

# fizikai szemle



2012/5

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, Czitrovszky 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 szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>

A címlapon:

Az IceCube Laboratórium az  
antarktisi Amundsen-Scott  
állomáson. Az IceCube kísérlet  
5000 optikai modul segítségével,  
mintegy köbkilométernyi jégben  
detektálja a kozmikus neutrínókat.  
(Fotó: NSF/S. Lidstrom)

## TARTALOM

Horváth Dezső, Nagy Sándor, Nándori István, Trócsányi Zoltán:

A fénynél gyorsabb neutrínók tündöklése és bukása

– egy téves felfedezés anatómiája

145

Neutrínó-áltudomány – vélemény (Patkós András)

152

Marx György: A modern fizika forradalma és József Attila

154

Patkós András: Földneutrínók

157

Vastagh György: Balatonfüredi emlékeim Marx György professzor úrról

159

### A FIZIKA TANÍTÁSA

Hraskó Péter: A pajta-rúd paradoxonról

162

Schronk Edina, Daróczy Csaba Sándor: Kísérletek nanovastagságú

hártyakondenzátorokkal

164

Egyed László: Arkhimédész nyomában

169

Härtlein Károly: Kísérletezzünk otthon!

171

### HÍREK – ESEMÉNYEK

173

### PÁLYÁZATOK

180

D. Horváth, S. Nagy, I. Nándori, Z. Trócsányi: Neutrinos, faster than light

– the anatomy of an erroneous discovery

My view on the Neutrino pseudo-science (A. Patkós)

G. Marx: The revolution of modern physics and Hungarian poet Attila József

A. Patkós: Geo-neutrinos

G. Vastagh: Remembrance of days spent together with G. Marx at Balatonfüred

### TEACHING PHYSICS

P. Hraskó: On a paradoxon to be explained with the finite speed of sending information

E. Schronk, Cs. S. Daróczy: Experiments with nano-thickness foil condensers

L. Egyed: Experiments-sequels to Archimedes'

K. Härtlein: Physical experiments to be performed at home

### EVENTS, TENDERS

D. Horváth, S. Nagy, I. Nándori, Z. Trócsányi: Neutrinos schneller als Licht?

Die Anatomie einer irrümlichen Entdeckung

Gedanken über die Neutrino-Pseudowissenschaft (A. Patkós)

G. Marx: Die Revolution der modernen Physik und der ungarische Dichter Attila József

A. Patkós: Geo-Neutrinos

G. Vastagh: Erinnerungen an meine gemeinsam mit G. Marx verbrachte Zeit in Balatonfüred

### PHYSIKUNTERRICHT

P. Hraskó: Über ein „Paradoxon“ und die endliche Geschwindigkeit,

mit der Information übertragen werden kann

E. Schronk, Cs. S. Daróczy: Versuche mit Kondensatoren mit Dielektrik

einer Dicke im nano-Bereich

L. Egyed: Versuche im Anschluss an Archimedes

K. Härtlein: Zu Hause ausgeführte Experimente

### EREIGNISSE, AUSSCHREIBUNGEN

Д. Хорват, Ш. Надь, И. Нандори, З. Троцани: Нейтрино с скоростью выше световой...

Подробности ошибочного изобретения

Размышления по лже-науке нейтрино (А. Паткош)

Д. Маркс: Революция современной физики и венгерский поэт Аттила Йожеф

А. Паткош: Гео-нейтрино

Д. Вацмаг: Воспоминание о времени совместного пребывания с Д. Марксом

в Балатонфюреде

### ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

П. Хршко: Парадокс в связи с ограниченной скоростью передачи информации

Э. Шронк, Ч. Ш. Дарочи: Конденсаторы с диэлектриками толщиной нанометров

Л. Эгед: Эксперименты в стиле Архимеда

К. Гэртлейн: Эксперименты для выполнения дома

### ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ, ОБЪЯВЛЕНИЯ-КОНКУРСЫ

**Fizikai Szemle**  
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:



paksi atomerőmű



Nemzeti  
Kulturális  
Alap

NCA  
Nemzeti Civil Alaprogram



# Fizikai Szemle

## MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

LXII. évfolyam

5. szám

2012. május

## A FÉNYNÉL GYORSABB NEUTRÍNÓK TÜNDÖKLÉSE ÉS BUKÁSA – egy téves felfedezés anatómiája

Horváth Dezső, MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, Budapest és MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen  
Nagy Sándor, Debreceni Egyetem és MTA–DE Részecskefizikai Kutatócsoport  
Nándori István, MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen és MTA–DE Részecskefizikai Kutatócsoport  
Trócsányi Zoltán, Debreceni Egyetem és MTA–DE Részecskefizikai Kutatócsoport

*Áttekintjük a fénynél gyorsabb neutrínók előéletét, látszólagos megfigyelésük és azok cáfolata történetét, valamint a hozzá fűzött értelmezési lehetőségeket. Megmutatjuk, bizonyos esetekben, a tudomány fejlődése szempontjából milyen hasznos lehet az ilyen – egyébként hibásnak bizonyuló – kísérleti eredmény.*

### Neutrínókísérletek

A neutrínófizikát története során végig rejtélyek kísérték és kísérik ma is, az olvasó részletes leírást talál *Fényes Tibor* cikkében [1]. *Pauli* már eleve azért vezette be, mint észlelhetetlen semleges részecskét *neutron* néven, hogy rendbehozza az energiamegmaradást az atommagok béta-bomlásaiban. Később, amikor előkerült az *igazi* neutron, *Fermi* lekicsinyítette olaszul *neutrínó*vá. A neutrínókon végletes a gyenge kölcsönhatás paritássértése: gyakorlatilag csak balra (a mozgásirányával ellenkező irányban) polarizált neutrínók és jobbra polarizált antineutrínók léteznek. Sokáig azt hittük, hogy nincs tömegük. Egymásba alakulásuk, a *neutrínóoszilláció* felfedezése vezetett a nullánál nagyobb tömegük felismeréséhez.

A neutrínóoszilláció megfigyelése megoldotta a neutrínófizika számos rejtélyét. Tisztázta, hogy azért látunk a várakozásnál sokkal kevesebb elektron-neutrínót a Nap atommag-reakcióiból és müon-neutrínót a légkörrel kölcsönhatásba lépő kozmikus sugarakból, mert a háromféle töltött leptonhoz (elektron, müon és tau-lepton) tartozó neutrínófajta egymásba tud repülés közben alakulni. A számos működő neutrínókísérlet (1. ábra) közül három földi távolságokon tanul-

mányozza a neutrínóoszillációt: részecskegyorsítóban előállított müon-neutrínó-nyalábot irányítanak a néhány száz km-re fekvő, föld alatti észlelőrendszerhez. Amerikában a Fermilab a 735 km-re, a Soudan-bányában elhelyezett MINOS-detektorhoz<sup>1</sup> (2. ábra), Japánban a KEK-laboratórium a 295 km-re fekvő Kamioka-bánya Super-Kamiokande<sup>2</sup> detektorához (3. ábra, azon figyelték meg 15 éve először a neutrínóoszillációt), a Genf melletti CERN pedig a 732 km-re, Rómától délre fekvő Gran Sasso föld alatti laboratórium felé.

A neutrínóoszilláció felvet egy újabb problémát. Általában akkor következik be keveredés két részecskeállapot között, ha a tömeg-sajátállapotuk nem egyezik valamelyik kölcsönhatáshoz tartozó sajátállapotukkal. A neutrínó azonban a Standard modell értelmében csak a gyenge kölcsönhatásban vesz részt. A Standard modell egyenleteibe a tömegeket mesterségesen csempésszük be (és annak örülünk, hogy a Higgs-mechanizmus ezt egyáltalán lehetővé teszi). Ha ezt úgy tesszük, hogy a gyenge és a tömeg-sajátállapotok különböznek, akkor nincs szükség ötödik erőre, hogy felbontsa a neutrínó állapotait.

A neutrínóoszilláció felfedezése tehát úgy értelmezhető, hogy a neutrínóknak van tömege. Ezzel kapcsolatban érdekes kérdés, hogy mekkora a neutrínók sebessége. Amíg feltételezzük, hogy a neutrínók tömege zérus, a speciális relativitás elve szerint sebes-

<sup>1</sup> Main Injector Neutrino Oscillation Search, remek fantázianeveket találunk ki.

<sup>2</sup> Kamioka Nucleon Decay Experiment, eredetileg a protonbomlás ellenőrzésére.





1. ábra. Neutrínókísérletek bányában, alagútban, víz és jég alatt, reaktorok közelében. A föld vagy vízréteg csökkenti a légkörből és a Naptól jövő töltött részecskék hatását, a víz vagy jég egyben észlelőközegként szolgál Cserenkov-sugárzás segítségével.

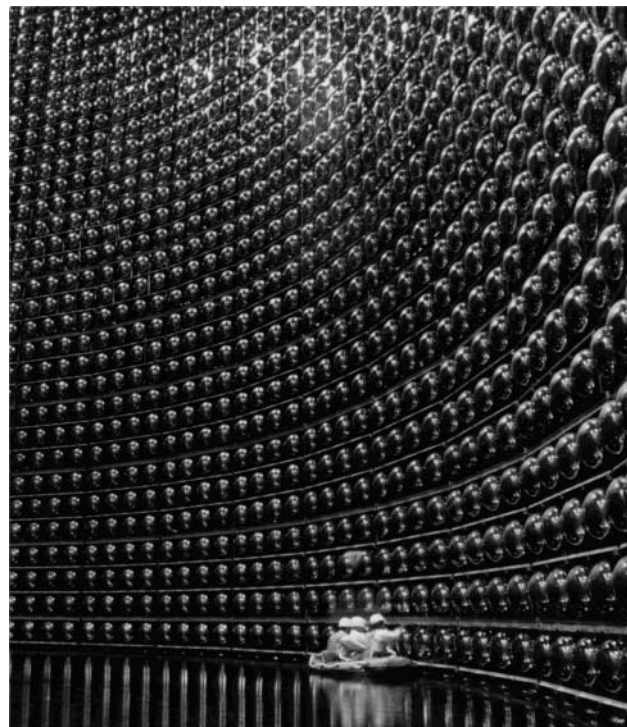
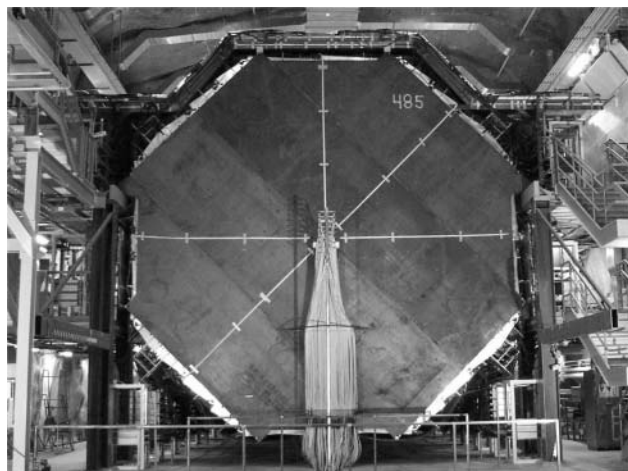
ségük üres térben a vákuumbeli fénysebességgel lesz egyenlő. Véges tömegű részecske a relativitás elvéből következően nem érheti el a fénysebességet, bár azt tetszőlegesen megközelítheti, miközben energiája minden határon túl növekszik.

Részecskék mérésének hagyományos módja adott távolság berepüléséhez szükséges idejük (time of flight = ToF) megmérése. Az ilyen mérés viszonylag egyszerű, amíg a részecske sebessége nem nagy: nem túl nagy távolságot, illetve nem nagyon rövid időt nagy pontossággal tudunk mérni; a kettő hányadosa megadja a sebességet. Ha viszont a részecskesebesség nagyon nagy, akkor vagy nagyon nagy távolságot, vagy nagyon rövid időt, vagy egyszerre mindkettőt igen pontosan kell tudnunk mérni. Sokáig ez tette nehezzé a fénysebesség pontos meghatározását is. A

múlt század második felében már nem is erre a módszerre alapuló mérésekkel sikerült olyan pontosan meghatározni a fény sebességét üres térben, hogy *Bay Zoltán* javaslatára a fény által a másodperc 299 792 458-ed része alatt megtett út lett a méter meghatározásának alapja (1. táblázat).

3. ábra. Technikusok ellenőrzik a Super-kamiokande detektor fotoelektron-sokszorozóit töltés közben. A detektor érzékelő közege 50 000 tonna szupertiszta víz, amelyben a neutrínók ütközése Cserenkov-fényt kelt.

2. ábra. A MINOS (Main Injector Neutrino Oscillation Search) kísérlet észlelőrendszere a Soudan-bányában.



## A vákuumbeli fénysebesség meghatározásának időrendi története

Év	kutatók	mérés módja	c (km/s)
1675	Rømer és Huygens	Io periódusából	220 000
1729	James Bradley	asztronómiai fényelhajlásból	301 000
1849	Hippolyte Fizeau	ToF forgó tárcsával	315 000
1862	Léon Foucault	ToF forgó tükörrel	298 000±500
1907	Rosa és Dorsey	elektromágneses állandókból	299 710±30
1926	Albert Michelson	ToF forgó tükörrel	299 796±4
1950	Essen és Gordon-Smith	üregrezonátorral	299 792,5±3,0
1958	K. D. Froome	rádió-interferometriával	299 792,50±0,10
1972	Evenson és mtársai.	lézer-interferometriával	299 792,4562±0,0010
1983	17. Mérésügyi Konferencia	méter meghatározása	299 792,458 (pontos)

A MINOS-kísérlet 2007-ben közölte [2], hogy az oszcilláció tanulmányozása mellett megmérték a neutrínók sebességét. A neutrínók a vákuumbeli fénysebességgel számíthatóhoz képest  $126 \pm 32$  (stat)  $\pm 64$  (sziszt) ns-mal ( $1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$ ) gyorsabban tették meg a 735 km-t, mint a fény vákuumban. Az első bizonytalanság statisztikus, tehát az észlelt neutrínók számától függ, a második szisztematikus, azaz a kísérlet mérési és adatelemzési technikájából következik. A végeredményhez a kétféle bizonytalanságot a statisztika szabályai szerint összegezzük. A számokból látszik, hogy az adatgyűjtést nem volt értelme folytatni, hiszen a statisztikus bizonytalanság már csak a fele volt a szisztematikusnak. A MINOS neutrínóinak a fényhez viszonyított sebességkülönbsége

$$\frac{v_\nu - c}{c} = (5,1 \pm 2,9) \cdot 10^{-5} > 0$$

volt. Eszerint  $v_\nu$  nagyobb, mint a fénysebesség, de csak kétszeres mérési bizonytalanságon belül, tehát nem szignifikánsan, és a kísérletezők konklúziója az

4. ábra. Az SN1987A szupernóva képe a Tarantula csillagköd szélén.



volt, hogy megerősítették: a neutrínók közel fénysebességgel terjednek.

20 évvel korábban már történt ilyen sebességmérés. Az 1987A szupernóva [3] neutrínóit néhány órával a felvillanása előtt észlelték a működő nagy detektorok, a japán Kamiokande és az amerikai IMB-kísérlet.<sup>3</sup> Szupernóvák esetén a keletkező neutroncsillag felszabaduló kötési energiája túlnyomórészt neutrínók formájában távozik: a Nagy Magellán-felhőben, 168 000 fényévre levő 1987A esetében ez mintegy  $\sim 10^{58}$  db,  $\langle E_\nu \rangle \sim 10\text{--}15$  MeV energiájú elektron-neutrínót jelentett, amelyek fele az első

1–2 s, a többi 10–100 s alatt lép ki. 1987 február 23-án a 2140 tonnás Kamiokande hajnali 2 óra 52 perckor a jellemző háttérrel, 1 neutrínót észlelt 10 s-ként, 7 óra 35 perckor pedig 11 neutrínót 13 s alatt; a jóval nagyobb tömegű, 6000 tonnás IMB 2 óra 52 perc körül nem észlelt neutrínót, 7 óra 35 perckor viszont 8 neutrínót 4 s alatt. A szupernóva fényjele késve érkezik, mivel a neutrínók gyakorlatilag akadálytalanul lépnek ki, amíg a hőnek ki kell verekednie magát a felrobbant csillag anyagából: az SN1987A fénypontját még másfél évig látni lehetett (4. ábra). Az SN1987A tanulmányozása ahhoz a következtetéshez vezetett, hogy a neutrínók sebessége nagyon pontosan egyezik a fényével vákuumban:

$$v_\nu = (1 + \delta) c, \text{ ahol } |\delta| < 10^{-9}.$$

## Az OPERA-kísérlet

Az OPERA-kísérlet<sup>4</sup> 2011. szeptember 21-én kiszivárogtatta, majd másnap bejelentette, hogy fénysebességnél gyorsabb ( $\delta \approx 2,5 \cdot 10^{-5}$ ) neutrínókat észleltek a CERN<sup>5</sup> és az olaszországi Gran Sasso Nemzeti Laboratórium között (732 km). Beküldtek egy részletes cikket [4] a nagyenergiás fizika elektronikus könyvtárába és előadást tartottak róla a CERN-ben. Az OPERA-kísérletet is a neutrínóoszcilláció vizsgálatára építették, az eredeti célja a müon-neutrínó tau-neutrínóvá alakulásának kimutatása volt. Igen érdekes a mérőberendezés szerkezete (5. ábra): két egyforma modulból áll, bennük szcintillációs lapszámlálók változtatják egymást fotoemulziós lemezekkel. Amikor a szcintillátor jelzi, hogy tau-neutrínóra valló esemény történt, a megfelelő fotoemulziós lemezeket kiemelik,

<sup>3</sup> Irvine–Michigan–Brookhaven együttműködés.

<sup>4</sup> Oscillation Project with Emulsion tRacking Apparatus.

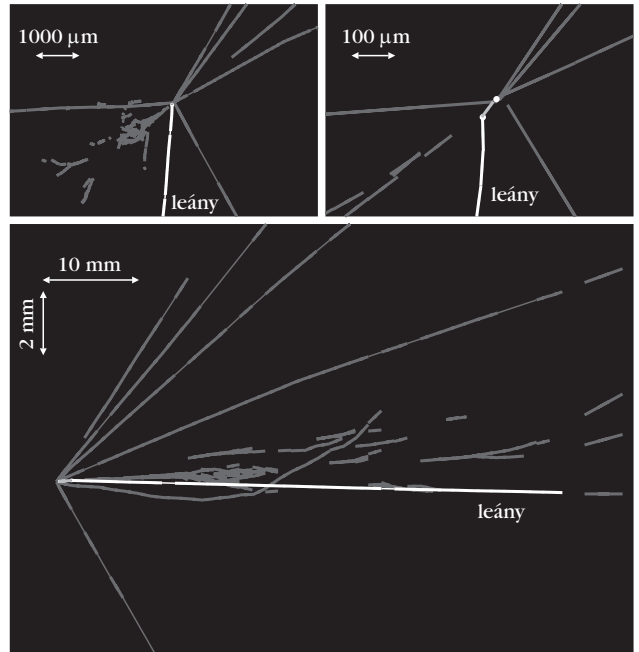
<sup>5</sup> CNGS, CERN Neutrinos to Gran Sasso, CERN-neutrínók Gran Sasso felé.



5. ábra. Az OPERA-kísérlet a Gran Sasso föld alatti laboratóriumban.

kiolvasásra elviszik, majd idővel – törölve – visszarakják. A szcintillátor gyors, a fotoemulzióknak kitűnő a képalkotása. A CNGS és az OPERA három évi működése alatt sikerült is azonosítaniuk egy tau-neutrínót (6. ábra).

A fénynél gyorsabb neutrínók megfigyelését tudományos körökben igencsak kétkedve fogadták. Az utóbbi évtizedekben számos esetben megjelent híradás a részecskefizika addigi tapasztalatainak ellentmondó kísérleti eredményről, amely később rendre hamisnak bizonyult (dibarionok, pentakvarkok, különböző Higgs-bozonok és más egzotikus részecskék). A kiszivárogtatás miatt a CERN főigazgatója körlevelet küldött a CERN 13 000 kutatójának mértéktartást kérve a témára vonatkozó nyilatkozatokban. Kiadta továbbá a következő közleményt: „Engedélyeztem a CERN-i előadást, mert a laboratóriumnak kötelessége az [OPERA] együttműködésnek lehetővé tenni, hogy a tudományos közösség elé tárja megvitatásra, amit látott.” Az OPERA-kísérlet 200 résztvevője közül 175 jegyezte a cikket (a többi nem adta hozzá a nevét); közölték, hogy fél évet töltöttek a kísérlet ellenőrzésével, de nem találtak hibát rajta. Igazából a hibát csak még fél évvel később találták meg: valószínűleg egy hibás optikai csatolás okozott mintegy 70 ns késlekedést az órákat összehangoló szinkronjelen, ami a neutrínók látszólagos beérkezési idejét ugyanannyival korábbra tolt. Az OPERA sebességmérése a következőképpen működött. A CERN SPS (szuper-proton-szinkrotron) gyorsítója protonokat lő egy céltárgyba és az atommagokon történő szóródás elektromosan töltött pionokat, a legkönnyebb mezonokat kelt. A pionok 1 km hosszú vákuumvezetékben repülnek és elbomlanak müonra és müon-neutrínóra,  $\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm \nu_\mu$ . A megmaradt pionokat elnyeletik anyagban, az erős kölcsönhatás hiánya miatt sokkal nagyobb áthatoló képességű töltött müonokat a CERN-ben elhelyezett detektorokon átrepülve azonosítják és utána szintén lefékezik. A nagyenergiás pion bomlásakor a müont és a neutrínót előre löki ki, de a müon bomlása előtt lelassul, és a  $\mu^+ \rightarrow e^+ \bar{\nu}_e \nu_\mu$ , illetve  $\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$  reakció neutrínói szétszóródnak. Az OPERA-kísérlet felé irányított néhány centiméter



6. ábra. Az OPERA-kísérlet által azonosított esemény tau-neutrínó keletkezésével. Ez annak bizonyítéka, hogy a müon-neutrínó valóban át tud alakulni tau-neutrínóvá [5].

átmérőjű nyaláb tehát gyakorlatilag kizárólag müon-neutrínót tartalmaz. Mire Gran Sassióig ér, a becslések szerint több km-re szétterül és várhatóan részben más neutrínókká alakul, azonban az OPERA csak a müon-neutrínókra összpontosított a repülési idő mérése során. A CERN SPS gyorsítója a nagyenergiájú protonokat 10  $\mu$ s hosszú csomagokban küldte a céltárgyra, tehát ugyanilyen hosszú neutrínócsomag indult Gran Sasso irányába.

A neutrínók repülési idejét a protonok indítása és a neutrínók észlelése között mérték, a gyorsítónál és az OPERA-kísérletnél elhelyezett atomórákkal, amelyek szinkronizálását a GPS-rendszer segítségével folyamatosan ellenőrizték (7. ábra). A távolság és az idő mérést ellenőrizték a római geodéziai szakemberek végezték és a német mérésügyi hivatal ellenőrizte. Az időmérés fő szisztematikus bizonytalansága abból eredt, hogy az időszinkronizálás fényjeleit a földfelszínen levő GPS-vevőből el kellett juttatni az 1400 m mélyen fekvő Gran Sasso laboratóriumba.

