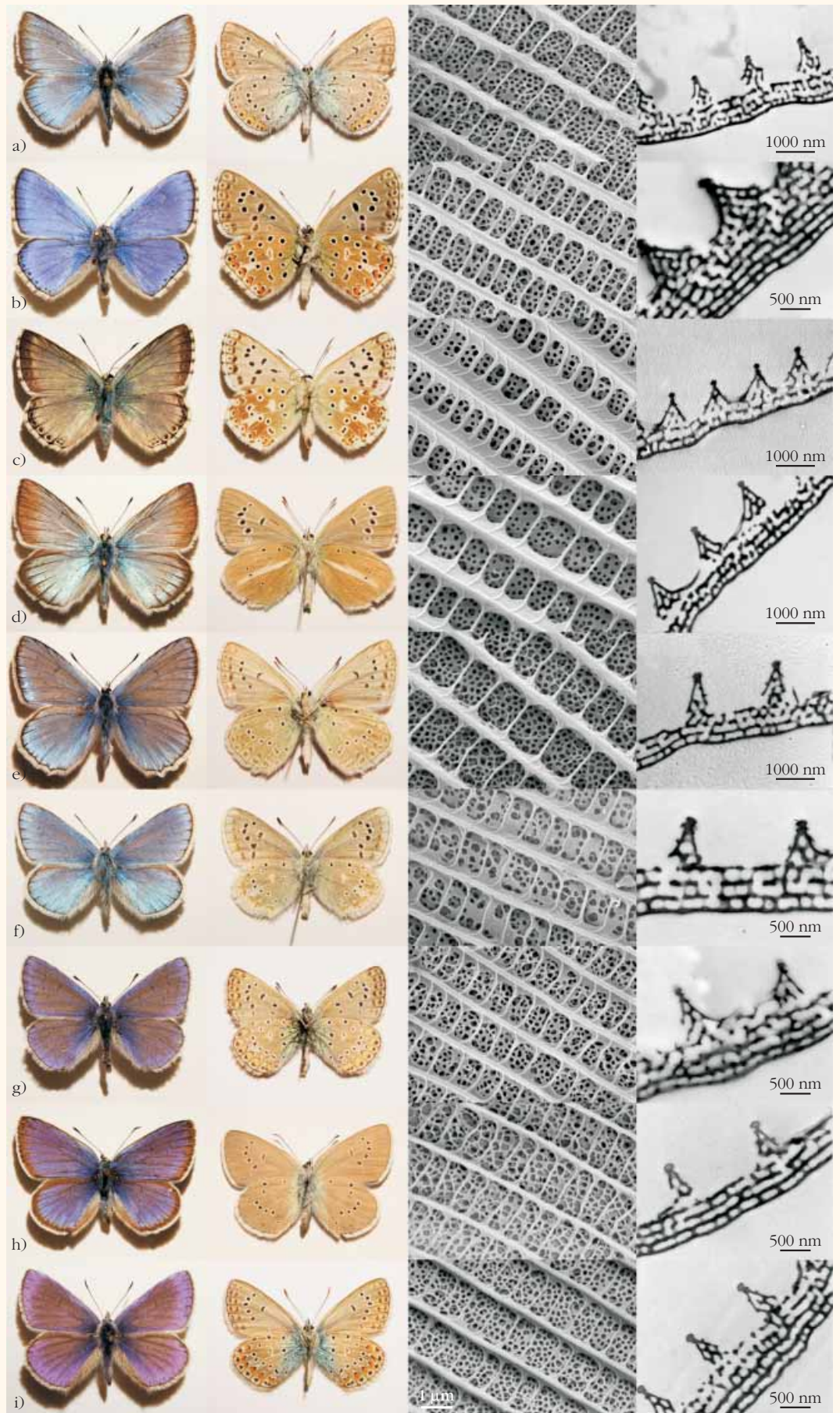
ЛИЧНЫЕ МНЕНИЯ

Дь. Валаш: Об изменении климата

З. Трочани, Д. Хорват: Вопрос без ответа

КНИГИ

ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ



1. ábra. 1. és 2. oszlop: a megvizsgált 9 faj múzeumi példányainak optikai képe. 1. oszlop: felülnézet (felszín). 2. oszlop: alulnézet (fonák). 3. és 4. oszlop: elektronmikroszkópos felvételek. 3. oszlop: pásztázó elektronmikroszkópia. 4. oszlop: transzmissziós elektronmikroszkópia. (a) Amandusz boglárka (*Polyommatus amandus*), (b) égszínkék boglárka (*Polyommatus bellargus*), (c) ezüstkék boglárka (*Polyommatus coridon*), (d) csíkos boglárka (*Polyommatus damon*), (e) csipkés boglárka (*Polyommatus dapfnis*), (f) mezei boglárka (*Polyommatus dorylas*), (g) ikarusz boglárka (*Polyommatus icarus*), (h) aprószemes boglárka (*Polyommatus semiargus*), (i) terzitész boglárka (*Polyommatus thersites*).

Kertész Krisztián és munkatársai 231–234. oldalakon található *Színek harmóniája...* című írásához.

Gyere el a múzeumba!

A kiállítás
korhatár nélkül,
fényképes
igazolvánnyal
ingyenesen
látogatható.

Nyitva tartás:
hétfő-péntek: 8.00-15.00
szombat: 9.00-13.00
vasárnap: ZÁRVA

Érdeklődni lehet: 75/50-74-32

MVM Paksi Atomerőmű Zrt.
7031 Paks, Pf. 71. hrsz. 8803/15
telefon és fax: 06-75-505-000; 1/355-1332
weboldal: www.atomeromu.hu
Facebook profil:
www.facebook.com/paksiatomeromu



Atomenergetikai Múzeum



mvm paksi atomerőmű