Az órát a protonok kilökö mágnes indította. Ez a lehető legpontosabb módszer, hiszen a részecskenyaláb energiája 450 GeV volt, mélyen relativisztikus protonokkal és pionokkal, a neutrínó keletkezéséig a fény vákuumbeli sebességéhez rendkívül közeli sebességgel. Nagyon keveset számított tehát az időmérésben, hogy a 730 km-ből az első km-t másik részecske teszi meg fénysebességgel.

A kísérletezők azt kapták, hogy a neutrínók  $57,8 \pm 7,8$  (stat.)  $\pm 7,4$  (sziszt.) (azaz a hibaforrásokat összegezve  $58 \pm 10$ ) ns-mal előbb érkeznek, mint azt a fénysebességből várni lehet. Az OPERA neutrínói alapján könnyű kiszámítani, ha a neutrínók sebessége állandó, akkor a 168 000 fényévre levő SN1987A hasonló neutrínóinak, vagy legalább az év részüknek 4 évvel



korábban kellett volna érkeznük. Az 1980-as évek elején két nagy neutrínódetektor működött, a szovjet Baksan és az amerikai IMB, de egyik sem észlelt a szokásosnál nagyobb neutrínóáramot akkoriban. A Baksan 1980 és 1986 között átlagosan 0,16 neutrínót észlelt naponta, az IMB pedig 2 neutrínót, amíg az SN1987A 1987. február 23-i kitörésekor a Baksan 5 neutrínót 9 s alatt, az IMB pedig 8 neutrínót 4 s alatt. Ilyenkor mutatkozik igazán meg a részecskefizikai eseményregisztrálás óriási előnye: ha valami érdekes történik az észlelőrendszerben, minden adatot felírunk és tárolunk, tehát évtizedekkel később is ellenőrizni lehet, mi történt.

Jelentős volt azonban a különbség a szupernóva- és a gyorsító kísérletek körülményei között. A szupernóva elektron-neutrínókat bocsátott ki, a gyorsító müon-neutrínókat, a szupernóva neutrínói sokkal kisebb, MeV-es energián, vákuumban repülnek, amíg a gyorsítók GeV-es neutrínókat röptetnek földkéregben.

## Az OPERA-eredmény értelmezése

Az első reakció mindkét alapvető társadalmi közösségre jellemző volt. Az újságok szerint: *Megdőlte a relativitáselmélet!* A tudományos közösség reakciói általában kételkedést tükröztek, szinte valamennyien azt gondoltuk: *Ez lehetetlen, biztosan hibás a mérés!* Ennek megfelelően a fizikusok közleményei általában (1) hibát kerestek a kísérletben, (2) ellentmondásokat mutattak ki a korábbi elméleti és kísérleti munkákkal, és (3) ellenőrző kísérleteket javasoltak. Persze óhatatlanul felmerül a gondolat: *Mi van, ha mégis igaz?*, tehát volt aki (4) megpróbálta beilleszteni a fizika világképébe, amelyet persze ehhez meg kellett változtatni.

## Hiba a kísérletben

Az egyik azonnali ellenvetés az OPERA megfigyelése ellen az volt, hogyan lehet 10 ns pontossággal megállapítani egy 1000-szer olyan hosszú részecskecsomag érkezését. A CERN ezért 2011 végén két hétig egészen rövid, mindössze 3 ns-os impulzusokat küldött Gran Sasso felé, és azok is megerősítették a közel 60 ns-os sietést.

Mint említettük, az OPERA-kísérlet nagyon pontosan leírta a mérési módszert, és az igen gondosan végrehajtott, helyes mérésnek tűnt. Az idő és a távolság mérését szakemberek ellenőrizték. A távolság mérésénél kimutatták a laboratórium cm-es eltolódását egy földrengés következtében, a 20 cm-es

bizonytalanság tehát ésszerűnek tűnt fel. A nemzetközi irodalomban megjelent néhány nevetséges kifogás: egy szerző, például, azt állította, hogy a GPS-műhold mozgása a Genf–Gran Sasso vonal mentén okozhatott 60 ns-os eltérést, egy másik pedig az ide-oda cipelt atomórák menet közbeni elállítódásával próbálta a különbséget magyarázni, de a GPS-műholdak különböző irányokban repülnek, az időmérésüket még a gravitációs potenciál változásának hatására is korrigálják, az atomórákat pedig folyamatosan szinkronizálták. Másik lehetséges ellenvetés volt a távolság hőmérsékletfüggése a Föld felszínén és mélyén. Ezzel szemben télen és nyáron azonos különbséget mértek és a GPS-rendszer az eurázsiai kontinenshez rögzített koordinátarendszert használ, tehát mindentől független.

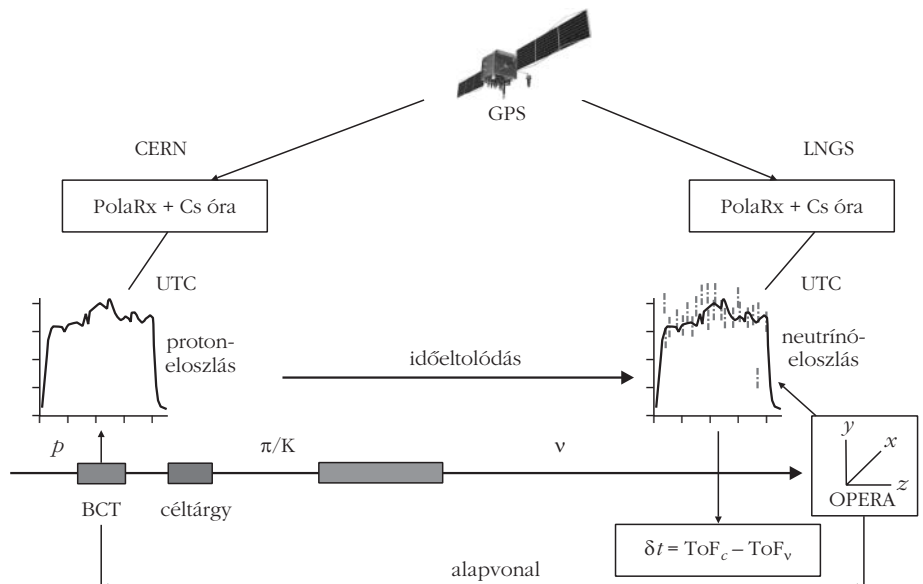
Végül, mint látjuk, a hibát maguk a kísérletezők találták meg, fél évvel a bejelentés után, és azt követően a kísérlet két vezetője, a szóvivő (így hívják a nagy együttműködések választott vezetőit) és az adott analízist végző csoport fizikai koordinátóra lemondott tisztességéről. A hivatalos közlemény két technikai problémát említett, a szóbeszéd pedig egy optikai kábel nem megfelelő érintkezése következtében fellépő késleltetést emlegetett.

## Elméleti és kísérleti ellenvetések

### A Cohen–Glashow-batás: fékezési sugárzás

Az OPERA bejelentése után szinte azonnal megjelent *Cohen* és *Glashow* cikke [6], amely *Coleman* és *Glashow* korábbi klasszikus közleménye nyomán kifejtette, hogy egy fénynél gyorsabb neutrínó gyenge kölcsönhatásban, a Cserenkov-sugárzáshoz hasonlóan, elektron-pozitron párok keltésével nagyon gyorsan veszítene energiát, és az teljesen eltorzítaná a mért energiaeloszlásokat. Az OPERA közelében levő

7. ábra. Az OPERA-kísérlet időmérési rendszere. Az időmérést a protoncsomag belövése indítja és a neutrínó észlelése állítja le. Az atomórákat GPS-műholdak segítségével szinkronizálják. A neutrínó-észlelések időbeni eloszlását a mért protoneloszlás görbéjével illesztik (az ábra mindkettőt mutatja kicsinyítve), így határozzák meg a neutrínók átlagos érkezési idejét a protonok indításához képest.



ICARUS-detektor<sup>6</sup> fizikusai ellenőrizték és nem láttak ilyen részecskéket. Ráadásul a szerzők becslése szerint a 12,5 GeV-nél nagyobb energiájú müon-neutrínóknak el kellene tűnnie emiatt, de sok-TeV-eseket is látni a kozmikus sugarakban. Az a tény, hogy az Antarktisz jegébe süllyesztett IceCube-kísérlet 500 km fölötti távolságról érkező, 100 TeV fölötti energiájú neutrínókat észlelt, a neutrínók és a fény vákuumbeli sebességének különbségét

$$\delta = \frac{|v_\nu - c|}{c} < 1,7 \cdot 10^{-11}$$

értékre korlátozza, amely 6 nagyságrenddel kisebb az OPERA által megfigyeltnél.

A Cohen–Glashow-cikk csaknem ugyanannyi hivatkozást kapott, mint az eredeti OPERA-közlemény, egészen komoly hatása volt a neutrínófizikára. Gondolatmenetüket követve számos kísérleti és elméleti ellenőrzési javaslat született az OPERA-hatásra.

### Neutrínóoszilláció

Neutrínóoszillációt mindhárom fajta neutrínó között megfigyelték, és a kísérletek szerint közöttük a tömegkülönbség nagyon kicsi,

$$|m_i^2 - m_j^2| \sim 10^{-3} - 10^{-4} \text{ eV}^2.$$

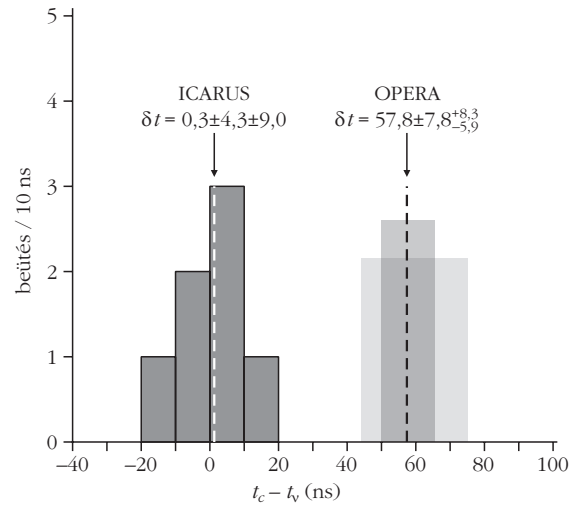
Még a Los Alamos-i LSND-kísérlet<sup>7</sup> által megfigyelt, de más kísérlet által meg nem erősített negyedik-féle (*steril*: töltött leptonhoz nem kapcsolódó) neutrínó nagyobb tömegkülönbsége sem elegendő a féynél gyorsabb mozgáshoz. Egyébként is nagyon nehéz megmagyarázni a féynél gyorsabb müon-neutrínó és féynél lassúbb elektron-neutrínó egymásba alakulását, de még a féynél gyorsabbakat is egymás között. Ráadásul a MINOS-kísérlet megállapította, hogy az eredetileg tiszta müonneutrínó-nyaláb a MINOS távoli detektorához érve 34%-ban elektron-neutrínóvá változott az érkezési idők különösebb torzulása nélkül. Megjegyezzük, hogy az SN1987A szupernóva féynél gyorsabb neutrínóinak – ha voltak is – időben annyira szét kellett terülniük, mire hozzánk elértek, hogy lehetetlen lett volna észlelni őket, az tehát, hogy az SN1987A-ból nem láttunk olyanokat, önmagában nem cáfolja, hogy az elektron-neutrínók egy része a féynél gyorsabban haladhatna.

### Ellenőrző kísérletek

Az általános vélekedés szerint addig nem szabad elfogadni az OPERA-éhoz hasonló eredményt, amíg azt másik független kísérlet meg nem erősíti. Erre kitűnő példa a már említett LSND-kísérlet, amely több, mint 20 éve egy negyedik típusú neutrínót figyelt meg: azt eddig sem megerősíteni, sem megcáfolni nem sikerült, tehát általános kételkedés övezi.

<sup>6</sup> Imaging Cosmic and Rare Underground Signals.

<sup>7</sup> Liquid Scintillator Neutrino Detector.



8. ábra. A CNGS-neutrínók érkezési ideje az OPERA és az ICARUS-detektorhoz a vákuumbeli fénysebességhez viszonyítva [7]. Az OPERA neutrínói a fénysebesség alapján vártnál 60 ns-mal korábban érkeztek, amíg az ICARUS-éi a fénysebességnek megfelelő repülési idővel.

A japán Tokaiban<sup>8</sup> épült J-PARC-laboratórium<sup>9</sup> T2K-kísérlete<sup>10</sup> közölte, hogy az időmérésük nem elég pontos ehhez, de a MINOS meg akarta ismételni az sebességmérést. Több más javaslat is született. A jelen cikk szerzői, például javasolni szándékoztak egy rövid távolságú, 2 km-es kísérletet, ahol a neutrínók mellett fény is futna, lehetővé téve a közvetlen összehasonlítást, a bizonytalanság túlnyomó része ugyanis a GPS-szinkronizációból és az időmérés hosszú optikai kábeleiből származik. Mindez, természetesen, okafogyottá vált, amikor az OPERA tudósított a mérési hibáról, és az OPERA-detektorhoz igen közel fekvő ICARUS-kísérlet közölte [7], hogy analizálták a tavaly októberi CNGS-adatokat és az OPERA-val ellentétben azt kapták, hogy a neutrínók a fénysebességnek megfelelően érkeztek meg (8. ábra).

Technikai jellegű ellenőrzést is végeztek 2012 márciusában és az eredményeket a Gran Sasso laboratóriumban rendezett szeminárium sorozatban foglalták össze [8]. Az OPERA és szomszédos LVD-kísérlet<sup>11</sup> együttműködve összehasonlította a vízszintesen beselő, mindkét detektort egymás után megszólaltató, nagyenergiás kozmikus müonok időzítését a két detektorban, és azt kapták, hogy az időzítési különbség a két rendszer között 2008 augusztusa és 2011 decembere között  $\Delta t = -73 \pm 9$  ns-mal különbözött a 2008. augusztus előtt és a 2012-ben mértnél, tehát az OPERA-rendszer a CNGS-adatgyűjtés folyamán – valószínűleg a felfedezett laza kábelkapcsolat miatt –  $\Delta t$ -vel korábbi időket mérhetett, mint előtte és utána. Az OPERA maga is végzett technikai ellenőrzést és az megerősítette az LVD eredményét: a laza kábel kijavítása visszavítte 2012-ben az időzítést a 2007 előtti szintre.

<sup>8</sup> Nem tévesztendő össze a borvidékünkkel.

<sup>9</sup> Japan Proton Accelerator Research Complex.

<sup>10</sup> Tokai to Kamioka, 295 km-es neutrínóröptetés.

<sup>11</sup> Large Volume Detector, ugyancsak Gran Sasso-ban.



## Értelmezés új fizika feltételezésével

Ha egyszer elfogadjuk a fénynél gyorsabb neutrínók létezését, sok kérdés merül fel. Megtaláltuk volna az elméletileg már régen leírt, fénynél gyorsabb részecskéket, a *tachionokat*? Vajon lokális vagy globális a hatás? Függe-e a térbeli távolságtól vagy iránytól, az időtől, a neutrínó fajtájától, a közvetítő közegtől, vagy egyéb anyagi körülménytől? Vagy esetleg egy olyan újabb kölcsönhatás, *ötödik erő* következménye, amely csak a neutrínókhöz kötődik? Ha az utóbbi, mi lehet az ötödik erő forrása? Esetleg magához a Földhöz, annak anyagához kötődik? A továbbiakban összefoglaljuk az irodalomban található főbb gondolatokat; sajnos, a számtalan hivatkozásra nincs a cikkünkben hely, ahhoz kéretik a nemzetközi irodalmat tanulmányozni [9]. Az áttekintésünk célja azt bemutatni, hogy még egy téves kísérletnek is lehet jótékony hatása a tudomány fejlődésére.

### *Tachionok?*

Közlemények tucatjai mutatták meg, hogy ellentmondáshoz vezet, akármilyen tachionos, fénynél gyorsabb neutrínót feltételezünk. A hipotetikus, fénynél gyorsabb részecskék, a *tachionok* annál nagyobb sebességűek, mennél kisebb az energiájuk, a fénysebességet végtelen energián közelítik meg, a mérésellentétben tehát a különböző energiájú müon-neutrínóknak különböző időkülönbséggel kellett volna megérkeznie. Másik érv a tachion-neutrínó ellen energia-alapú: az OPERA-mérte sebességű tachion tömege 100–130 MeV/c<sup>2</sup> kellene, hogy legyen, de az adott pionbomlásban a töltött müon kibocsátása után legfeljebb 40 MeV marad egy tachionszerű neutrínóra.

A tachionok sebessége energiafüggéséből az következik, hogy ha a CNGS 10 GeV körüli neutrínói 730 km-en 60 ns-mal korábban érkeztek, akkor az SN1987A neutrínóinak 137000 évvel kellene korábban, tehát esélytelen az észrevételük. Ha azonban a különböző fajta neutrínók között csak az egyik tachionos, az a nagy tömegkülönbség miatt nem oszcillálhat a többivel.

### *Ötödik erő, távolságfüggés?*

Feltételezhetjük, hogy az erős, elektromágneses, gyenge és gravitációs kölcsönhatáson kívül létezik egy ötödik, amely nem egyformán csatolódik a neutrínókhöz és más részecskékhez. Az ötödik erő úgy is értelmezhető, hogy a neutrínók másféle metrikát (azaz tér-idő-távolságokat) éreznek, mint a többi részecske, és ezért látszólag a fénynél gyorsabban közlekednek. Különböző szerzők különféle erőtereket bevezetve próbáltak egy ilyen világot felépíteni és vele az OPERA-hatást reprodukálni. Többen bedobták az extra térdimenziók lehetőségét, mintegy átvágva térbeli távolságokat. Figyelembe véve a korábbi méréseket, korlátozni lehetett az új erők és dimenziók mérőszámait. Felmerült annak a lehetősége is, hogy a müon-neutrínó egy *sötét* neutrínóba oszcillál, amelyre nem érvényesül a Cohen–Glashow-hatás.

Talán a fénynél gyorsabb mozgás lokális, valamilyen a Földhöz kötődő ötödik erő következménye. Ha az új

kölcsönhatás tipikus hullámhossza összemérhető a Föld átmérőjével, akkor hatása csillagközi méretekben elhanyagolható, ez magyarázhatja az SN1987A közel fénysebességű neutrínóit. A Föld gravitációs tere is tartalmazhat olyan anomális tagot, amely megváltoztatja a neutrínó számára a tér szerkezetét. Egy ilyen modellel is leírható valamennyi mérési eredmény.

Számos szerző felveti, hogy keveredés egy negyedik fajta (például steril) neutrínóval szintén okozhat fénynél gyorsabb mozgást, ha az extra neutrínó tud extra dimenziókban terjedni. Ekkor a közönséges neutrínók látszólag a fénynél gyorsabbak lehetnek, és a sebességkülönbség távolságfüggését a keveredés határozza meg, amit fokozhat a *barionos*<sup>12</sup> anyag jelenléte. Ha a sebességkülönbség függ a Földben megtett úttól, akkor meg lehetne próbálni a CERN-ből küldött neutrínókat az Égei-tengerben levő NESTOR-teleszkóp<sup>13</sup> felé küldeni, mert az 1676 km-es távolságon a neutrínóknak 140 ns-mal *előbb* kellene beérkezniük (lineáris távolságfüggést feltételezve).

Létezik olyan elképzelés is, amely szerint a fénynél gyorsabb neutrínók (a vákuumban terjedő) fényhez viszonyított sebességkülönbsége nem függ a megtett úttól. Ekkor úgy módosul a neutrínók számára a tér-idő metrikája, hogy a fotonokhoz képest mindig (repülési távolságtól függetlenül) közel ugyanannyi idővel érkeznek korábban. Ezzel könnyen megmagyarázható, hogy miért nem tapasztaltak az SN1987A szuper-nóva esetén szupergyors neutrínókat.

### *Anyagfüggés?*

Felmerül, hogy a fénynél gyorsabb mozgás függhet a közvetítő közegtől. Az előzőekben már említettük, hogy van olyan modell, amely szerint a barionos anyag felerősíti a közönséges és a steril neutrínók közti keveredést, így okozva szupergyors mozgást. Egy másik elképzelés szerint barionos anyagban minden részecske fénynél gyorsabb. Vagyis például a szikla belsejében mozgó nagyenergiás részecskék sebességét nagy pontossággal meghatározza fénynél gyorsabb mozgást tapasztalnánk. Ez a hatás a sziklától néhány milliméter távolságon túl el kell, hogy tűnjön, hogy ne kerüljünk ellentmondásba korábbi kísérletek eredményeivel. Az ilyen típusú elméletek egyik fontos támasza az, hogy az OPERA, illetve MINOS-eredmények előtt, sűrű anyagban, kellő pontossággal, kellően nagy energián végrehajtott terjedési sebességre vonatkozó mérések nem léteztek.

### *A Lorentz-invariancia sérülése?*

A fizikai modellek megalkotásánál a szimmetriák fontos szerepet játszanak. A részecskefizikában szimmetriák alatt nem geometriai szimmetriákat, hanem matematikai transzformációk alatti invarianciát értünk.

<sup>12</sup> A Világegyetem látható anyagának túlnyomó része protonokat és neutronokat tartalmaz, ezért *barionosnak* hívjuk, hogy megkülönböztessük az egyébként sokkal nagyobb tömegben előforduló *sötét anyagtól* és *sötét energiától*.

<sup>13</sup> Neutrino Extended Submarine Telescope with Oceanographic Research.

A modellek szimmetriái nagymértékben egyszerűsítik a leírást (és nem utolsó sorban a kutatók számára esztétikai élményt nyújtanak). A szimmetriákhoz többnyire megmaradó mennyiségek tartoznak, és a szimmetriához tartozó transzformációk segítségével osztályozhatjuk a Standard modell elemi részecskéit és származtathatjuk az alapvető kölcsönhatásokat. A Lorentz-invariancia következtében a vákuumbeli fénysebesség értéke minden inerciarendszerben megegyezik.

Ha a fénysebességnél gyorsabb részecskét keresünk, akkor meg kell sértenünk a Lorentz-szimmetriát. Ennek egyik lehetséges módja az, hogy új, a szimmetriát explicit módon sértő tagokat adunk a mozgásegyenlethez. Általában megköveteljük a bevezetett új tagoktól, hogy a szimmetrikusak legyenek a CPT (töltés-, paritás- és idő-) tükrözéssel és a forgatással szemben. A mérések felső határt szabnak arra vonatkozóan, hogy mennyivel haladhatja meg egy adott részecske a vákuumbeli fénysebességet és ez az explicit Lorentz-szimmetriasértő tagok nagyságára is felső határt ad. Az új tagok megváltoztatják az energia, a tömeg és a lendület összefüggését, azaz a diszperziós relációt az adott részecskére:

$$p^2 = E^2 - \mathbf{p}^2 = m^2 + f(\mathbf{p}, E),$$

ahol  $p = [E, \mathbf{p}]$  az energia-impulzus négyesvektor,  $m$  a részecske tömege és  $f(\mathbf{p}, E)$  a kis anomális összetevő, amely sérti a Lorentz-invarianciát. A módosított diszperziós reláció leírhat a fénynél gyorsabb részecskéket. A hatás új tagjai a neutrínótér új típusú kölcsönhatását írja le a Standard modell részecskéivel vagy újonnan bevezetett (többnyire skalár) terekkel, de az új tagokat létrehozhatják gravitációs, sötétenergia-, vagy akár sötétanyag-kölcsönhatások is. Ezek más-más energia- és impulzusfüggést adnak az  $f(\mathbf{p}, E)$  anomális tagban.

Vannak olyan elméleti elképzelések is, amelyek szerint a Lorentz-szimmetria egy bonyolultabb szimmetria alacsonyenergiás megjelenési formája, amely akár spontán módon is sérülhet, például Finsler-féle téridőmetrika bevezetésével (amely a Lorentz-metrika általánosítása) szintén kaphatunk a fénynél gyorsabb elemi

részecskéket. A Lorentz-szimmetria spontán sérülhet akkor is, ha fermionkondenzátum jelenik meg modellben. Más elképzelések szerint a fizikai állapotokon ható Lorentz-szimmetria deformált, anizotróp lehet, és szintén adhat fénynél gyorsabb neutrínókat.

## Zárszó

Az OPERA-kísérlet közleménye a fénynél gyorsabb neutrínók megfigyeléséről óriási izgalmat váltott ki a tudományos közvéleményben. Habár a megfigyelés maga hibás volt, a tévesnek bizonyult kísérlet valóságos gondolatvihart gerjesztett (e cikk megírásának pillanatában, mintegy fél évvel a bejelentés után több, mint 230 közlemény hivatkozta a hibás mérésről szóló OPERA-cikket). Sokan számbavették a kísérletek buktatóit, a kísérleti és elméleti ellenvetéseket és végiggondolták a lehetséges következtetéseket. Kitűnő példája a gondolatébresztő tudományos tévedéseknek.

## Irodalom

1. Fényes Tibor: Neutrínóoszilláció, leptogenezis, neutrínógyarak. *Fizikai Szemle* 62/2 (2012) 37–45.
2. P. Adamson és mtársai (MINOS Collaboration): Measurement of neutrino velocity with the MINOS detectors and NuMI neutrino beam. *Phys. Rev. D* 76 (2007) 072005.
3. D. N. Schramm, J. W. Truran: New physics from Supernova SN1987A. *Physics Reports* 189 (1990) 89–126.
4. OPERA Collaboration (T. Adam és mtársai): Measurement of the neutrino velocity with the OPERA detector in the CNGS beam. arXiv: 1109.4897 (2011)
5. OPERA Collaboration (N. Agafonova és mtársai): Observation of a first  $\nu_\tau$  candidate in the OPERA experiment in the CNGS beam. *Phys. Lett. B* 691 (2010) 138.
6. A. G. Cohen, S. L. Glashow: Pair Creation Constrains Superluminal Neutrino Propagation. *Phys. Rev. Lett.* 107 (2011) 181803.
7. ICARUS Collaboration (M. Antonello és mtársai): Measurement of the neutrino velocity with the ICARUS detector at the CNGS beam. arXiv: 1203.3433 (2012)
8. *LNGS results on the neutrino velocity topic*. Mini-workshop, Gran Sasso, 2012 március 28. <http://agenda.infn.it/conference/Display.py?confId=4896>
9. A témakör tudományos irodalma előhívható a következő böngészős címen: <http://inspirehep.net/search?ln=en&p=refersto%3A928153> és angolul részletes leírás található a Wikipédiában: [http://en.wikipedia.org/wiki/Faster-than-light\\_neutrino\\_anomaly\\_%28OPERA\\_experiment%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Faster-than-light_neutrino_anomaly_%28OPERA_experiment%29)

# NEUTRÍNÓ-ÁLTUDOMÁNY – Vélemény

A szerzők javaslatára a *Fizikai Szemle* szerkesztője véleményemet kérte *Horváth Dezső* és szerzőtársai a *Fénynél gyorsabb neutrínók tündöklése és bukása* című írásáról. Az írás tartalmasan és részletekre is kiterjedően elemzi a CERN–OPERA nagytávolságú neutrínóterjedési kísérletet. A kísérlet fő célját, a neutrínók oszcillációjának vizsgálatát háttérbe szorító melléktermék, a neutrínóterjedés sebességének méréséről szóló cikk elkészültével, de annak szakmai bírálatát nem várva meg, a CERN főigazgatója enge-

délyezte, hogy a szenzációs következtetésekre vezető mérési eredményeket a sajtónak is nyilvános előadáson taglalják. Felmerül a kérdés: valóban kötelessége-e CERN-nek a sajtó számára előzetesen bejelentve „az OPERA együttműködésnek lehetővé tenni, hogy a tudományos közösség elé tárja megvitatásra, amit látott”? Nem inkább a tudományos bírálat hozszadalmas útját megkerülő, az OPERA-kísérlet egyes vezetői számára oly áhított közfigyelmet biztosító önreklámozásnak engedtek utat?

A cikknek az arXiv-adattárba való felkerülését követő napon megjelent *A. D. Cohen* és *S. L. Glashow* igen részletes okfejtéssel megírva is csak 4 oldalas elemzése,<sup>1</sup> amelynek kikerülhetetlen konklúziója, hogy a kísérlet rossz. E munka érveit a történetet bemutató kollégáim korrektül felsorolják, jelezve, hogy a gyors elemzés *S. Coleman* és Glashow egy korábbi cikkének<sup>2</sup> egyszerű alkalmazásával volt lehetséges. Felmerül a kérdés, lehetséges-e, hogy a Lorentz-szimmetria sérülésének nyilvánvaló következményét hordozó „felfedezés” 179 szerzője közül senki nem ismerte a 20. század második fele két vezető elméleti részecskefizikusának a legjobb tudományos hagyományokat követő, körültekintő elemzését? Nem szándékosan hagyták-e figyelmen kívül azt a cikket, amelyből konkrét adataik behelyettesítése után kétsoros számítással rádöbbenhettek volna, hogy a megelőző tapasztalatokra épülő természetes várakozásnál 5-6 nagyságrenddel nagyobb, óriási „effektust” vélnék látni?

*Coleman* és Glashow abból a tényből indult ki, hogy a Lorentz-szimmetria mélyen és sikeresen beépült részecskefizikai folyamatok nagy pontosságú értelmezését nyújtó Standard modell kvantumtérelméleti keretébe. Ha ez a szimmetria akár egyetlen részecske esetében sérül, a hatás nem szigetelhető el, mert a kvantumtérelmélet lényegének köszönhetően a neutrínó anomális terjedése beépül a vele kölcsönható összes részecske tulajdonságaiba a gyenge kölcsönhatást közvetítő terek révén. Ezért az egyetlen tudományosnak tekinthető megközelítés a Lorentz-szimmetria esetleges sérüléséről a Standard modell olyan kiegészítéseinek vizsgálatát jelenti, amelyek a Lorentz-szimmetriát csak kis mértékben sértik.

*Coleman* és Glashow felírták a legáltalánosabb Lorentz-szimmetriát sértő kiegészítést és a hatás kicsinyességét feltételezve a perturbációs számítás legalacsonyabb rendjében megnézték, milyen anomális folyamatok lépnek fel. Mindaddig, amíg a szabadon repülő elektronból nem méri Cserenkov-fotonok kibocsátását, vagy a szabadon repülő neutrínó nem emittál elektron-pozitron párt, a Lorentz-szimmetriát sértő kiegészítések erősségére pusztán felső korlátokat lehet állítani. *Cohen* és Glashow a kidolgozott esetek egyikével azonosította az OPERA-folyamatot (az őket meghívó középiskolásokkal tábla előtt beszélgetve) és rámutatott, hogy a kísérlet vélt eredménye durván sérti az előzetesen ismert megfigyeléseket és önmagával sem konzisztens.

Kollégáim ismertetésük további részében komplikált konstrukciókat tartalmazó cikkek sokaságáról számolnak be, amelyek igyekeztek megkerülni a *Coleman*–*Glashow*-elemzés következményeit. Egy igazán szemléletes próbálkozás a neutrínók extra dimenzióbeli („lerövidített úton haladó”) terjedésének

feltételezésén alapszik. Csak az a baj, hogy ez a sajátos terjedés hatással van az összes, a neutrínóteret akár virtuálisan tartalmazó folyamatra, amelyekben az OPERA-eredményt reprodukáló extra-dimenziós terjedési függvénnyel jelentős eltérés adódna a Standard modellnek a kísérletekkel mindeddig egyező jóslataitól. A kölcsönható terek elméletének az összes többi próbálkozást is korlátozó lényege, hogy a szimmetriasértés következményei nem lokalizálhatók a tűnékeny neutrínókra, hanem megjelennek az alaposan kézben tartható elektronokon is.

Mindezt a körültekintő, a tudományos haladás összefonódottságának tapasztalatát tiszteletben tartó kutatók figyelembe veszik. Így nem kerülnek feloldhatatlan hitelvesztés állapotába azokban az elég gyakran bekövetkező esetekben, amikor egy kísérletben a várakozásoktól eltérő eredményeket tapasztalnak, majd ezeknek a „felfedezéseknek” a nagyobb mérési statisztika elérésével, a pontosabb elemzés végén nyomuk vész. Kutatók körében közzismert, hogy a nagy eredményeket agresszíven hajszoló személyiségeknél a felfedezési vágy rendszeresen előidéz ilyen helyzetet. (Kiváló példája ennek a később Nobel-díjjal kitüntetett *Carlo Rubbia*, aki „rámenős” kutatóként csoportjával a hetvenes években legalább 2-3, később feledésbe merült anomáliáról adott hírt.)

Meggyőződésem szerint fentebb feltett (ál)kérdéseimre az a válasz, hogy az OPERA-kollaboráció, bár része a tudományos kutatási szervezetnek, mégis az áltudományos megközelítés megszokott módszereivel elemzte méréseit és kommunikálta következtetéseit:

- figyelmen kívül hagyta a tudományos irodalomban meglévő releváns vizsgálatokat;
- nem vizsgálta, hogy következtetése a Standard modellben összefoglalt tudományos eredményhalmaz milyen mértékű korrekciójával járnak;
- a szakmai diszkusszió szokásos csatornáit megkerülve (sajtóértekezletét szemináriumnak álcázva) a széles nyilvánosság elé lépett.

Ezért, szemben azoknak a tudományos vizsgálódásoknak a résztvevőivel és vezetőivel, akik időnként hibás eredményekre jutnak, az OPERA-kísérlet felelős vezetőinek el kellett hagyniuk a tudományos kutatást.

Kollégáimtól eltérően úgy látom, hogy az OPERA-kísérlet megcáfolt pontjaiból nem nyerhető semmiféle, a továbbiakban tudományosan hasznosítható következtetés. Eddig is végeztek, ezután is végeznek a Lorentz-szimmetria esetleges sérülésére vonatkozó kísérleti/elméleti elemzéseket, de azokban nem vizsgálják az ismert korlátokat. A nagy elméletalkotó túlkedésben a *Coleman*–*Glashow*-megközelítésen túllépő, maradandó gondolat nem született.

Ha van bármiféle „haszon”, az elsősorban a részecskefizikusok, különösképpen pedig a CERN vezetői tudományetikai érzékenységének fokozása. A globálissá vált, független ellenőrzéssel egyre nehezebben kontrollálható részecskefizikai kutatások hitelességét nem veszélyeztethetik hírnév-vadász kalandorok.

*Patkós András*

<sup>1</sup> A. G. Cohen, S. L. Glashow: Pair Creation Constrains Superluminal Neutrino Propagation. *Phys. Rev. Lett.* 107 (2011) 181803.

<sup>2</sup> S. Coleman, S. L. Glashow: High-energy tests of Lorentz invariance. *Phys. Rev. D* 59 (1998) 116008.





Nyolcvanöt éve, 1927. május 25-én született és lassan tíz éve, 2002 decembere óta nincs közöttünk *Marx György*.

Több mint negyven évig volt főszerkesztője és meghatározója a *Fizikai Szemlének*.

A következő három rövid írást megemlékezésnek szánjuk.

## A MODERN FIZIKA FORRADALMA ÉS JÓZSEF ATTILA

Marx György

„Gyermekkoromban egyszer azt hallottam, hogy az átmelegedett üveg elpattan, ha hideg víz fröccsen rá. Aznap este, mikor a mama kitette a lábát a konyhából, azonnal kipróbáltam e tétel igazságát. Egy kis vizet fröcsköltem a lámpaüvegre. Az üveg eltört, én megdöbbsentem, a mama pedig belépett. Meglepetten s fölindultan támadt rám. – Te, te, miért törted el a lámpaüveget? – Lesütött szemmel hallgattam a szemrehányást, és növekvő daccal tűrtem a pofonokat, melyek ugyancsak zuhogtak. Miért törted el a lámpaüveget? Mit is válaszolhattam volna. A legszemérmelenebb hazugságnak látszott volna, ha az igazat felelem. Én nem törtem el a lámpaüveget! Eltört, mert az átmelegedett üveg elpattan, ha hideg víz fröccsen rá! Ugyan én fröcsköltem le, de nem azért, hogy eltörjem, hanem hogy lássam, igaz-e, amit hallottam, s ami olyan érdekes volt számomra, hogy meg kellett vizsgálnom. Nagyon igazságtalannak éreztem a fenytést.”

Ilyen történeteket nagy fizikusok életrajzában szoktunk olvasni. *József Attila* költő volt, de volt érzelme a matematikához, és a természethez is, a természettudomány által feltárt valóságához. Mint kevésnek a magyar költészetben. Ilyenért előtte *Csokonai*ig kell visszamennünk, utána *Juhász Ferenc*ig előre. Ahogy nemrég *József Eta* idézte *Makai Ödön* megjegyzését: „akár fizikus is válhatott volna belőle”.

Mint az igazán tehetséges gyerekek, ő is a felsőbb, igényesebb iskolában (a makói gimnáziumban) bontakozott ki. *Gebe Mihály* tanár úr szerette a matematikában kiváló Attilát, házához is meghívta. (De jó lenne most Gebe tanár urat kikérdezni!) Az évet ugró érettségien az igényes fővárosi *Werböczy Gimnáziumban* „... a matematika jeles ... a fizika szintén jól ment ... ha csak a magyar miatt nem szállítják le” (írja Attila *Tettamanti Bélának*). A szegedi egyetemen magyar–francia–filozófia szakra iratkozik be, de felvesz két atomfizikai kollégiumot is, köztük a modern fizikát *Sommerfeld* mellől a

magyar Alföldre lehozó, a modern fizikai kutatásokat hazánkban elindító *Ortvay Rudolf* előadását az anyag korpuszkuális elméletéről. (Mint *Szőkefalvi Nagy Béla* megjegyezte, ekkor a filozok körében is modernnek számított, sikk volt Ortvayt hallgatni.)

A matematika könnyed kezelése egész életében nyomon követhető. „1 000 000<sup>3</sup> csók mindnyájatoknak Attilától” – írja *Jolánnak* 16 évesen Makóról. Bécsből (21 évesen) *Galamb Ödönnek* írt leveleiben képletekkel firtatja a végtelen fogalmát. Hódmezővásárhelyen (29 évesen) differenciálszámítást tanító könyvet olvas, és a könyv szerzőjéhez, *Beke Manó*hoz írt leveleiben tovább számolja a könyv állításait. Számításokkal teleírt lapokat őriz tőle az Irodalmi Múzeum. Elgondolkoztat az ismert logikai rejtvény József Attila kézírásával: SEND+MORE = MONEY. Itt meg kellett fejtenie logikailag, hogy melyik betű milyen számot jelent. Nem könnyű matematikai feladat a sokismeretlenes egyenletrendszer. De a szöveg eredeti jelentése is milyen közvetlen asszociációkat ébreszthetett fel a szegény költőben: „küldj több pénzt”...

Ugyanilyen természetességgel vesz József Attila a fizikából is képeket, és használja azokat szabatosan. „... a frank már kijutott a Föld gravitációs vonzerejéből...” – „... a gyomrában működő dugóhúzó archimédeszi csavar névre hallgat a fizikában...” (21 évesen Párizsból József Jolánhoz írt levél.) Nem állt meg fizikai fogalmak idézésénél, önállóan értekezik a fizikáról: „A természettudományos világgépben az a követelés foglalhatik, hogy tudományos kutatás tárgya csak a tapasztalás lehet. De a tapasztalás nem volt és nem lesz hívatva a dolgok megmagyarázására; hiszen a tapasztalás nem egyéb, mint érzéki tárgynak észrevezés alapján való megismerése, amelynek eredménye mindössze a tárgy jelenlétéről szóló tudat, vagyis az észrevezési képzet. A tapasztalati tudományokat sem azért hívják így, mintha tapasztalással magyaráznák tárgyukat, hanem azért, mert tárgyuk jelentése tapasztalati, tapasztalható. A fizika tapasztalati tudomány és azt tanítja, hogy a Föld

Első megjelenés: *Új Írás*, 1981. 2. sz.

forog a Nap körül, jóllehet az ember – a fizikust is beleértve – azt tapasztalná, hogy a Nap fölkel és lenyugszik.” (József Attila: *Marxizmus és természettudomány*)  
Vagy: „Miért szükségszerű az, hogy a tömegvonzás hatása a távolság négyzetével csökken, és nem például a köbével? A tömegvonzás hatása a távolság négyzetével csökken, ez így van. Miért tegyem, miért tenném hozzá azt a metafizikai hitet, hogy szükségszerűen van így? Így van, és kész. Dialektikán tehát nem a világfolyamat belső elvi kényszerét értem, hanem ellenkezőleg a gondolkodásnak azt az elvét, amely a valóság megismerését a valóság folyamatos történeti kiolvasásától származtatja.” (József Attila: *A művészet kérdése és a proletárság*)  
A természetről szerzett ismereteket József Attila tehát nemcsak reprodukálja, hanem integrálja saját világképébe, önálló és messze nem triviális véleményt mond a természettudományos megismerésről, amit elfogadni a fizikusnak ma sem esik nehezére. De mindezt az teszi különösen izgalmassá számunkra, hogy Európa közepén éppen ekkor, a húszas években zajlik a modern fizika intellektuális forradalma, amelynek filozófiai hátterében az idézetekhez hasonló tanulságok voltak. Mint a fizikatörténet tanítja: „Soha ilyen rövid idő alatt ilyen kevés ember ilyen sokat nem tett természettudományos világképünk kialakításáért...”

A költő feladata korának érzéseit, kibontakozó szemléletét megfogalmazni, sűríteni, humanizálni, örök emberivé desztillálni. És József Attila leghuszádik századibb költőnk. Tudta, kikkel él egy időben: kortársként felfogta *Sigmund Freud*, *Thomas Mann* és *Albert Einstein* jelentőségét, akkor is, ha a magyar kultúrpolitika mindezt kétségbe vonta, sőt elhallgatta. Akkor írt leveleiben az Einstein által benne pozitívan támasztott gondolatokról, amikor egyetemünkön minden említetlen, professzori tabu volt (1926). Hozzájárultak mindehhez a szegedi, bécsi, párizsi (egyetemi?) évei, európai szemléletű, haladóan liberális intellektuál barátai (ifj. *Gazda István* szerint elsősorban Galamb Ödön és *Fényes Samu*). Elsősorban mégis a magyar társadalomban túlélő sztatikus múlt és a József Attila lelkében realitásként fejlődő jövő közt támadt feszültség.

Svájc, Ausztria, Németország akkori polgári liberális légköre, az iparosodás lendülete és az abból fakadó társadalmi problémák konfliktusa kedvezett a klasszikus nézetek kétségbevonásának, a modern fizika forradalmi kibontakozásának. A művelt közönségre legnagyobb benyomást Einstein tett, aki közismert tényekre hivatkozva, elfogadott gondolkodási közhelyek belső ellentmondásaira rákérdezve ingatta meg a klasszikus fizika bénítóan tökéletesnek és véglegesnek tűnő oszlopait, mutatta meg előítéleteink mögött a tisztább valóságot. „Nálam előállt az az Einstein állította jelenség, hogy ha egy erő a fénysebesség (300 000 km/s) közelébe gyorsítja a testet, akkor az erő munkája megnöveli a test anyagmennyiségét. Ez az anyag vagyok én, de az erő is én vagyok. Közben azonban az anyagmennyiséggel a tehetetlenség is növekszik, az erő gyorsító hatása egyre csökken, és az ember csöndesen elfárad. A kávéházi asztal hideg

és engedelmes, arra hajtom a homlokom...” (Levél Bécsből Galamb Ödönnek, a mai letisztultabb szakki-fejezésekre átírva.) Azért időztem, hogy megmutassam: nem egy sznob tudálékos hetvenkedése ez Nyugatról hazafelé, hanem átélt, értelemben és lélekben integrált tudás, amely később is visszatér. (József Attila és a relativitáselmélet találkozását ifj. Gazda István nyomozta ki a *Kritikában*, valószínűleg helyesen.)

A relativitáselméletből – Einsteint túllépve, Einsteinnel is vitatkozva, de könyörtelen logikával – született meg az a felismerés, hogy az Univerzum nem végleges és merev, de fiatal és tágul. Nem véletlen, hogy ennek matematikai bizonyítása a téridő melyik pontjában történt: Leningrádban, a húszas évek elején. József Attilát is a korlátok széthullása foghatta meg krisztusi tömörségű életének későbbi éveiben. (Utalok *Tverdota Györgynek* a költő kozmológiai gondolatait után nyomozó írására az *Irodalomtörténeti Közleményekben*.) „A világ a táguló űrben lengve jövőjének nekivág” – írja József Attila 1937-ben (*Költőnk és kora*). Természetesen vitatkozni lehet arról, hogy ez a széthullás pszichikai negatívumként vagy forradalmi pozitívumként értelmezendő-e. A fizikus a mérhetetlen kozmoszban nem lát szükségszerűen negatív menekülést, hanem pozitívan lelkesítő indítékot. És olvassuk József Attilát:

„Mint a tejút a vonuló  
egek táguló  
boltozatán,  
s mint a valóság heveny láz után

úgy ragyog és világít  
lelkemben, mely világot áhít,  
az emberi felszabadulás.

A mindenség oly tisztán és üdén  
csillog, mint harmatcsepp a ... levelén.”

Ne felejtjük, hogy József Attila már 1924-ben – *Bergson Teremtő fejlődésének* (1930) olvasása előtt – leírta ezt a verscímet: *A teremtés kezdetén vagyunk*.

A relativitáselméletnél hatásában mélyebb, gondolatilag kihívóbb volt az az átértékelés, amely az atomok világában ment végbe, és a húszas években a természettudomány intellektuálisan legmerészebb alkotásához vezetett el: a kvantummechanikához (1925). József Attilához nem jutott el a kvantummechanika felszabadulása. (A pesti tudományegyetemre is csak a harmincas években érkezett meg, épp Ortway Rudolfnak köszönhető módon.) De a költő átélve a megtisztító vajúdat, József Attila is eljutott a tünékeny felszín mögött lényegét hordozó molekuláig – atomokig – elektronokig. Egy Bécsből keltezett levélrészletet szoktak idézni: „Transznegatívumokról szóló elméletemet, amely a művészetrel kapcsolatban született, természettudományosan is lehet igazolni. A fizika nyelvén kifejezve: van egy másik univerzum is. Az uránium elem atomjában például nagyszámú negatív elektron van, és ezek megférnek egymás mellett. A mi

Univerzumunk ilyen negatív elektronokat tartalmazó atomok rendszere. De létezik egy másik univerzum is, amelyben a jelenleg ismert negatív elektronokkal szemben pozitívok vannak. És negatív atommagok, mert vonzásuk nélkül nem kötődnének le a pozitív elektronok...” (Galamb Ödönhöz, 1926. A szakkifejezéseket ismét mai tisztultabb szóhasználatunkra írtam át.) Való igaz, hogy ez a levél megelőzte Dirac lyukelméletét (1927), amelyben ő először következtetett pozitív elektronok létrejöttére, a természet pozitív-negatív töltésszimmetriájára. Mégse tekintsük József Attilát a részecskefizika úttörőjének. Makón tanult a pozitív és negatív elektromos töltésekről, Szegeden (vagy már Makón is?) hallott a földi atomok negatív elektronjairól (és pozitív magjáról). Közben álmodozhatott egy világról, amelyben minden másképp van, mint a Földön 1926-ban. És mindvégig vonzotta a fizika előítéleteknél erősebb bizonyossága.

Ami azonban legszerveesebben él József Attila költészetében, az az atomokból felépített anyag statisztikus fizikai szemlélete, az oldás és kötés, a káosz és a rend konfliktusa. (Erre *Tuska Ágnes* hívta fel figyelmünket a *Fizikai Szemlében*.) Milyen természetesen szól:

„Tündöklük, mint a gondolat maga  
a téli éjszaka.

Ezüst sötétség némasága  
holdat lakatol a világra.

A hideg űrön holló repül át  
s a csönd kihűl. Hallod-e, csont, a csöndet?  
Összekoccannak a molekulák.”

(1932-ben volt ilyen hideg Magyarországon. De ellenpontként így indul a *Téli éjszaka* című vers: „Légy fegyelmezett!”) Az anyag statisztikus szemléletét Ortway Rudolf előadása és könyve hozta hozzánk, az ő egyetemi előadása (1924-ben vette fel indexébe) visszhangzik talán az *Eszméletben* (1934):

„Akár egy halom hasított fa,  
hever egymáson a világ,  
szorítja, nyomja, összefogja  
egyik dolog a másikat  
s így mindenik determinált.  
Csak ami nincs, annak van bokra,  
csak ami lesz, az a virág,  
ami van, széthull darabokra.”

A káoszból kibontakozó törvénynek, a hőtán második főtételének senki nem adta kifejezőbb (szinte négydimenziós) képét, mint ő ugyanitt. És senki nem írt a megoldó lazulásról, a statisztikus törvény által adott érték körüli elkerülhetetlen ingadozásról ennyire a szükségszerűség érzésével:

„Én fölnéztem az est alól  
az egek fogaskerekére –  
csilló véletlen szálaiból

törvényt szőtt a mult szövőszéke  
és megint fölnéztem az égre  
álmaim gőzei alól  
s láttam, a törvény szövedéke  
mindig fölfeslik valahol.”

Az *Eszmélet* (1934) után már *A Dunánál* (1936) következik, amelyben a nagy folyó modellje egygégé ötvözi a statisztikus fizika, az evolúciós biológia és az emberi történelem időfogalmát.

„Mint az izmok, ha dolgozik az ember,  
reszel, kalapál, vályogot vet, ás,  
úgy pattant, úgy feszült, úgy ernyedett el  
minden hullám és minden mozdulás, ...  
... egykedvű, örök eső módra hullt  
szüntelenül, mi tarka volt, a mult. ...  
... Megszólítanak, mert ők én vagyok már;  
gyöngye létemre így vagyok erős,  
ki emlékszem, hogy több vagyok a soknál,  
mert az összesig vagyok minden ős – ...  
... A világ vagyok – minden, ami volt, van:  
a sok nemzetség, mely egymásra tör.  
A honfoglalók győznek velem holtan  
s a meghódoltak kínja meggyötör.”

Az *Új Írásban* *Czeizel Endre* mutatott rá a mély genetikai kultúrára József Attila költészetében. A levelekben előforduló képleteknél izgalmasabb számunkra, mennyire átsüt a legszebb versein a modern természettudomány világszemlélete. A biológiai hatások eredetének kinyomozása még az irodalomtörténet feladata, erről kevesebbet mondanak levelei. Számunkra, kívülállók számára viszont egyértelmű: ha József Attila a mindenséggel mérte önmagát, a norma a modern természettudomány által kitágított Univerzum volt. Ha tanítványainknak meg akarjuk mutatni ennek a modernül igaz Univerzumnak a felemelő szépségét, örömmel idézzük József Attila egy-egy versszakát. Különösen irigyelem biológus kollégáimat azért a nagyszerű *Ódáért* (1933), amellyel ez a leghuszadik századibb költőnk a földi szerelemnek és az Univerzumnak az egységét fogalmazta meg:

„Ó, mennyire szeretlek téged,  
ki szóra bírtad egyaránt  
a szív legmélyebb üregeiben  
cseleit szövő, fondor magányt  
s a mindenséget. ...  
... A pillanatok zörögve elvonulnak,  
de te némán ülsz fülemben.  
Csillagok gyúlnak és lehullnak,  
de te megálltál szememben. ...  
... Az örök anyag boldogan halad  
benned a belek alagútjain  
és gazdag életet nyer a salak  
a buzgó vesék forró kútjain! ...  
... nap süt, homályló északi fény borong –  
tartalmaidban ott bolyong  
az öntudatlan örökkévalóság. ...”



A neutrínók 2005-ben vonultak be a földtudományok kísérleti eszköztárába. A *Nature* folyóirat azon év legfontosabb felfedezései közé sorolta a Föld radioaktív U- és Th-tartalmú kőzeteiből származó neutrínók létét kimutató japán KamLAND-mérést [1]. A földneutrínók kutatásának története azóta folyamatosan íródik. A legújabb lapokat 2010-ben az olaszországi Gran Sasso-ban végrehajtott Borexino-mérés [2], majd 2011-ben a KamLAND újabb publikációja [3] töltötte meg, amelyek a négyszeres hibahatárt meghaladó biztonsággal észlelték az urán 238-as izotópjának bomlási láncában keletkező elektron típusú antineutrínókat.

Az antineutrínók forrása egyértelműen azonosítható. A Naptól elektron-antineutrínók nem jönnek, a kozmikus sugárzás alapvetően protonokat tartalmazó áramának légköri atomokkal történő ütközéséből pedig túlnyomórészt pozitív töltésű pionok keletkeznek, amelyek kétlépcsős bomlástermékeiből szintén hiányzik az elektron antineutrínója. A kiértékelésben kizárólag a mérés közelében működő atomreaktorok „szennyezésére” kell figyelemmel lenni, ami a reaktoroktól távoli Borexino-mérésnél lényegében fel sem lép.

A téma vezető elméleti szakértői, *G. Fiorentini* és munkatársai még a 2005-ös első észlelés eredményeinek közzététele előtt jelentették meg földszerkezeti modellszámításukat a KamLAND-mérésben várt neutrínófluxus nagyságára [4]. Cikkük történeti áttekintő része a következő mondattal kezdődik: „Geo-neutrinos were introduced by *Eder* in the sixties and *Marx* soon realized their relevance.”<sup>1</sup>

A geoneutrínók jelentőségének megértése egyik legszebb példája Marx György természettudósi kíváncsiságának, amellyel a szűken vett fizika vizsgálati területén túllépve, a természet jelenségeinek titkait mindig teljességükben kutatta. A témakörben közölt munkáinak [5] megjelenését követő bő harminc év múltán világos, hogy a neutrínók hordozta földszerkezeti információk megismerését vázoló víziója hosszú távú kutatási irányzat kezdetét jelezte. A megfigyelések értelmezésével egyre biztosabb adatok származtathatók a Föld globális hőháztartásának meghatározó radioaktív komponensére és a Föld közvetlen mintavétellel nem elérhető mélyrétegeinek anyagösszetételére. A kapott információk pontossága közel került ahhoz, hogy a neutrínófluxus részletes jellemzése dönthessen a Föld szerkezetére és keletkezésére vonatkozó számos modell versengésében.

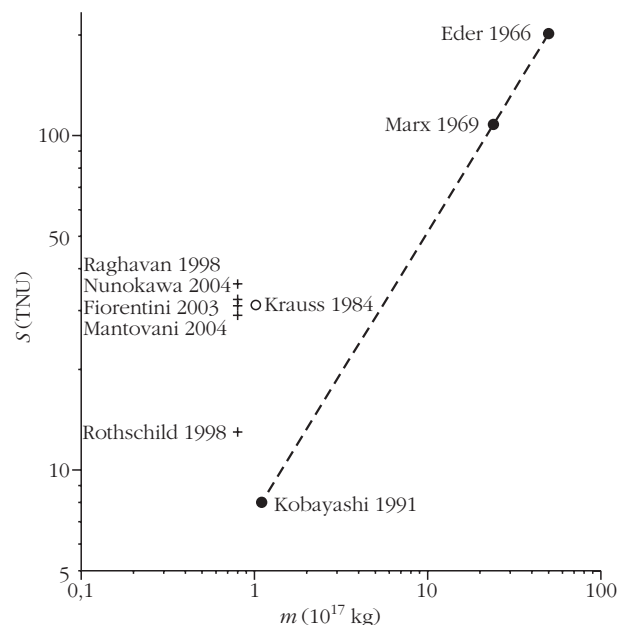
A következő évtizedekben várható, hogy a Kamioka és a Gran Sasso hegyek mélyén kiépített föld alatti laboratóriumok mellett egyre több neutrínó-obszervatóriumban, majd végül a Földet behálózó mérések sorával megméri a földneutrínók fluxusának felszíni eloszlását. Rövid ismertetésemben Fiorentini csoport-

jának munkáját [4, 6] követve bemutatom a neutrínófluxus előrejelzésében használt modellt. Megismerése alapján világos lesz, hogy a növekvő számú mérés értékeléséből miképp kapunk egyre pontosabb választ arra a kérdésre, hogy hol és mennyi urán van a Földön?

A földneutrínó-áram adott földrajzi helyen lévő detektorban várt értékének kiszámításához elvben a Föld teljes térfogatában modellezni kell annak K(40), U(238) és Th(232) tartalmát. Valójában csak az utóbbi kettőre érzékeny az inverz béta-bomlás ( $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+ - 1,8 \text{ MeV}$ ) reakciójával működő detektálás, miután a kálium izotópjának bomlásából származó neutrínó maximális energiája 1,31 MeV. A legegyszerűbb modell azon a feltevésen alapul, hogy a kondritos meteoritokban talált mennyiséghányaduk megfelelő földi gyakoriságuknak. Ez a K/U  $\approx 13\,000$ , Th/U  $\approx 3\text{--}4$  arányt jelenti, amit Fiorentini és társai első cikkükben fel is használtak, mert abban csak az urán elterjedtségének földszerkezeti modelljét alkották meg. A kondritos meteoritokbeli előfordulást használó modellt, amelyet a Föld teljes térfogatára alkalmaznak „bulk silicate Earth”, rövidítve BSE-modellnek hívják. Eder, majd kisebb finomítással Marx ennek alapján a mai becslések 30-50-szeresének megfelelő nukleáris hőteljesítményt prognosztizáltak (1. ábra).

A geokémiai vizsgálatok mai álláspontja szerint az urán vegyületeinek előfordulása csak a litoszférában, azaz kizárólag a földkéregben és a köpeny megszilárdult legfelső részében várható, ami összesen 70–140 km vastagságú rétegre korlátozza a neutrínók forrá-

1. ábra. A földneutrínók  $S$  beütési intenzitására 2005 előtt végzett 9 becslés eredménye a kőzetek feltételezett teljes  $m$  urántartalmának függvényében. A tömeget  $10^{17}$  kg egységben, a beütési intenzitást TNU egységben (definícióját lásd a szövegben!) ábrázolják [4].



<sup>1</sup> A földneutrínók fogalmát Eder vezette be a hatvanas években, majd Marx mutatott rá fontosságukra.

sát. A kéregben végzett kísérleti fúrások 10–12 km mélységre hatolva közvetlen információszerzésre adnak módot. Ennek alapján az átlagosan 30 km-esnek modellezett kéregben található teljes U-mennyiséget  $(0,3-0,4) \cdot 10^{17}$  kg-ra becsülik.

Fiorentini és munkatársai 2005-ben a KamLAND-detektor 200 km-es sugarú környezetében végzett mérések alapján készült (166 minta 37 független geofizikai mérésből) felszíni  $1/4^\circ \times 1/4^\circ$ -os szögfelbontású U-előfordulási térképre építették a felső kéreg lokális forráseloszlási modelljét. A térkép elkészítéséhez a Japán-szigetív lemezdinamikai sajátosságai miatt speciális megfontolásokat is tudtak alkalmazni. 562 sekély epicentrumú földrengés 13 000 jelének érkezési ideje alapján a geofizikusok közvetlenül meg tudták határozni a Japán-szigetek alatti két mélységi szakadási felület elhelyezkedését. A felső (Conrad) kéreg alja 14–19 km mélységben, az alsó (Moho) kéreg 32–40 km mélységben végződik. Az egyes  $1/4^\circ \times 1/4^\circ$ -os csempék alatti felső kéregben 0,5–3,5 ppm érték között ingadozott a kéregek térkép alapján hozzárendelt előfordulási U-gyakoriság. Az alsó kéregben a Kínai–Koreai kontinentális tömb átlagértékét, 0,85 ppm-et használták. Az antineutrínó-fluxus tóriumkomponensének értékét 2005-ben a Th:U = 4:1 előfordulási arány feltételezésével állapították meg.

2005-ben még friss, de már szilárd elfogadottságú jelenség volt a neutrínók oszcillációja. Ez azt jelenti, hogy a keletkező antineutrínók egy része átalakul olyan neutrínófajtába, amely nem tud a protonon inverz béta-bomlást előidézni. A detektorig tartó sok oszcillációs hossznyi útra átlagolva az elektron típusú antineutrínók „életbenmaradási” valószínűségére  $p = 0,59$  adódik, ami fontos módosító tényező a kimutatható fluxus becslésekor.

Figyelembe véve a fenti hatásokat a Kamioka-hegység 200 km-es környezetéből jövő földkéreg eredetű neutrínófluxusra  $1,59 \cdot 10^6 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  adódott, ami a megfigyelt neutrínók által indukált inverz béta-bomlási reakciók számára 12,74 TNU-t ad.<sup>2</sup>

A becsülés legnagyobb bizonytalansági forrásának a Japán-szigetív térségében alábukó két kőzetlemez (a Fülöp és a Pacifikus) járuléka mutatkozott. Az előbbi 40 mm/év, az utóbbi 80 mm/év sebességgel mozog Eurázsia felé, nagyjából 100 millió éve. Egyetlen 60 mm/év sebességű réteggént vették figyelembe, amely mozgásának megkezdése óta 6000 km-nyi réteget préselt be az eurázsiai lemez alá. A 6,5 km vastagságú réteg tetején 350 m vastagságú, üledékes eredetű, az átlagnál nagyobb U-tartalmú (1,4 ppm) rész van. Feltételezve, hogy a bepréselődő rétegről az ülepedési rész 100 millió éve teljes mértékben lenyíródik és a Japán-szigetek környezetében marad, a fluxusban maximum 4,4 TNU többlet adódik. A Japán-tenger sajátos kéregszerkezetét is figyelembe véve, a régió kéregjáruléka rá végül  $15,41 \pm 3,07$  TNU-t kaptak.

<sup>2</sup> A mérésekkel összevethető TNU egység (Terrestrial Neutrino Unit) évenként 1 inverz bétabomlási esemény bekövetkezését jelenti egy olyan detektorban, amely  $10^{32}$  protonot tartalmaz.

A távolabbi területeken  $2^\circ \times 2^\circ$ -os csempeméretű felbontásban használták a geofizikai mérésekből nyert változó vastagságú felső és alsó kéregméretet. Két vizsgált esetükben a kéregben lévő urán teljes mennyiségét 0,3, illetve 0,4 értékűnek választották  $10^{17}$  kg egységben. Ezt az anyagmennyiséget az egyes csempék alatti rétegek vastagsága szerint osztották szét. A kisebbik tömeg 6,45 TNU, a nagyobbik 8,65 TNU neutrínóáramra vezet.

A köpenyben szakmai közmegegyezés szerint a centrum felé haladva nő az urántartalom. Két modellt vizsgáltak meg. Az egyikben a BSE-modell szerinti átlagsűrűséget gömbszimmetrikusan és egyenletesen osztották el a felső köpeny egészében, a másikban a teljes tömeget a köpeny szilárd részének aljára helyezték. A köpenyben tárolt teljes tömeget  $m_M$ -mel jelölve az elsőből 12,15  $m_M$  TNU, az utóbbiból 17,37  $m_M$  TNU detektálási gyakoriság adódott a KamLAND-detektornál.

A két távoli járulékot úgy kombinálták, hogy a teljes U-tartalom  $m$  tömegét ( $10^{17}$  kg egységben) szabad paraméternek hagyták. Ezzel

$$S_{\text{távolsági, min}} = 6,45 + 12,15(m - 0,3) \text{ TNU},$$

$$S_{\text{távolsági, max}} = 8,65 + 17,37(m - 0,4) \text{ TNU}.$$

A kettő átlagához adták hozzá a közeli tartomány részletes modellel becsült járulékat. Összességében

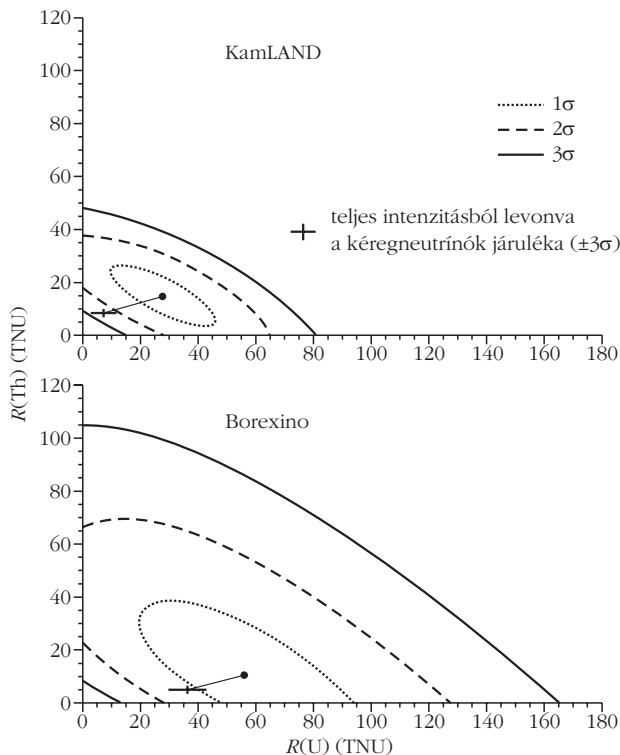
$$S = (17,66 + 14,76 m) \text{ TNU}$$

az eredmény. (A részletes hibabecslést és eredményét itt most nem ismertetem.)

A bomlásokban felszabaduló energiát a Föld saját hőtermeléséhez adott járulékként értelmezik. A Föld saját hőteljesítményét 40 TW körüli értékkel becsülik. Ez az érték az uráneloszlás adott geometriájával felső korlátot ad a radioaktív források teljes tömegére.

A geológiai meghatározott U-mennyiséget minimális ösztömegeként elfogadva ( $m = 0,3$ ) 19 TNU, a Föld teljes hőleadását az U+Th+K bomlásból származó hővel azonosítva ( $m = 1,8$ ) 49 TNU volt a fluxusra vonatkozó jóslat. Itt megemlíthető, hogy a köpenyre és a kéregre különbségtétel nélkül alkalmazott BSE-modell 295 TNU-ra vezet. A KamLAND-mérés *Nature* címlapját is meghódító közleménye a bemutatott részletes modellel összhangban lévő neutrínódetektálási eredményre jutott. Pontosabban úgy fogalmazhatunk, hogy 2,5-szeres hibahatárral kizárták azt a lehetőséget, hogy a földneutrínóknak tulajdonított jel pusztán statisztikai ingadozásból származna. A legutóbbi két közlemény [2, 3] a földneutrínók észlelésének bizonyosságát 4,5-szeres megbízhatósági határra emelte. (A Higgs-bozon felfedezését – bizonyos önkénnyel – akkor fogják bejelenteni, ha a felfedezés jelének statisztikai ingadozásoként való értelmezésére az ötszörös hibahatárnál kisebb esély marad.)

Az újabb kísérleti közleményekben (különösen a japán csoportéban) a detektált neutrínók energiaeloszlását már olyan pontossággal mérik, hogy a spektrum elméleti rekonstrukciójánál megkülönböztethetőek a különböző urán-tórium keverékekből származó



2. ábra. A KamLAND (felső ábra) és a Borexino (alsó ábra) kísérletben mért földneutrínó események energiaeloszlását a földkéreg részletes modellje alapján reprodukáló urán- és tóriumeredetű neutrínófluxusból származó beütésszámok,  $R(U)$  és  $R(Th)$ , TNU egységben (a legjobb egyezés a kövér pontokhoz tartozik). A pontok körül a kísérleti adatokat  $n = 1, 2, 3$ -szoros szórással reprodukáló forrásintenzitások kontúrjai láthatók. Háromszoros hibahatárral feltüntetjük mindkét ábrában azt a tartományt (keresztek) is, amelybe ez a pont átmegey, amikor a teljes intenzitásból levonjuk a földkéregből származó számított neutrínófluxust [6].

zó együttes eloszlások. Fiorentini csoportja az olasz geológiai szolgálat segítségével az Appenninek detektorhoz közeli kéregtartományára is elkészített egy finomabb felbontású urán- és tórium-előfordulási térképet. A távoli tartományokra pedig a folyamatosan fejlesztett  $2^\circ \times 2^\circ$ -os immár háromrétegű kéregtér-

kép jelenlegi verziójából kiszámítható járulékat használták. A KamLAND- és Borexino-kísérletek spektrumainak U+Th forrásokkal történt reprodukálásából a források erősségére levonható következtetést mutatja a 2. ábra. A spektrumoktól a legkisebb eltérésre vezető összetételből várt urán-, illetve tóriumeredetű neutrínó-beütésszámot reprezentáló vastag pont körül az 1-, 2-, 3-szoros szórás tartományának határait is feltüntették. A két detektorból származó becslés a jelenlegi hibahatárokon belül kompatibilis.

A kéregmodell járulékat a méréseket legjobban reprodukáló összetétel eredményéből levonva, mindkét mérésből a kétszeres hibahatárt meghaladó biztonsággal állítható, hogy zérustól különböző a maradék, amelyet a 2. ábra kereszttel jelzett pontjai mutatnak. Ezt azonosítják a köpenyből származó fluxussal.

A maradék értéket a köpeny hat különböző földszerkezeti modelljében becsült urán- és tóriumtartalommal hasonlították össze. Bár a jelenlegi hibahatárok mellett egyik modell sem zárható ki, arra a konklúzióra jutottak, hogy a magasabb U-Th tartalmú modellekből számolható fluxus áll közelebb a levonás utáni maradékfluxushoz. Ezek adataival számított radioaktív eredetű hőteljesítményre 14–20 TW adódik, amely a Föld teljes hőteljesítményének 40–50%-a. Továbbra is fennáll tehát a „hőrejtély”, mivel a Föld saját hőtermeléséhez adott járulékat tekintve a radioaktív bomlásokon kívül az egyéb lehetséges forrásokra az ismertetethez hasonló szinten számszerűsített becslés egyelőre nem ismert.

#### Irodalom

1. T. Araki és mtsai, *Nature* 436 (2005) 499.
2. G. Bellini és mtsai, *Phys. Lett. B* 687 (2010) 299.
3. A. Gando és mtsai, *Nature Geoscience* 4 (2011) 647.
4. G. Fiorentini, M. Lissia, F. Mantovani, R. Vanucci, *Phys. Rev. D* 72 (2005) 033017.
5. G. Marx, *Czech. J. Phys. B* 19 (1979) 1471; C. Avilez, G. Marx, B. Fuentes, *Phys. Rev. D* 23 (1981) 1116.
6. G. Fiorentini, G. L. Fogli, E. Lisi, F. Mantovani, A. M. Rotunno: *Mantle geoneutrinos in KamLAND and Borexino*. arXiv: 1204.1923 [hep-ph], 2012. április

## BALATONFÜREDI EMLÉKEIM MARX GYÖRGY PROFESSZOR ÚRRÓL

Vastagh György

Marx professzor úr kötődése Balatonfüredhez akkor kezdődött, amikor szülei megvásárolták a Munkácsy utca 8. szám alatti telket (akkor Arácshoz tartozott és a 3. számot viselte) a kis házikóval együtt, amelyet nyaralóként használtak.

Később, első fizetéséből már ő vásárolta hozzá a mellette lévő telket is, így lett elegendően nagyméretű az egyre növekvő családhoz és a sok-sok kedves – tudományos, művész-, munkatársi, tanítványi körökből érkező – vendéghez. A professzor úr ugyanis nem-

csak idehaza alakított ki alkotó baráti kapcsolatokat, de a külföldön élő magyar tudósokkal is korán elkezdte a kapcsolatok felvételét azzal a céllal, hogy e tudósok kötődjenek szülőföldjükhöz, legyenek büszkék magyar gyökereikre. Így került személyes barátságba Wigner Jenővel, Teller Edével, Gábor Dénessel, Kürti Miklóssal, Lánosz Kornéllal és Telegdi Bálinttal. Közülük nem egyet (Wigner, Teller, Kürti, Lánosz) sikerült Magyarországra „hozni” (például Wignert már 1972-ben, Tellert 1990-ben).



## Tizenegy Nobel-díjas ültetett fát Füreden

„Örömteli szívvel fácskát ültetek a hullámzó Balaton partján, melynek levelei túlélik majd mulandó életemet, gyökereikkel mélyre fúródnak a büszke magyar földbe, melyet a történelem örökké meggyötört. Legyen minden ágacska üdvözlő annak, aki eljön ide...” – írta *Salvatore Quasimodo* Nobel-díjas olasz költő 1961-ben, amikor fát ültetett a nevezetes balatonfüredi sétányon.

Szombaton délután megint sokan eljöttek ide, hogy *Harsányi János* közgazdász és *Oláh György* kémikus – iszafának ültetésén jelen legyenek. *Staley László* polgármester ünnepi köszöntőjében többek között büszkeséggel mondta: Balatonfüred híres arról, hogy kulturális eseményeiből hagyományt teremt. A faültetés *Rabindranath Tagore*-hoz, a szintén Nobel-díjas indiai költőhöz vezetendő vissza, aki Balatonfüreden nyerte vissza egészségét, szerelmese lett Fürednek és hálaüléül elsőként ültetett fát a később róla elnevezett sétányon. E hagyomány mostani folytatása lehetőségének gondo-



Képünkön *Oláh György* Nobel-díjas tudós ültet fát a füredi Tagore-sétányon

latát *Vastagh György*, a Lóczy gimnázium tanára vetette fel, és miután *Marx György* akadémikus is felkarolta, zöld utat kapott. A nemzetközileg is ismert, magyar származású Nobel-díjas tudósok és az ünneplők emlékeztet hangulatára jellemző *Oláh György*nek a sétány emlékkönyvébe írt sorai: „Nagy öröm és megtiszteltetés volt fát ültetni Balatonfüreden *Írisztini Jacsórád*, *Rendelen*, az a kis fa jól fog növekedni és más, jövő magyar Nobel-díjasok fái fognak neki környezetet biztosítani.”

és *Batár Zsolt*

Oláh György faültetéséről a *Pannon Napló* is beszámolt.

Az ő erőfeszítéseinek köszönhető az is, hogy családjaikat meggyőzve, *Szilárd Leó*, *Kürti Miklós* és *Hegyvesy György* hamvai hazai földben, a Magyar Nemzeti Panteonban nyugszanak.

Marx professzor úr – aki 1955-ben, 28 éves korában(!) lett Kossuth-díjas – 1956-tól kezdve a neutrínó-asztrfizikai kutatások terén ért el jelentős eredményeket, így a Nemzetközi Neutrínó-konferenciák állandó előadója és hazai szervezője lett. Az első konferencia helyszínéül 1972-ben Balatonfüredet választotta. Ekkor már működött az Annabella Hotel (1968 óta), így lehetőség volt a világ minden tájáról érkező neves tudósok színvonalas elhelyezésére.

Azóta két évenként a világ különböző városait tartanak ilyen nemzetközi konferenciákat, köztük 1978-ban ismét Balatonfüreden. De az első, az 1972-es más szempontból is nevezetes lett (erről később írok).

Másik nagy érdeklődési területe a fizikatanítás volt. Ő maga is egyetemi oktató volt, sőt az ELTE Atomfizikai Tanszék vezetője (1970-től 1992-ig), majd haláláig (2002) professzor emeritusa.

Elnöke volt a Fizikaoktatás Nemzetközi Társaságának (GIREP), és így előadója és szervezője e társaság nemzetközi konferenciáinak, amelyek 1967-ben kezdődtek (Lausanne, Svájc) és máig folytatódnak (immár a 23. konferenciával). A kilencedik (1981. szeptember) és a tizenkettedik (1989. szeptember) GIREP-konferenciára Balatonfüreden, a Füred Hotelben került sor. Az első füredi konferencia témája: *Magfizika, magenergia*, míg a másodiké: *Energiaalternatívák és oktatásuk* volt, sok neves előadóval, mint például *Eric Rogers* (USA-Anglia), *Jon Ogborn* (Anglia), *Roman Sexl* (Ausztria).

E konferenciák egyik programjaként tanórákat látogattak a Lóczy Lajos Gimnáziumban. Iskolánk részt vett a Marx professzor kezdeményezésére indult MTA-programban, amelynek célja a természettudományos oktatás modernizálása volt, és ebben Balatonfüredről *Kiszely Pál* kollégámmal ketten vettünk részt. A vendégek közül többen beírták benyomásaikat az iskola Vendéglékönyvébe. Természetesen Marx professzor úr is.

A nagy nemzetközi konferenciákon (Neutrínó, GIREP) kívül más oktatási konferenciáknak, tapasztalatcseréknek is helyszíne volt Balatonfüred: elsősorban finn és japán természettudomány-szakos tanárokat csábított Marx professzor úr Füredre és a Lóczyba. (Ilyen találkozók Füreden kívül más években és más városokban is voltak – például Jászberényben, Sopronban – de külföldön is, mint a genfi CERN-ben.)

Ezeket a magyarországi látogatásokat a magyar tanárok viszontlátogatása követte. Mindez természetesen Marx professzor úr kiterjedt nemzetközi tudományos kapcsolatainak volt köszönhető.

Most szeretnék visszatérni az 1972-es esztendő – még az írás elején említett – másik nevezettségéhez. Ebben az évben kezdődött a tudósok faültetése a Tagore sétányon, azonban hosszú ideig (1991-ig) nem volt ismeretes a kezdeményező személye. Az ő kilétét sikerült megtudnom az említett év decemberében a csernobili szakmai látogatásról visszafelé döcögő vonaton Marx professzor úrtól, őt idézem:<sup>1</sup>

„*Rabindranath Tagore* kezdte el a faültetést, és ebből adódott, hogy az indiai facsoport kialakult. Úgy emlékszem, hogy amikor *Salvatore Quasimodo*t készült Balatonfüred fogadni, *Lipták Gábor* ötlete volt, hogy *Quasimodo* is Nobel-díjas, tehát ültessen ő is fát, és ebből mintegy adódott egy Nobel-díjas faültetési rendszer.

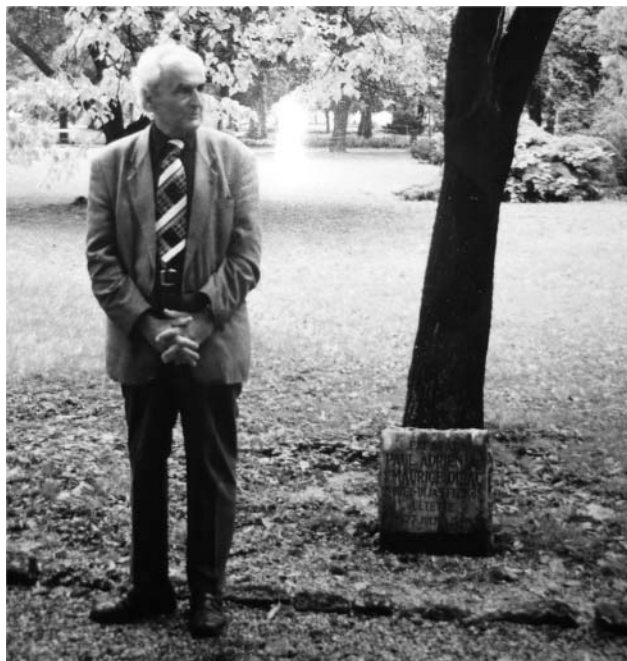
Magyarország a hatvanas évek vége körül tudományosan kezdett kinyílni, legalábbis mi szerettük volna kinyitni, ennek egyik nagy eseménye volt 1972-ben a Nemzetközi Neutrínó Konferencia, amelyre több Nobel-díjas fizikus is eljött. Akkor támadt az ötletem, ha két Nobel-díjas költő ültetett fát, akkor a Nobel-díjas *Richard Feynman* is ültessen.

Feynman a 20. század második felének egyik legzseniálisabb fizikusa volt. Ő itt Balatonfüreden, a szív-kórház előadótermében mondta el fizikatörténeti jelentőségű előadásában, hogy az 1970 körül elvégzett kísérletekben miként vették észre a protonok és neutronok mélyén lévő kvarkokat, és ezek miért nem tudnak kiszabadulni, akármekkora lökést kapnak. Így adódott Feynman fája.

De hát 1972 volt és egyensúlynak is kellett lennie, úgyhogy *Bruno Pontecorvó*t – aki hasonló témákkal foglalkozott és szintén zseniális volt, azonban a történelem vihara Keletre sodorta – kértük meg másik faültetőnek. Mindkét fát ugyanazon a napon, június 13-án ültették.”

E két 1972-es faültetés után, még ugyanabban az évben ültetett fát *Ilja Mibajlovič Frank* is. Majd *Wigner Jenő* (1976), *Paul Adrien Maurice Dirac* (1977), *Alek-*

<sup>1</sup> Saját magnófelvétel.



Marx György a Dirac-centenáriumon.

szander Mihajlovics Proborov (1979), Rudolf Mössbauer (1982), Nevill Francis Mott (1986), Benoit Mandelbrot (1987), Kürti Miklós (1989), Teller Ede (1991), Harsányi János (1995), Oláb György (1995), a magyar származású Daniel Carleton Gajdusek (1998) követte őket.

Ezek a faültetések igazi örömteli események voltak mind városunk, mind pedig a magyar fizikustársadalom számára. A faültetések után Marx professzor úr a kertjében az ültetőknél, a füredi, a hazai és külföldi vendégeknek maga készítette a „tűzönsült húst”, húzta föl az akkor még meglévő kútban hűlő görögdinnyét. A vendégfogadó ital cseresznyepálinka volt („Fekete címkés, mert attól szerelmes lesz az ember.”). Majd sör, mert „attól meg boldog lesz az ember”. Richard Feynman a kerek nádasztalkán dobolt a közönségnek (kitűnő dobos is volt), Paul Maurice Dirac viszont bevonult a szobába, mert az ő szervezete nagyon sok alvást igényelt. Marx professzor sokáig ereklyeként őrizgette a nádasztalt és a Dirac által használt pokrócot.

Ám Marx professzor úrnak köszönhetően Balatonfüredre látogatott több olyan személy is, aki a fasort szerette volna látni, például B. S. Bajwa és H. S. Virk professzorok Indiából 2001-ben. 2002-ben még két centenáriumi megemlékezést rendeztünk a fasorban, amelyeken a professzor úr is részt vett: 2002. augusztus 8-án ünnepeltük Dirac 100. születésnapját, majd 2002. november 11-én Wigner Jenő lánya, Martha (és férje) részvétele mellett tartottuk meg a magyar fizikusét is (Wigner Jenő 1902. november 17-én született).



A 2003-ban, Marx György emlékére ültetett fa.

A nagybeteg Marx Györgynek ekkor már csak három hetet tartogatott a sors. (Marx professzor 2002 nyarán elbúcsúzott Balatonfüredtől. Baráti segítséggel végigsétált mindenfelé, amerre fiatalon gyakran járt. Besétált a Koloska-völgybe is, beljebb csak autóval, mert elfáradt. Annak idején ott szokott pöfeteggombát szedni, amit nagyon finomra tudott főzni.)

Így a következő, 2003. június 23-i faültetés, szomorú esemény lett. Ekkor került sor a 2002. december 2-án elhunyt Marx György professzor úr emlékfájának elültetésére az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, az ELTE Atomfizikai Tanszéke és a helybeliek kezdeményezésére, sok-sok tisztelgő jelenlétében.

A világhírű fasor megteremtője elment, de alkotása tovább él. Halála óta máig két külföldi tudós ültetett fát: 2005-ben Robert Hubert (kémiai Nobel-díj, 1988) és 2009-ben Avram Hershko – a Karcagon született Herskó Ferenc – (kémiai Nobel-díj, 2004), és biztosan sor kerül majd újabb faültetésekre is. Erre garancia a magyar természettudományok művelőinek világhíre és hazaszeretete mellett a helyiek lokálpatriotizmusa.

#### Források

*Fizikai Szemle* 53/1 (2003) – Marx György különszám  
Marx György – *Wikipédia*  
About GIREP (Internet)

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 egyszámlán.

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

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

# A PAJTA-RÚD PARADOXONRÓL

Hraskó Péter  
PTE Elméleti Fizika Tanszék

A pajta-rúd paradoxon a Lorentz-kontrakcióban rejlő látszólagos ellentmondásra mutat rá. Az ellentmondás feloldásához köztudottan egy másik „paradoxont”, az egyidejűség relativitását kell segítségül hívni, de ez önmagában még nem elegendő a pajta-rúd paradoxon feloldásához. Azt is figyelembe kell venni, hogy a mechanikai hatások még a köznapri értelemben szilárdnak tekinthető testekben sem terjedhetnek a fénynél gyorsabban. Ha ez nem így volna, a paradoxon a relativitáselmélet igazi cáfolata lenne. Az alábbiakban újramesélem a paradoxont, ezúttal egy vérfagyasztó krimibe ágyazva.

## A paradoxon

Egy rablóbanda elhatározza, hogy kirabol egy kincszállító vonatot. A terv alapja az, hogy a vonat áthalad egy alagúton. A banda az alagút két bejáratára titokban erős, kapuszerű sorompót szerel fel, amelyeket rádiójellel lehet lezárni. Az egyik bandatag az alagút két végétől egyenlő távolságra lévő pontban helyezkedik el a jeladóval (1. ábra) és a bandavezértől azt a parancsot kapja, hogy amikor a vonat eltűnik az alagútban, hozza működésbe a sorompókat. Az alagútban rekedt vonat azután a banda többi tagja elfoglalja és kifosztja.

A bandavezér azonban váratlan üzenetet kap a szerelvény összeállításában segédkező egyik vasutasától, aki a bűntársa. Eszerint a szerelvény hosszabb, mint amire számítottak, véletlenül pont olyan hosszú, mint az alagút, ezért az akciót le kell fújni. A bandavezér azonban, aki főállásban elméleti fizikus, megnyugtatta az informátort: a Lorentz-kontrakció miatt a vonat teljes egészében el fog férni az alagútban, a terv tehát végrehajtható marad.

A vonat elindulása után a titkosszolgálat valahogy megneszeli a készülő rajtaütést és mobiltelefonon utasítja a vonatvezetőt, hogy azonnal állítsa le a vonatot. A vonatvezető azonban jó volt fizikából és megnyugtatta a titkosszolgálat emberét: az alagút a vonat-

hoz képest Lorentz-kontrakciót szenved, a vonatnak legalább az egyik vége biztosan ki fog lógni az alagútból, ezért a jeladónál figyelő bandatagnak nem lesz alkalma beindítani a sorompók működését.

Kinek van igaza, a bandavezérnek vagy a vonatvezetőnek? És miben tévedett a másik?

## A magyarázat

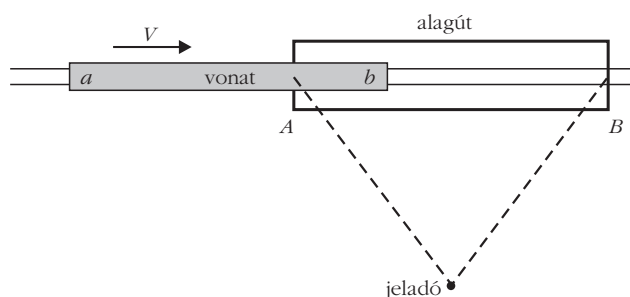
A bandavezérnek van igaza. A jeladó szimmetrikus helyzetben nyugszik az alagút  $A$  és  $B$  végpontjához képest, ahol a sorompókat a banda felszerelte. Az alagút (vagyis a vasúti töltés)  $\mathfrak{S}$  nyugalmi rendszerében ezért a sorompók zárása egyidőben történik. A vonat az  $\mathfrak{S}$ -hez képest  $V$  sebességgel mozog, ezért Lorentz-kontrakciót szenved. A feladat szerint a nyugalmi hossza egyenlő az alagút nyugalmi hosszával, így a Lorentz-kontrakció következtében  $\mathfrak{S}$ -ben rövidebb, mint az alagút: Amikor a vonat  $a$  vége eltűnik az alagút  $A$  bejáratánál, az eleje ( $b$  pontja) még nem éri el az alagút  $B$  kijáratát. Ezért ha a jeladót ebben a pillanatban működésbe hozzák, a vonat valóban bent ragad az alagútban, és a banda megrohanhatja.

Természetesen jól fel kell szerelkezniük lángvágókkal, mert a  $B$  kijáratú kapuba történő beleütközés következtében a szerelvény hossza még a mozgási hosszánál is rövidebbre préselődik össze. A vonat elejének ( $a$  pontnak) a hirtelen lefékeződésénél keletkező „löket” ugyanis legfeljebb fénysebességgel haladhat végig a vonaton, és ennek következtében a vonat vége (az  $a$  pont) egy ideig még mozgásban marad a vonat elejének hirtelen leállása után is.

Miben tévedett a vonatvezető? Abban teljesen igaza volt, hogy a vonat nyugalmi rendszerében az alagút Lorentz-kontrakciót szenved, és ennek következtében, *ha nem zárnák le az alagutat*, a vonatnak legalább az egyik vége mindig biztosan kilógna. Azonban nem vette figyelembe az egyidejűség relativitását, amelynek következtében a vonat  $\mathfrak{S}'$  nyugalmi rendszerében a sorompók működése nem egyidőben történik, és azt sem, hogy a hatások még a hétköznapi értelemben szilárd anyagokban sem terjedhetnek a fénynél gyorsabban.

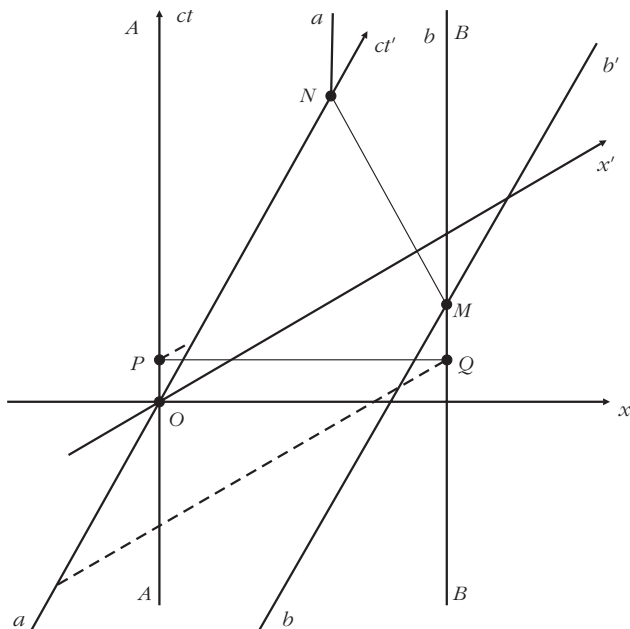
A vonat  $\mathfrak{S}'$  nyugalmi rendszeréből nézve az események lefolyása a következő. Mivel az alagút a vonat-hoz képest  $-V$  irányban mozog, a jeladóból a  $B$  felé haladó rádiójel előbb zárja le a  $B$  sorompót, mint a másik rádiójel az  $A$  sorompót.<sup>1</sup> Amikor a  $B$ -beli so-

1. ábra. A helyszín.



<sup>1</sup> Az alagúttal együtt a jeladó is mozog, de ennek nincs jelentősége, mert a rádiójelek sebessége független az adó mozgásától.





2. ábra. Az események tér-idő ábrája.

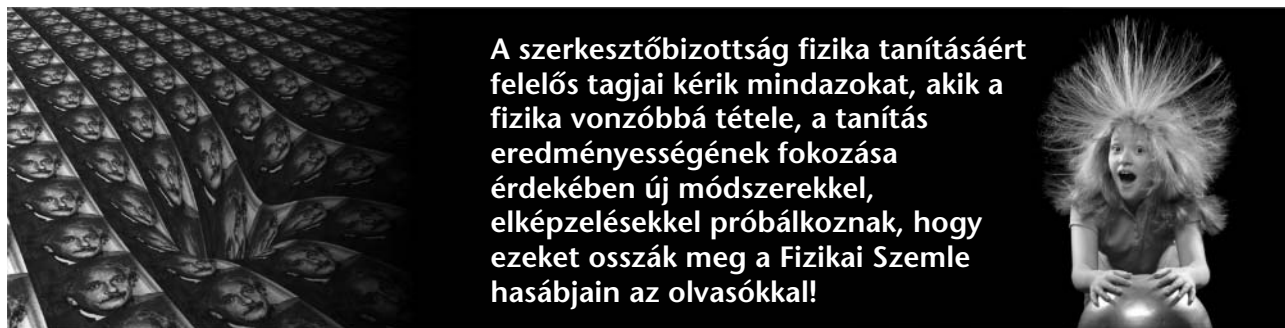
rompó beleütközik a *nyugvó* vonat *b* elejébe, a vonat vége (az *a* pont) az alagút Lorentz-kontrakciója következtében még kilóg az alagútból és a lökés véges terjedési sebessége következtében egy ideig még nyugalomban marad. Még akkor is nyugalomban lesz, amikor az *A* kapu áthalad rajta és az egész vonat elnyeli az alagút. A vonat elejéből kiinduló lökés csak ezután éri el a vonat végét. Ettől a pillanattól kezdve hurcolja magával az alagút az egész összeroncsolt vonatot, amelynek a hossza a roncsolódás következtében még a mozgási hosszánál is rövidebb, hiszen különben nem férne el a *V* sebességgel mozgó alagútban, amelynek mozgási hossza megegyezik a vonat *S*-beli mozgási hosszával a leállás előtt.

Ez a két forgatókönyv Lorentz-transzformáció segítségével igazolható, de ezzel egyenértékű, ha a tér-idő ábrán demonstráljuk a helyességüket (2. ábra). A koordináta-rendszer *O* origója az az esemény, amikor a vonat *a* végpontja és az alagút *A* bejárata éppen egybeesik. Az alagút az *AA* és a *BB* világvonalak közötti sávot foglalja el. Ha a sorompókat nem hoznák működésbe, a vonat a *ct'* tengely és a *bb'* egyenes közötti sávot foglalná el. A vonat és az alagút nyugalmi hosszának egyenlőségét az fejezi ki, hogy a *BB* egyenes és az *x*-tengely metszéspontja, valamint a *bb'*

egyenes és az *x'*-tengely metszéspontja ugyanazon az  $x^2 - c^2 t^2 = l_0^2$  hiperbolán van rajta (ezt a hiperbolát nem ábrázoltuk). A rajz mutatja, hogy *S*-hez viszonyítva a vonat teljesen elfér az alagútban, az *S'*-höz viszonyítva azonban az alagút fér el teljesen a vonat hosszán belül. Ez utóbbi állítás abból következik, hogy az *x'* tengellyel párhuzamos *t' = konstans* egyeneseken kis negatív *t'*-nél az alagút végpontjai a vonat sávján belülré esnek. Az alagút *A* sorompójának a bezárása a *P*, a *B* sorompójának bezárása pedig a *Q* esemény. Az alagút *S* vonatkoztatási rendszeréhez rögzített vesszőtlen *R*-ben ez a két esemény ugyanabban a pillanatban történik, ezért az őket összekötő egyenes párhuzamos az *x*-tengellyel. A sorompók működése következtében a vonat most az *aONa* és a *bMb* közötti sávot foglalja el. A vonat *b* elejének beleütközése a *B* sorompóba az *M* esemény. Ettől kezdve a vonat eleje és az alagút *B* kijárata ugyanazon a (fügőleges) világvonalon fekszik. Az ütközés által okozott hatás az *M* → *N* világvonalon terjed a vonaton visszafelé és az *N* pontban éri el a vonat elejét, amely ekkor áll meg. Az *MN* szakasz  $45^\circ$ -nál kisebb szöget zár be a *ct* tengellyel, mert a lökés terjedési sebessége *c*-nél kisebb.

A vonat sebességével mozgó *S'*-hez rögzített vesszős koordináta-rendszerben a *ct' = konstans* vonalak az *x'* tengellyel párhuzamos egyenesek. Ennek alapján jól látható, hogy a *B* sorompó zárása *S'*-ben előbb következik be, mint az *A*-é: az előbbi esemény negatív *t'*-nél, az utóbbi pozitív *t'*-nél történik. Ezek közé esik a *t' = t = 0* pillanat, amikor a vonat *a* vége is eltűnik az alagútban.

Vegyünk észre, hogy amikor új koordinátákra térünk át az *x*-tengelyt és a *ct*-tengelyt, mint egy ollót nyitjuk és zárjuk a  $45^\circ$ -os egyenesre szimmetrikusan. A tér-idő ábrának azokkal az elemeivel, amelyek fizikai tényeket ábrázolnak (ilyenek az *O*, *P*, *Q*, *M*, *N* események, az alagút és a vonat végpontjainak világvonalai, a vonaton végigfutó löket világvonala, valamint a fényjelek  $\pm 45^\circ$ -os világvonalai) eközben *nem történik semmi*. Ebből nyilvánvaló, hogy ha egy történet összefér a relativitáselmélettel valamilyen inerciarendszerben, akkor ez egy olyan tény, amelyen csupán a nézőpont áthelyezésével egy másik inerciarendszerbe nem lehet változtatni. A vonatvezetőnek illetet volna ezzel tisztában lennie, ha tényleg olyan jó volt fizikából. A vonat biztonságát csak úgy garantálhatta volna, ha hibát mutat ki a bandavezér elgondolásában.



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



# KÍSÉRLETEK NANOVASTAGSÁGSÁGÚ HÁRTYAKONDENZÁTOROKKAL

Schronk Edina, BME mechatronikai mérnök szakos hallgató  
Daróczy Csaba Sándor, MTA TTK MFA

## Előzmények

A téma eredete az MTA MFA által 2011-ben kiírt *NanoDemo* pályázatig nyúlik vissza, amelyben nanojelenségek látványos bemutatására alkalmas kísérleti elképzeléseket kerestek, hogy a legjobbak profi megvalósítás után a Csodák Palotája gondozása alatt országot járó *Nanobusz* révén bárhol bemutathatók legyenek – ilyen módon is népszerűsítve a nanojelenségeket és -tudományt, főleg a középiskolás fiatalok, de akár az egész lakosság körében is. E pályázatra született a *Nanovastagságú buborékhártya-kondenzátor* című terv is (*Schronk Edina*). Ez utólag nehezebben megvalósíthatónak bizonyult, mint eleinte hittük. Szerencsére a felmerült nehézségek „kerülgetése” nem volt terméketlen, egyéb érdekes kísérleti lehetőségek is adódtak, eleinte nem is gondoltuk volna. Így, bár a végcél még nem értük el, szívesen adunk ízelítőt az eddigiekből, hátha mások is kedvet kapnak az effajta kísérletezéshez (például fizika-kémia szakkörön).

## Az eredeti terv

A NanoDemo pályázathoz kerestünk valamit, ami legalább az egyik dimenziójában nagyon kicsi, mint például a szappanbuborékok fala, amely köztudottan vékony. (Többnyire mikron körüli, azaz a látható fény hullámhossz-tartományába esik, innen a színjátásos hajlama.) De nem kimondottan a szappanbuborékokkal szerettünk volna foglalkozni, mert azokat már mindenki ismeri, noha szerkezetük nem olyan magától értetődő: a faluk valójában 3 rétegű, belül víz, kifelé szappanhártyával határolva, mégpedig úgy, hogy a „szappanmolekulák” hidrofíl része a belső víz felé áll, a hidrofób pedig a külső levegő felé. A víz e szappanos „ruhán” keresztül nem párolog olyan gyorsan, mint egyébként, de azért így is egyre fogy, és ha mennyisége egy kritikus szint alá csökken, a hártya átszakad, a buborék pedig elpukkan. A rétegsorrend mindenestre a következő: szigetelő-vezető-szigetelő (tudniillik a nem teljesen tiszta víz elég jól vezet). Ha a sorrend valamiképp vezető-szigetelő-vezető lenne, akkor pont egy elektromos kondenzátort kapnánk!

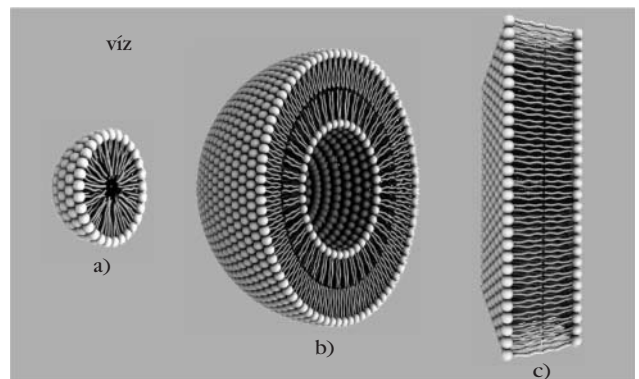
A levegőben erre nem találtunk létező példát, de azután leesett a tantusz: ha a kiindulási közeg nem levegő, hanem víz, akkor megfordulnak a dolgok, vagyis ha a vízben hozzuk létre a szappanbuborék megfelelőjét, akkor a szappanmolekulák hidrofíl része kifelé (az elektromosan vezető víz felé) fog állni, a hidrofób pedig a réteg belseje felé, ahol mond-

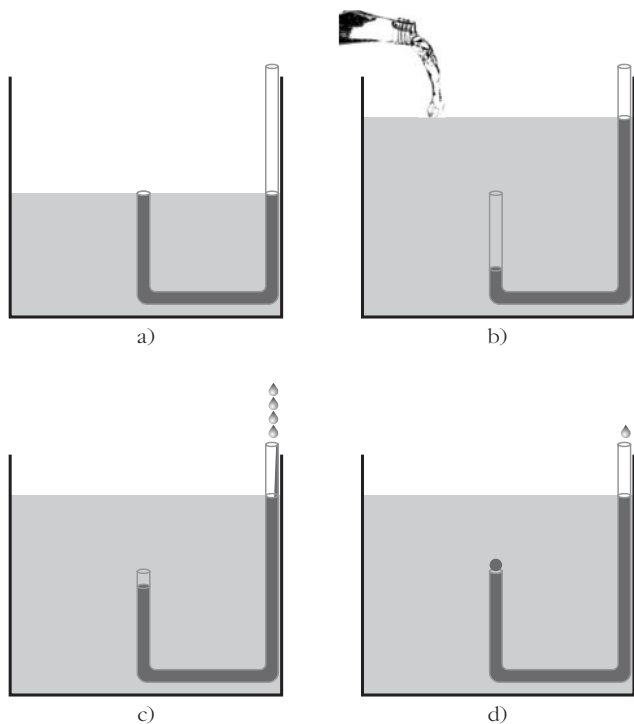
juk egy elég jó szigetelő, olaj lehetne. Egy ilyen sajátos víz alatti buborék fala már kondenzátorként viselkedhetne, és ezért kapacitását megmérve vastagságára is következtethetnénk.

Azután persze rájöttünk, hogy a természet (közlebről az élővilág) e téren (is) jóval előttünk jár, ugyanis az *élő sejtek hártyája* valóban hasonló felépítésű: a sejtek belseje (citoplazma) és a külvilág is elektromosan elég jól vezető vizes közeg (elektrolitként hasonlít az ősi óceánok összetételére), míg a hártya belseje lipid-fehérje komplexum, viszonylag jó szigetelő képességgel. Éppen ezért lehetséges az is, hogy a sejtek külseje és belseje között elektromos potenciál-különbség legyen (pár száz mV), aminek igen nagy jelentősége van például izom- és idegsejtek esetében. Mindez megerősített minket abban, hogy az általunk létrehozni kívánt hártya is megalkotható/elkészíthető valahogy, és kondenzátorként is vizsgálható, csak felülete legyen elég nagy, stabil és viszonylag könnyen reprodukálható (ez utóbbival akadtak gondjaink, de ne vágjunk a dolgok elébe). A főbb lehetőségeit áttekintéséhez lássuk az *1. ábrát*.

Célunk az volt, hogy vizes közegben létrehozzunk a liposzómákhoz hasonló, csak éppen makroszkopikus méretű „buborékokat” (avagy cseppeket), a vízhez szappanos és olajos természetű anyagokat adva, a szappanbuborékok fújásához hasonló geometriai elrendezésben, gondoskodva még elektródákról is, amelyek közül az egyik a buborék belső felével, a másik a külső felével áll galvanikus kapcsolatban. Így az elektródák között mérhető kapacitás-

*1. ábra.* a) Micella: ilyenek keletkeznek például mosogatásnál. Kívül, a víz felé a hidrofíl rész található, belül pedig a hidrofób rész az esetlegesen bekerített (vízben másként nem oldódó) szennyeződéssel. b) Liposzóma: ezek például foszfolipidek vizes közegben végrehajtott ultrahangos rázása révén keletkezhetnek, jellemzően mikron alatti átmérővel. A liposzómán kívül és belül is víz van. A liposzómákat előszeretettel használják a kozmetikai és a gyógyszeriparban. c) Lipid kettősréteg: az élő sejt membránjához hasonlít, annak további összetevői nélkül.





2. ábra. A buborék létrehozásának tervezett lépései: a) kezdeti folyadék betöltések, b) külső víz utántöltése, c) belső víz utántöltése, d) buborék létrehozása c) óvatos folytatásával.

ban benne lenne a buborékot határoló szigetelő hártya kapacitása is, amit pedig egy alkalmasan választott frekvenciájú, négyszögjel alakú töltő-kisütő áram segítségével mérhetünk, ha egy oszcilloszkópon megfigyeljük a kondenzátorunkon folyamatosan változó feszültséget.

A buborékok létrehozásához a 2. ábrán látható konstrukciót ötlöttük ki. Veszünk egy felemás hosszúságú U alakú üvegcsövet, amely rögzítve van egy vizes kád (akvárium) belső falához. Az U-cső alacsonyabb szárának nyílásánál próbáljuk majd létrehozni a buborékot. Ehhez (a) a kádat feltöltjük vízzel eddig a szintig, a cső belsejébe pedig beengedjük azt a folyadékkeveréket, amelyben benne vannak a hártya-képző anyagok is, vagyis némi mosogatószer és olajos szennyeződés, valamint egy kevéske tinta, hogy jól meg tudjuk figyelni a kétféle víz mozgását. Ezután (b) a kádba óvatosan további vizet eresztünk, ezért a tintás víz szintje az alacsonyabb szárban csökkenni, a másikban meg emelkedni fog (közlekedő edények). A következő (c) lépésben az U-cső magasabb szárán át annyi plusz tintás folyadékot engedünk be, hogy a tintás víz az alacsonyabb szár tetejéig emelkedjen. Ezután már élesben mennek a dolgok, (d) mert nagyon óvatosan kell tovább folytatni a tintás víz beengedését (egyszerre csak egy csepp tört részét engedhetjük be).

A kétféle víz találkozásának határán, vagyis az alacsonyabbik szár tetején bizonyos valószínűséggel kialakul egy, a cső teljes keresztmetszetén átívelő hártya. Ha ez a hártya elég erős volna, akkor kis buborékot is „fújhatnánk” – de az igazat megvallva, már egy félbuborék kidudorodásának is nagyon lehet

örülni. Sokféle dologgal kísérleteztünk, hogy stabil félbuborékot hozzunk létre, de eddig még nem jártunk sikerrel. Ezért ezen a ponton módosításra szántuk el magunkat. A részletezés előtt viszont még megjegyeznénk, hogy a könnyebb áttekinthetőség kedvéért a 2. ábrán nincsenek feltüntetve az elvezető elektrodák. Az egyik elektróda az U-cső alacsonyabbik szára körül van gyűrű alakban kívül, míg a másik belül. Utóbbihoz a hozzávezetés az U-cső belsejében halad, majd a magasabb száron át lép ki. Ezért, ha létrejött a szigetelő hártya, akkor a két elektróda galvanikusan már nem lesz kapcsolatban. Amíg viszont nincs meg a hártya, addig a két elektróda a vízben keresztül „rövidre záródik”.

## A módosított terv

Mint hogy a tervezett formában nem tudtunk elég stabil buborékhártyákat létrehozni, biztosabb módszert kerestünk. Ennek lényege, hogy egy gyorsan párolgó oldószerrel készített oldatot cseppentünk a víz felszínére, ahol az oldószer elpárolgása után visszamarad egy nagyon vékony hártya. Hogy pontosan milyen vékony, az függ az oldott anyagtól, az oldószertől és a csepp nagyságától is. Alkalmaskak különféle híg folyékony ragasztók (pálmát és ciano-akrilát alapú polimerizációsakat is beleértve), körömlakkok (hölgyek előnyben ☺), de a legjobbnak eddig a körömlakkle mosóban oldott, celluloid alapú pingponglabda bizonyult. A hártya kialakulása gyakorlatilag másodpercek alatt lezajlik, és ha nem is mindig színjátós (ez a vastagság függvénye), kissé oldalról nézve – a víz felületi mozgásának megváltozása miatt – jól látható. Az így létrehozott hárttyát már csak a helyére kell mozgatni, hogy meg tudjuk mérni. A vízből kivenni általában lehetetlen, ahhoz ugyanis nem elég erős. De egy vékony dróthurokkal minden további nélkül oda lehet vontatni az U-cső alacsonyabb szárának tetejéhez, majd felülről óvatosan nedvesítve (permetezéssel és cseppentéssel) a víz alá süllyeszteni. Az ellenállás megnövekedése, illetve a kapacitás megjelenése mutatja, ha akciónk sikeres volt.

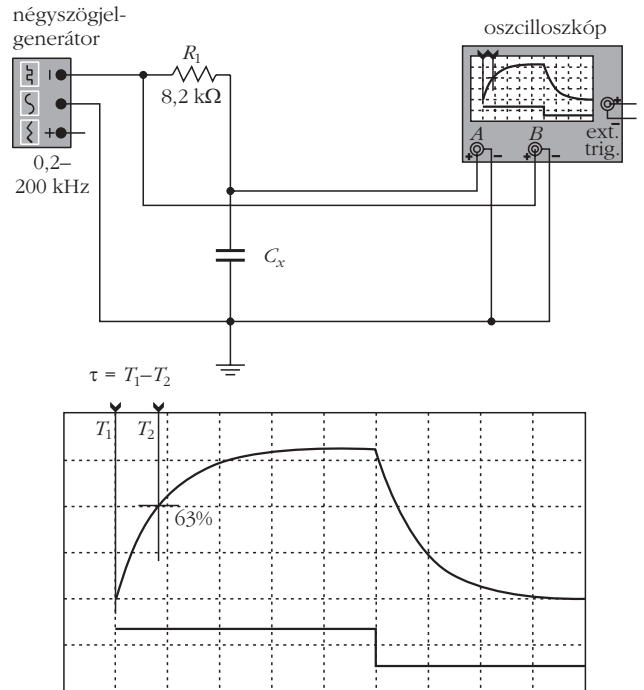
## Mérési nehézségek

Amíg nem állt rendelkezésünkre elfogadhatóan vékony hártya, addig azt sem tudtuk megállapítani, hogy egyáltalán elég jó-e mérési összeállításunk, már ezért is szerencsés döntés volt a hártya előállításának módosítása. Kiderült, hogy az U alakú cső szárában haladó belső elektródát érdemes a víz helyett levegővel körülvenni, hogy a szórt kapacitás minél kisebb legyen. Felesleges a tintás folyadéknak az U-cső teljes keresztmetszetében haladnia, mert elég hozzá egy vékonyka tefloncső is, és akkor az U-csőben – leszámítva az alacsonyabb szárának tetejéhez közeli 1-2 cm-t, ahol a belső elektróda található – szinte végig levegő maradhat. Az is kiderült, hogy az oszcillosz-

kóp bemenő kapacitása (33 pF), valamint a hozzá vezető koaxiális kábel további kapacitása (50 pF) már akkora, hogy képes meghamisítani a kisebb kapacitások (vastagabb rétegek) mérését. Ezért egy RC-tagokból álló előosztót használunk, hogy a mérést megzavaró kapacitás csak mintegy 12 pF legyen. Végül sokat tudunk javítani az érzékenységen azzal, hogy a vizsgált hártakondenzátort nem önmagában mérjük, hanem egy ellenfázisú hídban, összehasonlítva a hártya nélküli esetnek megfelelő kapacitással és ellenállással.

A mérés és kiértékelése alapelveit egyszerűsített formában láthatjuk a 3. ábrán: a 0,2–200 kHz frekvenciatartományban választunk egy olyan frekvenciát, ahol jól látható a vizsgált kondenzátor hatása, vagyis amikor a bejövő négyzet alakú feszültség egy  $R_1$  ellenálláson át tölti és süti ki a hártyat (a  $C_x$  kondenzátort), akkor a feszültség alakja jellegzetesen torzul. Ilyenkor a feszültség a maximális értéke 63%-át (pontosabban  $1/e$ -ed részét) éppen  $R_1 C_x$  idő alatt (a  $\tau$  időállandó alatt) éri el. Ezért oszcilloszkópon megmérve a  $\tau$  időt, az  $R_1$  ellenállás ismeretében egy egyszerű osztással kapjuk a kérdéses kapacitást:  $C_x = \tau/R_1$ .

(Felvetődhet a kérdés: miért nem használunk gyári kapacitásmérőt? Nos azért, mert akkor a mérő frekvenciát és annak nagyságát nem tudnánk hozzáigazítani a mérésünkhöz, továbbá mert az ilyen műszereket ismeretlen mértékben – de sokszor nagyon – zavarják az olyan körülmények, mint esetünkben a viszonylag alacsony értékű párhuzamos ohmos el-

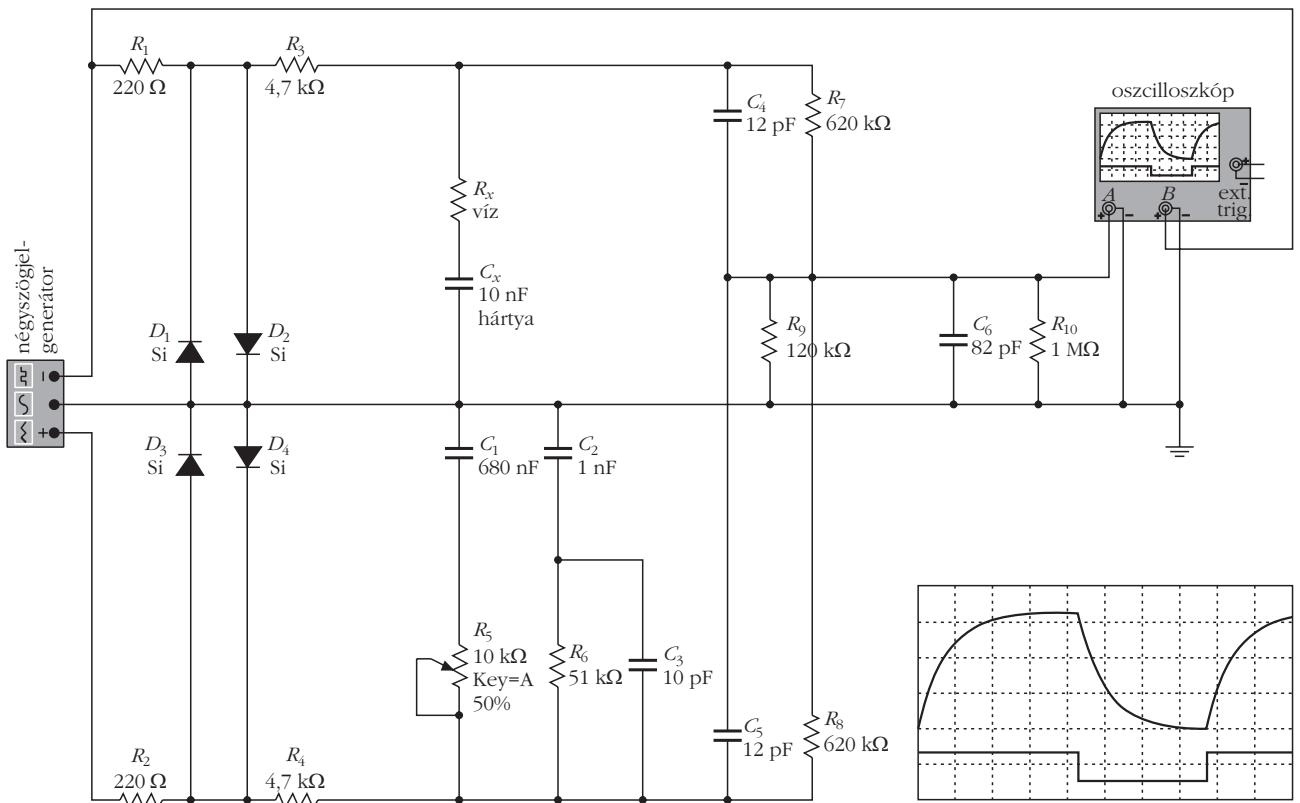


3. ábra. A  $C_x$  kapacitás meghatározása négyzetjel-generator és oszcilloszkóp segítségével:  $C_x = \tau/R_1$ .

lenállások, továbbá egyenáramok és -feszültségek is jelen lehetnek.)

Mérésünk alapötletének megértéséhez a 3. ábra elegendő. Aki hozzánk hasonlóan kísérletezni is szeretne, annak hasznos lehet a 4. ábrán látható telje-

4. ábra. Szimmetrizált és kompenzált elektronikai híd a hártya  $C_x$  kapacitásának oszcilloszkópos méréséhez.



Mért és számolt adatok különféle anyagokból álló szigetelő hártályakon, a kapott kapacitással, illetve a min./max. relatív dielektromos állandókkal számolt rétegvastagságokkal

anyag	mért $d$ ( $\mu\text{m}$ )	mérés frekvencia (kHz)	időalap ( $\mu\text{s}$ )	felfutási idő (kis osztás)	mért $\tau$ ( $\mu\text{s}$ )	korrigált $\tau$ ( $\mu\text{s}$ )	$C_x$ (pF)	$\epsilon_r$ min.	$\epsilon_r$ max.	számolt $d$ ( $\mu\text{m}$ )	
										min.	max.
celofán csomagoló 1	200	200	1	5	1,00	0,2	22	6,7	7,6	171,712	194,778
celofán csomagoló 2	500	200	1	4,3	0,86	0,1	7	6,7	7,6	572,373	649,259
csillám alátét	100	200	1	7	1,40	0,6	66	4,0	9,0	34,172	76,886
polimer ragasztó szalag (PVC)	130	200	1	5	1	0,2	22	2,8	4	71,760	102,515
polietilén háztartási fólia	12,5	100	1	10	2	1,2	132	2,5	2,5	10,679	10,679
szilikon gumi (kesztyű)	140	200	1	5,3	1,06	0,3	29	3,1	3,2	61,114	63,086
alumínium, eloxált, nagy		5	20	4,5	18	17,2	1890	9,4	13,3	2,801	3,963
alumínium, eloxált, kicsi		10	10	4,5	9	8,2	901	9,4	13,3	5,876	8,314
alumínium, csiszolt 2		0,25	500	3,5	350	349,2	38374	9,4	13,3	0,138	0,195
sárgaréz, oxidos		2	50	3,7	37	36,2	3978	10	18,1	1,416	2,563
vörösréz, oxidos		0,5	200	3,5	140	139,2	15297	18,1	18,1	0,666	0,666
permalloy (Fe-Ni)		0,5	200	8	320	319,2	35077	11,9	14,2	0,191	0,228
ónozott lemez		0,25	500	2,5	250	249,2	27385	10	14	0,206	0,288
SiO <sub>2</sub> (Si lemez fényes oldala)	0,1	1	100	5,5	110	109,2	12000	3,8	4,4	0,178	0,207
SiO <sub>2</sub> (Si lemez hátoldala)	0,1	0,5	200	5,5	220	219,2	24088	3,8	4,4	0,089	0,103
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> (Si lemez fényes oldala)	0,3	3	50	3,5	35	34,2	3758	4	4	0,600	0,600
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> (Si lemez hátoldala)	0,3	3	50	3,5	35	34,2	3758	4	4	0,600	0,600
celluloid hártaly 1		2	100	2,3	46	45,2	4967	3,2	3,8	0,363	0,431
celluloid hártaly 2		2	50	8	80	79,2	8703	3,2	3,8	0,207	0,246

További adatok, felhasznált képletek: az üvegcső belső  $D$  átmérője 9 mm,  $A$  keresztmetszete  $63,62 \text{ mm}^2 = 6,36 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$ , az  $R_3+R_x$  ellenállás értéke  $9,1 \text{ k}\Omega$ , a vákuum  $\epsilon_0$  permittivitása  $8,85 \cdot 10^{-12}$ ,  $\tau$  korrekciós idő  $0,8 \mu\text{s}$ , a hártaly  $C_x$  kapacitása  $\tau/(R_3+R_x)$ , amiből a számolt  $d$  vastagsága  $\epsilon_r \epsilon_0 A/C$ .

sebb elektronikai rajz. Különösebb részletezés nélkül: a  $C_4R_7$ ,  $C_5R_8$  és  $R_9$  képezik azt az osztót, amely hivatott az oszcilloszkóp és a koaxiális kábel bemenő kapacitását és ellenállását ( $C_6$  és  $R_{10}$ ) kompenzálni a bejövő híd felső és alsó ágáról is.  $R_x$  a víz hozzávezetési ellenállása,  $C_x$  a hártaly ismeretlen kapacitása.  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $R_5$ ,  $R_6$  és  $C_3$  a víz és az elektródák hártaly nélküli dielektromos viselkedését modellező komplexum a használt (200 Hz – 200 kHz) frekvenciatartományban.  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  és  $D_4$  az esetleg tökéletlen alakú négyszögjel szimmetrizálását végzik limitálással.

A vizsgált  $C_x$  kondenzátor létrehozása/beiktatása előtt – helyén ilyenkor rövidzár van – az  $R_5$  potencióméterrel úgy minimalizáljuk a jelet, hogy szinte csak egy egyenes vonal maradjon. Ekkor  $R_5$  értéke csaknem azonossá válik a víz hozzávezetési ellenállásával, ebből megtudjuk  $R_x$  értékét. A szigetelő hártaly képződésével a híd egyensúlya felborul, és az oszcilloszkópon megjelenik a jellegzetesen torzult négyszögjel alak. Számunkra a frekvencia pontos értéke közömbös, mint ahogy a jel abszolút nagysága is. Egyedül az érdekes, hogy maximális amplitúdója 63%-át mennyi idő alatt éri el (időállandó), ezt kell megállapítanunk.

## Mérési eredmények

Mondják, hogy „akinek a kezében kalapács van, az hajlamos mindent szögnek nézni” ☹. Hát mi meg úgy jártunk, hogy amióta működik módszerünk, azóta hajlamosakká váltunk mindent kondenzátornak nézni ☹. Rövid idő alatt sokféle anyagot kipróbáltunk. Az eredményeket egy Excel-táblázattal értékeljük ki, benne az érvényes fizikai összefüggésekkel (1. táblázat). Az egyes hártalyk vastagságnak megállapításához a mért kapacitáson túl ismernünk kell a szigetelő réteg relatív dielektromos állandóját. Ez nem mindig egyértelmű – például a hőmérséklet vagy a víztartalom is jelentősen befolyásolhatja –, ezért az irodalomban fellelhető minimális és maximális értékkel is elvégeztük a számításokat.

Az eredetileg megfigyelni kívánt hártalyk mellett kíváncsiak lettünk fémeken lévő lakk, zománc, illetve festékrétegekre is, de ugyanígy megnéztünk polietilén fóliát, csillámlemezt, üveget stb. Ezeket is kényelmesen tudjuk mérni, csupán rá kellett szerelnünk az U-cső alacsonyabb szárának tetejére egy lapos és sima, kiszélesedő műanyag nyakat, amire a fémleme-

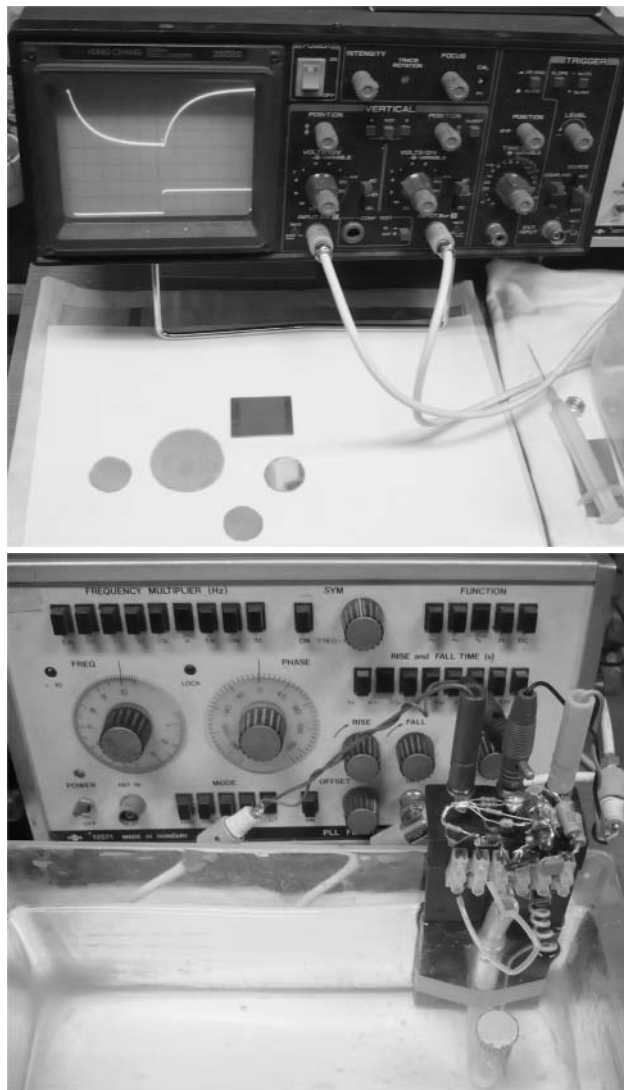


zeket könnyen ráfektethetjük (5. ábra). Találtunk egy szépen eloxált alumínium lemezdarabot is, ami ráirányította figyelmünket a különféle fémek felületi (többnyire vékony) oxidrétegeire. Most már gond nélkül észleljük a nem eloxált alumíniumlemez vékonyabb és ezért nagyobb kapacitású, ugyanakkor kényesebb oxidját is, de látjuk a vörösréz és a sárgaréz lemezekét, sőt a félvezető mikrotechnológiai osztálytól kapott szilíciumlemez felületi oxid- és nitridrétegeit is (elő és hátoldalt!). Érdekes módon ezen oxidok vastagsága sokszor tényleg a nanotartományba esik (1. táblázat), szóval ilyen szempontból is mondhatjuk, sikerült eredményt elérnünk. Terveink szerint majd visszatérünk az eredeti feladatra, de az már egy másik történet lesz ☺.

## Kiértékelés

A táblázat mérési eredményeinek első csoportjában olyan szigetelő anyagok vannak felsorolva (vastag celofántól a szilikonig), amelyek vastagságát tolmérővel közvetlenül is meg tudtuk határozni (bal szélső számoszlop), így ez referenciául szolgálhat a módszer pontosságára. A mért kapacitásokból számolt maximális vastagságok (jobb oldali oszlop) elég jól közelítik a tolmérővel kapottakat. Nagyobb eltérés (több mint egy 2-es faktor) csupán a gumikesztyűnél adódott, de annak vastagsága változékonyabb is. Az ilyen, viszonylag vastag anyagok kis kapacitásokra vezetnek (tipikusan 100 pF alattira), ami nagy működési frekvenciát tesz szükségessé (100–200 kHz). A kompenzáló hálózat hibája itt már nem hanyagolható el, ezért  $\tau$  értékét korrigálnunk kell a „végtelen vastag” szigetelőnél kapott értékkel, ami esetünkben 0,8  $\mu$ s. A mérési összeállításról készült fotómontázs az 5. ábrán látható.

A következő csoportban különféle fémlemezek mérési eredményeit láthatjuk (alumínium, réz, ón). A fémek esetében azért alakul ki kapacitás, mert felületükön – többnyire – egy nagyon vékony oxidréteg képződik, amely dielektrikumként viselkedik. A rétegvastagságokat itt alternatív módszerrel nem tudtuk megmérni, de a kapott eredmények hihetőek. Megjegyzendő, hogy amikor egy nagyobbacska fémlemez mérési pozícióba viszünk (azaz ráhelyezünk az U-cső alacsonyabbik szárának tetejére a víz alatt), akkor egyszerre több kondenzátor is létrejön: először az általunk vizsgálni kívánt kondenzátor közvetlenül a cső nyílásával szemben (vagyis a belső víz felé), másrészt mindenhol máshol a fémlemez felületén a *külső víz* felé. Ha elég nagy a lemez, akkor e másodlagos kondenzátor kapacitása sokkal nagyobb, és mert sorba kapcsolt kapacitásokról van szó, az eredő kapacitást a minket érdeklő kisebb kapacitás határozza majd meg. Ezért a mérési eredmények legfeljebb csak pár százalékkal mutatnak majd kisebb kapacitást, és ezzel együtt nagyobb rétegvastagságot. De ha olyan kicsi lemezt készítünk, amely éppen csak le tudja fedni az U-cső nyílását, akkor annak



5. ábra. Fotók a mérési összeállításról: fölül az oszcilloszkópon láthatjuk a kívánt jelalakot, az előtérben néhány mérésre előkészített fémlemezrel. Alul az általunk használt négyszögjel-generátor, a vizes kád, a kompenzáló elektronika, és az U-cső látható, rajta a kisebbik eloxált alumínium lemezzel (jobb alsó sarok).

túloldalán ugyanakkora lesz a másik kapacitás (azonos minőségű lemezoldalakot feltételezve), és ezért a módszerünk által mutatott kapacitás feleződni fog, a rétegvastagság meg duplázódni (lásd a táblázatban a nagy és a kicsi eloxált alumíniumlemezek összehasonlítását.)

A harmadik csoportban 0,6 mm vastag szilícium félvezető szeletek vannak, ismert vastagságú fedő szilícium-oxiddal (100 nm), illetve -nitriddel (300 nm). A szeletek belsejében a fajlagos elektromos ellenállás 64  $k\Omega$ cm körüli, ám a fényes oldalon közvetlenül a fedő réteg alatt kialakítottak bennük egy nagyságrendileg mikron vastagságú, de elektromosan elég jól vezető szennyezett réteget is (az oxidos mintánál n-típusút, 5  $\Omega$ cm fajlagos ellenállással, a nitrides mintánál pedig p-típusút, 15  $\Omega$ cm fajlagos ellenállással). Ez érdekes következményekre vezet a fémeknél megismert másodlagos kapacitások szempontjából. Itt nem részletezett számításokkal kimutatható, hogy az U-cső

nyílásával szemben a Si-szelet *túloldalán* egy körülbelül ugyanakkora effektív kapacitás érvényesül, mint a mérni kívánt elsődleges kapacitás, miközben oldalirányban a nagy felület a nagy hozzávezetési ellenállás miatt már nem tud jelentős többlet-kapacitást adni. Ugyanakkor a szennyezett rétegek valamennyivel csökkentik az ellenállást, elsősorban az oxidos mintánál (az n-típusú réteg kisebb ellenállása miatt). Végeredményben a nitrides mintánál a 2 darab sorba kötött kapacitás miatt dupla rétegvastagságot mérünk, az oxidos mintánál pedig a mért vastagság a szerint duplázódik vagy sem, hogy a szennyezett, vagy a másik oldalról mérünk-e.

A negyedik csoportba tettük a celluloid hártályakra kapott 2 mérési eredményünket. (Vastagabb és vékonyabb hártálykat is tudunk készíteni.) A vastagság megállapítását itt az az effektus zavarja, hogy a celluloid a víz egy részét magába szívhatja, megváltoztatva a dielektromos állandóját. Ezért az ilyen jellegű anyagoknál mindenképpen szükségesek lesznek kiegészítő vizsgálatok.

## A méréstechnika továbbfejlesztése

Bár módszerünk már így is használható, távolról sem tökéletes. Például, ha a vizsgált kondenzátor töltéséhez áramgenerátort használnánk és nem egyszerű ellenállást, akkor nem kellene a jel alakját az oszcilloszkópon figyelgetni, mert az mindig háromszög lenne, így elég volna az amplitúdóját mérni, amihez még oszcilloszkóp sem feltétlenül szükséges, ami az érzékenységet és a pontosságot is javíthatná. Ugyanakkor egy széles frekvenciatartományban jól működő szimmetrikus áramgenerátor nem mindenkinél kallódik a polcon...

# ARKHIMÉDÉSZ NYOMÁBAN

A Csodák Palotájában több olyan eszközt is lehet találni, amelynek működése Arkhimédész törvényén alapul. Tudjuk a kis versikét:

*Minden vízbe mártott test  
A súlyából annyit vesz  
Amennyi az általa  
Kiszorított víz súlya.*

Amire az anekdota szerint *Arkhimédész* fürdés közben (pontosabban a kádba beszállva) jött rá, és onnan kiugorva meztelenül szaladt végig Szirakuza utcáin, kiabálva, hogy heuréka – megtaláltam. Persze nem magára a törvényre gondolt, hanem arra a megoldásra, ahogyan meg tudja mondani, csalt-e az ötvös, aki II. Hieron király számára készített egy fogadalmi koronát, méghozzá hozott aranyból, és a király arra gya-

## Záró gondolatok

Egy ilyen jellegű projekt fő előnye (érdekessége mellett), hogy benne természetes módon találkoznak a mérnöki, fizikai, matematikai, mechanikai, elektromosságtani, kémiai és biológiai ismeretek – az ember szinte a bőrén érezheti, hogy a természettudományok elméletei hol és hogyan hasznosulnak a gyakorlatban. Megfigyelhetjük például, miként változik a felületi oxid vastagsága a vizes elektrolitban, vagy a hőmérséklet hogyan befolyásolja e nagyon vékony szigetelő hártályak (például szerves anyagok) vastagságát és víztartalmát. Minden megválaszolt kérdésre adódik egy sor újabb érdekes kérdés, szinte bármelyik tudományból. Különösen Magyarországon lehet fontos ez a felismerés, mert a PISA-felmérések szerint a magyar iskolarendszer jellemzője, hogy sokszor a gyakorlatban nem eléggé jól hasznosítható, passzív ismeretekkel bocsátja útjukra a diákokat [1–3].

## Köszönetnyilvánítás

Szerencsére az én középiskolámra ez nem jellemző, köszönettel tartozom matematikatanárainknak, *Rózsáné Molkó Edit*nek és *Jarábik Bélának* (aki egyben fizikatanárom is volt), *Inczeffyné Vigh Gyöngyi Noémi* fizika-, valamint *Grószné Kiss Annamária* biológia-tanárnőnek az elméleti és gyakorlati ismeretekért, segítségért. Továbbá köszönöm osztályfőnökömnek és magyartanáromnak, *Horváthné Gyovai Melindának* a cikk szerkesztésével kapcsolatos támogatást. Az Egyetem Atomfizika Tanszékén is kaptam segítséget – hálás vagyok *Kocsányi László* laborvezető közbenjárásáért, valamint *Kiss Gábor* és *Sebők Béla* információért a kondenzátorokkal kapcsolatban. És végül, de nem utolsó sorban köszönöm családomnak a támogatást, biztatást.

## Irodalom

1. Oktatáskutató és Fejlesztő Intézet honlapja, <http://www.ofi.hu/tudastar/kompetencia/eloszo>
2. <http://www.korlanc.hu/pisa2006/Jelentes.pdf>
3. <http://konyvtar.korosy.hu/wp-content/themes/partnerprogram/docs/PISA2009.pdf>

Egyed László

nakodott, hogy az ötvös „felhígította” az aranyat némi ezüsttel. *Vitruviusz* szerint a szirakuzai tudós arra figyelt fel, hogy a víz szintje megemelkedik, amikor beleül a fürdőkádba, és arra gondolt, hogy egy bonyolult alakú test térfogatát is ki tudja számolni, ha megméri a vízszint emelkedését, amikor azt belemeríti a vízbe. Márpedig ahhoz, hogy a korona összetételét ellenőrizze, meg kellett határoznia annak sűrűségét, ehhez pedig a térfogatára volt szüksége (de nem olvashatta meg, hogy valamilyen könnyen kezelhető geometriai alakra hozza).

Persze, ha belegondolunk, az arany sűrűsége nem nagyon változik meg, ha ezüsttel ötvözzük, vagyis nagyon pontosan kellett volna mérni a vízszint emelkedését. Sokkal valószínűbb tehát, hogy a tudós az úszás általa felfedezett, és *Az úszó testekről* című érte-



Arhimédész bélyegeken.

kezésében leírt törvényét használta fel ahhoz, hogy kimutassa a sűrűségkülönbséget. Ehhez meg kell mérni a test súlyát először szárazon, majd a vízbe merítve. A súlykülönbség megfelel a test térfogatának (lévén, hogy a víz sűrűsége  $1 \text{ g/cm}^3$ ), és akkor könnyen kiszámítható annak sűrűsége. Arkhimédész valószínűleg még egyszerűbb utat választott, nevezetesen a koronát kiegyensúlyozta egy kétkarú mérlegen egy darab szíнарannal, majd mindkettőt vízbe mártotta. Ha eltért a sűrűségük (és a történet szerint eltért), akkor a mérleg nyelve a nagyobb sűrűségű darab felé billent. (Itt jegyezzük meg, hogy ezt a kísérletet a tanár az osztályban is megmutathatja, ha nem is arannyal, de kicsit eltérő sűrűségű, akár bonyolult alakú tárgyakkal.)

Térjünk vissza a Csodák Palotájába, s keressük meg a jelenségeket, amelyek magyarázatát az úszás törvénye adja. Amely törvény, azóta tudjuk, nemcsak folyadékokban, hanem gázokban is érvényes, vagyis egy tárgyra a levegőben is akkora felhajtóerő hat, amennyi a tárgy által kiszorított levegő súlya. Nagyobb sűrűségű tárgy esetében persze ebből nem sokat észlelünk. De ha megállunk a *Hőlégballon* mellett, és figyeljük, hogyan emelkedik a magasba, máris láthatjuk a felhajtóerő működését a gyakorlatban.

Tudjuk, a meleg levegő kítágul, sűrűsége kisebb lesz. A ballon alatt egy fűtőtest található, amely azt fokozatosan megtölti forró levegővel. Egy bizonyos hőmérsékletnél már akkora lesz a sűrűségkülönbség a hideg és a forró levegő között, hogy a kiszorított levegő súlya (a felhajtóerő) nagyobbá válik, mint a ballon

és a benne lévő forró levegő együttes súlya, és ekkor a ballon a levegőbe emelkedik. (Tegyük hozzá, a Palotában a ballont a tartójához rögzíti néhány kis mágnes, ezért amikor az „elszabadul”, elég nagy a felhajtóerő ahhoz, hogy a plafonig emelje.) Ez a felhajtóerő nemcsak ezt a kis modell-ballont, hanem igazi nagy ballonokat is képes a levegőbe emelni, ahogyan az égre nézve sokszor láthatjuk.

Ugyancsak az úszás törvényét mutatja be egy speciális példán a *Bermuda-benger*. Szinte mindenki hallott a Bermuda-háromszögről, arról a helyről, ahol titokzatos módon tűnnek, tűntek el hajók, repülőgépek. Ha a repülőgépekre nem is, de a hajók esetére ésszerű magyarázatot lehet találni, és nemcsak a legelterjedtebbet, amely szerint földönkívüliek „gyűjtik be” ezeket az emberi faj tanulmányozása céljából.

Mi okozhatja a hajó elsüllyedését? Nyilván az, hogy a felhajtóerő valami miatt kisebb lesz, mint a hajó súlya. Ha túlságosan megrakjuk a hajót áruval, a felhajtóerő állandó marad, de a hajó súlya megnő. Elképzelhető a fordított út is: csökken a felhajtóerő, ha csökken a víz sűrűsége. De hogyan érhetjük el ezt? Felhígíthatjuk a vizet egy sokkal kisebb sűrűségű anyaggal, például levegőbuborékokkal. Az eszközön lévő hajtókar megforgatásával egy légsűrítőt hozunk működésbe, amely buborékokat présel a hengerbe. A felszálló buborékok felhígítják a vizet, a

A hőlégballon.





A Bermuda-henger.

kok. Egy majdnem méteres átmérőjű plexigömb, amelybe egy nyíláson keresztül szappanbuborékokat fújhatunk (a gyerekek – de a felnőttek is – ezt szívesen teszik). Meglepetésre a buborékok nem egyből ereszkednek a fenékre, hanem jó ideig lebegve maradnak. Megfigyelve őket láthatjuk, hogy lassan kicsit „meghíznak”, és csak akkor ereszkednek le.

Miért lebegnek a buborékok? Jobban megnézve látjuk, hogy a gömb fenekén egy táblán kis fehér anyagdarabkákat találunk, ezek rejtik a titkot. A fehér darabkák szilárd szén-dioxidból, szilárd szén-dioxidból vannak. Erről az anyagról tudjuk, hogy szublimál, azaz a szilárd halmazállapotból azonnal gáz halmazállapotba megy át (cseppfolyós szén-dioxid légköri nyomáson nem létezik). Mivel a szén-dioxid sűrűbb a levegőnél, a nagyobb sűrűségű környező gáz felhajtóereje képes a buborék falát alkotó folyadék súlyával és a buborékban lévő kisebb sűrűségű gáz súlyával egyensúlyt tartani. Azért nem szállnak fölfelé, mert egy bizonyos magasságban már a szén-dioxid összekeveredik a levegővel, s a sűrűsége kisebb lesz, azaz a buborék talál egy olyan egyensúlyi helyet, ahol lebegve marad.

felszínén úszó kis hajómodell elsüllyed, hiszen a kiszorított levegőbuborékos víz súlya már kisebb lesz a hajójénál.

Hogyan helyezünk el a tengerfenéken egy ilyen kompresszort? A természet itt, a Bermuda-háromszögben elhelyezett ilyeneket, nevezetesen tengerfenéki vulkánokat, amelyekből időnként nagy mennyiségű gáz (többnyire metán) tör a felszínre. Ez a vízben apró buborékokra oszlik és buborékfelhő formájában elindul a felszín felé. Az éppen arra járó hajó – ha történetesen jól meg is van pakolva – alól „elfogy” a felhajtóerő és elsüllyed. (Persze nem biztos, hogy ez a magyarázat, de sokkal valószínűbb, mint a földönkívüliek mintagyűjtése.)

A harmadik olyan eszköz, amelynél tapasztalhatjuk az úszás törvényének a működését, a *lebegő buborék*

De miért „hízik” azután? Az ozmózis a magyarázat. A szén-dioxid képes lassanként átdiffundálni a szappanhártyán, hiszen a belső parciális nyomás sokkal kisebb mint a külső. Eközben megnő a buborék belsejében lévő gáz sűrűsége, és szép lassan lesüllyed a fenékre.

Rádásként javasolható még egy, akár az osztályteremben is elvégezhető kísérlet: készítsünk Kartéziusz-búvárt. Egy műanyag (PET) palackba töltünk vizet, majd helyezünk bele egy csövet, amelynek a felső végét lezárjuk, alul pedig annyi súlyt erősítettünk rá, hogy éppen lebegjen a vízben. Csavarjuk rá a palackra a tetejét, ha összenyomjuk, akkor a „búvár” elsüllyed, ha elengedjük, felemelkedik. A magyarázat kézenfekvő: a megnőtt nyomás miatt a csőben a levegő összenyomódik, több víz nyomul bele, így sűrűsége megnő, a felhajtóerő már nem elegendő ahhoz, hogy a felszínen tartsa.

Lebegő buborékok.





## 9. Mérlegek

Kérek egy kiló cseresznyét, hangozhatna el a kérés a piacon. Erre a felszólításra a kofa belemarkol a pulton lévő halomba és kiméri a kért gyümölcsöt. A mérés, köszönhetően az elektronikus forradalomnak, a legtöbb esetben digitális mérlegen zajlik.

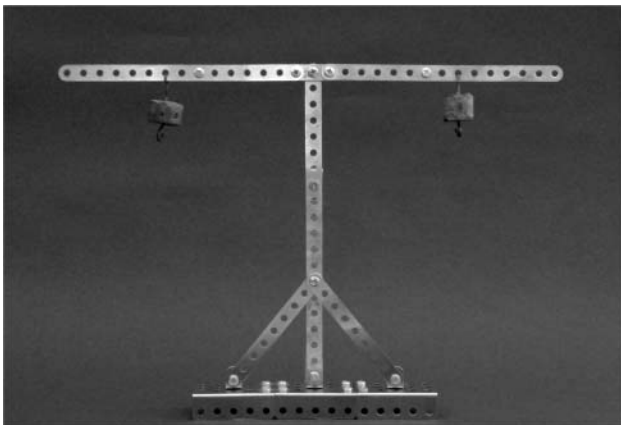
Nem mindig volt ez így. A teljesen mechanikus szerkezetek még ma is sok helyen működnek, működési elvük tananyag (egyelőre). Az említett mérleg sajnos csak az eredményt mutatja, azt nem, hogyan működik. Használata egyszerű: a jobb oldali kerek serpenyőbe kell tenni a súlyokat, bal oldalra pedig a mérendő tárgyat (1. ábra).

Ha valaki úgy véli, hogy a tartozik és követel oldal mintájára itt is lehet ügyeskedni, hiszen ez is mérleg, akkor először is készítsen egy könnyen átlátható modellt, építsen egy egyszerű kétkarú mérleget (2. ábra). A fiúk játékaik között találhatunk fémépítő készletet (a klasszikus Märklin és mai utódai), amiből könnyen működőképes eszköz készíthető.

1. ábra. Bolti mérleg.



2. ábra. A legegyszerűbb kétkarú mérleg.

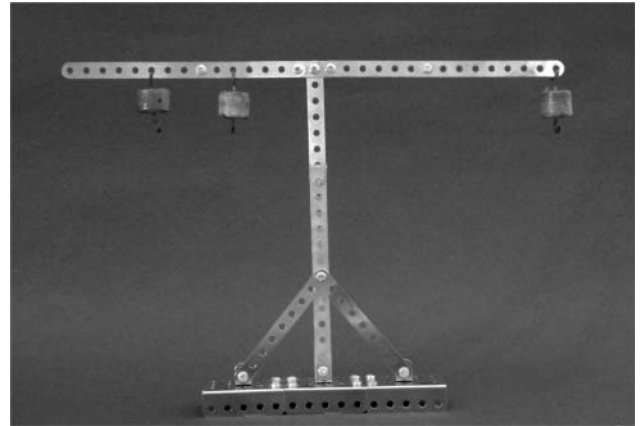


Működését könnyű szabályba foglalni: egyensúly akkor áll be, ha a jobb és a bal oldali súlyok forgatónyomatéka egyenlő. Ha kissé pongyolán, általános iskolás számára is érhetően akarjuk megfogalmazni, a jobb oldali teher forgástengelytől mért távolsága szorozva tömegével egyenlő kell legyen a bal oldali teher távolsága és tömege szorzatával. És ez akkor is teljesül, ha a két oldalon nem egyenlő számú súly van (3. ábra).

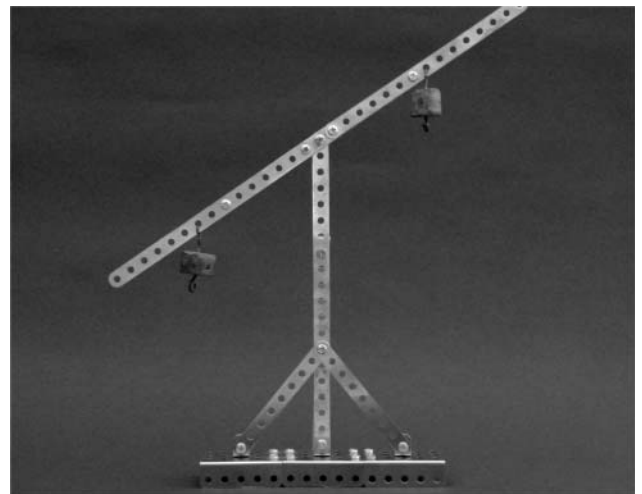
Vegyük észre, hogy mérlegünk karjának minden pontja körpályán mozdul el, csak a pontpárok mozognak azonos elmozdulással és egymással ellentétes irányban!

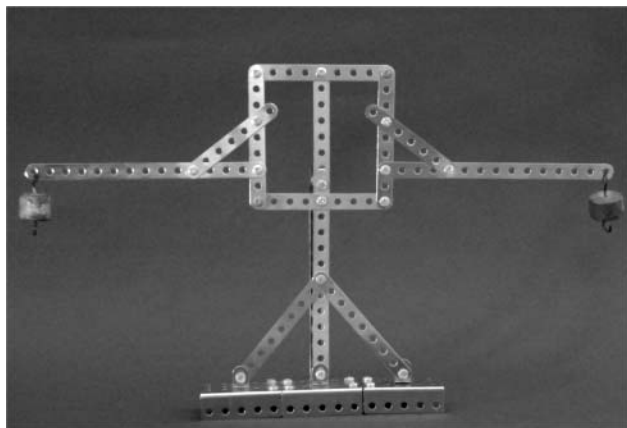
Térjünk vissza a nyereszkedés lehetőségéhez! Mi történik, ha a mérendő árut és a súlyt nem a serpenyő közepére helyezzük el? Ha kétkarú emelőként modelleznénk a mérleget, akkor ebben az esetben csalni lehetne vele (4. ábra)! A kofa úgy járna jól, ha a mérendő portékát, a serpenyő külső szélére helyezné, míg a súlyt a mérleg közepéhez, forgástengelyéhez közelebbi oldalon.

3. ábra. A kétkarú mérleg egyensúlyában a forgatónyomatékok azonosak:  $5 \text{ lyuk} \times 1 \text{ súly} + 10 \text{ lyuk} \times 1 \text{ súly} = 15 \text{ lyuk} \times 1 \text{ súly}$ .

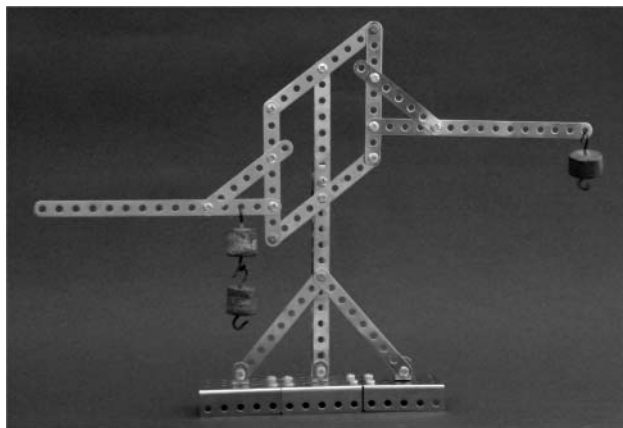


4. ábra. Az egyensúly a forgástengelytől távolabb elhelyezkedő test „javára”, azt nehezebbnek mutatta fölborul.

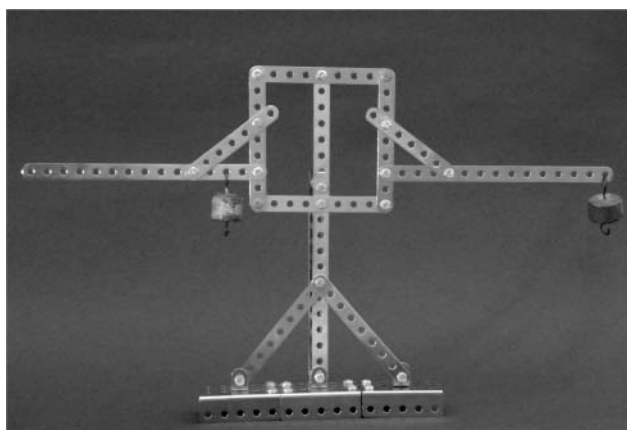




5. ábra. Az két oldalon állandóan egyforma erőkart biztosító mérleg.



7. ábra. Eltérő súlyok már kilendítik a mérleget.



6. ábra. A mérleg erőkarja a középső paralelogramma vízszintes szára, ezért továbbra is megmarad az egyensúly.

Kerüljük el a csalás lehetőségét is, és építsünk egy másik, ám most egy kicsit bonyolultabb mérleget (5. ábra)! Ez egyensúlyban marad még akkor is, ha a súlyokat különböző távolságokra helyezzük el (6. ábra). Ebben a mérlegben – ha a terhet a középső paralelogrammát formázó csuklós szerkezeten kívülre helyezzük – az erő a paralelogramma függőleges szárában támad, azaz a két oldali erőkar mindig meg egyezik egymással. A közepén elhelyezkedő csuklós szerkezet csak különböző nagyságú súlyok hatására fog deformálódni (7. ábra).

Ha figyelmesen tanulmányozzuk a másodikként épített mérlegünket, akkor észrevehetjük, hogy a karok nem körpályán mozognak, hanem önmagukkal párhuzamosan, és minden pontja a másik oldal minden pontjával ellenkező irányban, azonos mértékben mozdul el.

## HÍREK – ESEMÉNYEK

### AZ AKADÉMIAI ÉLET HÍREI

#### Egyhangú parlamenti bizottsági támogatás az Akadémia tudományról szóló beszámolójának

Ellenzavazat nélkül támogatta az Országgyűlés Foglalkoztatási és munkaügyi, valamint Oktatási, tudományos és kutatási bizottsága a Magyar Tudományos Akadémia elnökének az MTA 2009–2010 közötti munkájáról és a magyar tudomány helyzetéről szóló beszámolóját az Akadémia legfontosabb irányelveiről az elmúlt három esztendőben és a felfedező kutatások támogatásának elősegítéséről a jövőben is.

A parlamenti testületek előtt elmondott tájékoztatójában *Pálinkás József* elnök a magyar tudományosságot a globális tudományos-kutatási térben elhelyezve

foglalta össze a főbb hazai sajátosságokat, a finanszírozás, a hatékonyság és az eredményesség szempontjából. „Fontos annak megértése, hogy a kutatás összetett tevékenység: a felfedező kutatások, a célzott kutatások és az alkalmazásukat elősegítő fejlesztő munka egymást feltételezik, ezért egyik vagy másik elsorvasztása, vagy aránytalan támogatása hátrányosan hat az innovációs tevékenység egészére” – mutatott rá az elnök az alapkutatások, az alkalmazott kutatások és a fejlesztés integrált szempontrendszer szerinti támogatásának fontosságára. Kiemelte, hogy e nélkül és a

nemzetközi előírásoknak is megfelelő, áttekinthető finanszírozási és értékelési rendszer nélkül nem képzelhető el hatékony kutatástámogatás.

A magyar tudomány helyzetéről szólva elmondta, hogy a kutatási és fejlesztési ráfordítások GDP-hez viszonyított aránya Magyarországon még mindig nehezen tud elszakadni az 1 százaléktól, bár mind 2009-ben, mind 2010-ben meghaladta az 1,1 százalékot. A felfedező kutatások esetében az eredményesség fontos fokmérőjének számító tudományos publikációk és hivatkozások alapján a magyar tudományosság a finanszírozottságánál jobb helyzetben, az európai középmezőny felett helyezkedik el. Kedvező képet nyújtanak róla az Európai Kutatási Tanácshoz (European Research Council, ERC) benyújtott magyar pályázatok: az újonnan csatlakozott EU-tagországok közül hazánk érte el a legjobb eredményt, amellyel az

EU-12 országcsoportban az első helyen áll, és az EU-15-ből is megelőz 4 tagországot.

Pálinkás József képviselői kérdésekre válaszolva kitért a beszámolási időszakot követő néhány fontosabb eseményre is. Tájékoztatta a képviselőket, hogy alapos előkészítés után az MTA Közgyűlése tavaly decemberben döntött az intézményhálózat megújításáról. A jelentős támogatással elfogadott határozat nyomán 2012. január 1-jétől 40 helyett 15-re csökkent a kutatóközpontok és -intézetek száma. Az elnök felhívta a figyelmet arra, hogy az Akadémia kutatóközpontjaiban és -intézeteiben nem csak a tudományos kíváncsiság vezérelte elméleti munka folyik: alapvető igény, hogy az egyes intézményekben választ keressenek az ország jövőjét meghatározó kérdésekre, és segítsék a döntéshozókat a különböző alternatívák közötti választásban.

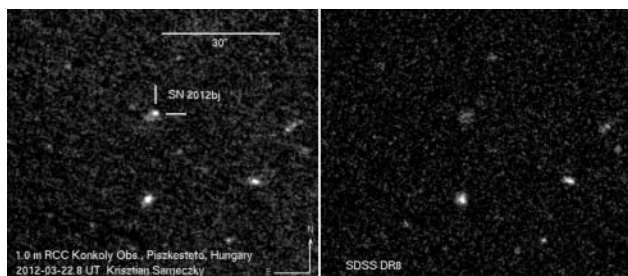
www.mta.hu

## Távoli szupernóvát fedeztek fel magyar csillagászok

Újabb szupernóvát fedeztek fel az MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet kutatói egy 2 milliárd fényévre lévő galaxisban. A különleges felfedezés az Akadémia Lendület program kutatócsoportjának és a Szegedi Tudományegyetem OTKA-pályázat által támogatott szupernóva-kutatóprogram csillagászainak közös eredménye.

A 2010 októberében útjára indított Piszkestető Szupernova and Trojan Asteroid (PISTA) Survey keretében az MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Piszkestetői Observatóriumában fél év alatt három szupernóvát fedeztek fel távoli galaxisokban. Egy 2012. március 15-én készült felvételen sikerült azonosítani a program negyedik szupernóváját, amely a későbbi vizsgálatok szerint egy 2 milliárd fényév távolságra található galaxisban villant fel. A szupernóva-robbanást többféle folyamat is kiválthatja. Az egyik lehetséges oka egy, a Napnál legalább 8-szor nagyobb tömegű csillag magjának katasztrofális összeomlása, amely során egy lökéshullám hatására az óriáscsillag külső rétegei ledobódnak. A másik lehetőség egy már halott csillag, úgynevezett fehér törpe fúziós bombaként történő felrobbanása egy társcsillagtól kapott anyag vagy egy másik fehér törpével való összeolvadása következtében.

Balra a szupernóva létét bizonyító felvétel, amely március 22-én készült a Piszkestetői Observatórium 1 méteres RCC-távcsővel. Jobbra a Sloan Digital Sky Survey felvétele, amely egy évtizeddel ezelőtt készült egy 2,5 méteres távcsővel.



Március 22-én a csillagászok ismét célba vették az adott égterületet, ezúttal nem az eredeti felvétel készítésekor használt 60 cm-es Schmidt-távcsővel, hanem az ország legnagyobb csillagászati műszerével, az 1 méteres RCC-teleszkóppal, amelynek jelenleg is zajló korszerűsítését a Lendület program tette lehetővé. „Óriási szerencse, hogy márciusban évtizedek óta nem tapasztalt, kiváló légköri állapotok uralkodtak Piszkestető felett, s így el tudtuk készíteni a megerősítő felvételeket” – mondta Kiss László. A kutatók felvételeikkel felkeresték a Texasi Egyetem csillagászt, *Craig Wheeler* professzort, hogy távcsőidőt kérjenek a világ egyik legnagyobb, 9,2 méteres teleszkópjára. Március 23-án hajnalban az amerikai csillagászok már fel is vették a halvány szupernóva színeképét. A spektrum számítógépes kiértékelése azt mutatta, hogy a magyar kutatók által felfedezett égitest az Ia típusú szupernóvák családjának egy különleges tagja. Ezt az alcsoportot a szokásosnál lassabb halványodás jellemzi, robbanása pedig sokkal energikusabb, mint az átlagos Ia típusú szupernóvák esetében.

A szupernóva felfedezését SN 2012bj jelöléssel március 25-én jelentette be a Nemzetközi Csillagászati Unió erre szakosodott körlevele. A csillagászok kérésének megfelelően három társfelfedezőt adtak meg: *Sárnecky Krisztiánt*, a Lendület kutatócsoport tagját, *Vinkó Józsefet*, a Szegedi Tudományegyetem csillagászt és *Craig Wheelert*, a Texasi Egyetem professzorát. A színeképből meghatározott távolsága a Földtől 2 milliárd fényév, így a hazánkban felfedezett 52 szupernóva közül az SN 2012bj a legtávolabbi. „Ez az egyik leghalványabb szupernóva, amelyet egy viszonylag kis távcsővel valaha is felfedeztek” – hangsúlyozta Kiss László, akinek kutatócsoportja tavaly egy kiterjedt nemzetközi együttműködés keretében felfedezett különleges hármas csillagrendszer megfigyelésével kapcsolatos eredményeit publikálta a rangos *Science* magazinban.

www.mta.hu

# Értékteremtés a tudomány és az üzleti élet szereplőinek összefogásával

„A megújuló akadémiai kutatóhálózat kiválóan alkalmas arra, hogy bekapcsolódjon a nagy nemzetközi kutatásokba” – nyilatkozta *Lévai Péter*, az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont főigazgatója. Az Európai Nukleáris Kutatási Szervezetben (CERN) kínálkozó üzleti lehetőségekről rendezett tanácskozáson kiemelte, hogy a tudomány művelői és az üzleti élet szereplői valódi eredményeket csak közös munkával érhetnek el. A Nemzeti Innovációs Hivatal (NIH), a Nemzeti Külgazdasági Hivatal és az MTA közös szervezésében létrejött eseményen a kutatók és a K+F tevékenységért felelős hivatalok munkatársai találkoztak az ipar képviselőivel.

Lévai Péter a tudomány egyik fellegvárának tartott, Genf melletti CERN kutatóközponthoz történt 1992-es magyar csatlakozás óta eltelt húsz év eredményeit értékelve hangsúlyozta: a lépés a hazai tudományosság magas színvonalának és Magyarország európai orientációjának bizonyítása szempontjából is kiemelkedő jelentőségű volt. „Magyar kutatók korábban is részt vettek nagy nemzetközi tudományos együttműködésekben, de a CERN-ben folyó munka mutatta meg, hogy több évtizeden átívelő programokban is egyenrangú, kiszámítható és megbízható partnerek” – nyilatkozta az mta.hu-nak. A gyorsító- és szupravezető-technológiában egyértelmű a genfi technológiai csúcsberendezés fölénye. A CERN kutatásaiban szerepet vállaló intézetek, így az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont is, a kisebb méretű műszerek otthoni fejlesztése, valamint az elért eredmények új problémákra való alkalmazása területén tudnak maradandót alkotni. Példaként említhető a svájci kutatóközpont számára kifejlesztett nagy sebességű adattovábbító rendszerük, illetve a nagy in-

tenzitású lézerek – a kutatóközpontban komoly múltira visszatekintő – alkalmazása. A lézer-anyag kölcsönhatás tulajdonságainak gyakorlati felhasználása a lézer-plazma gyorsítók létrehozásában a közeljövő egyik jelentős projektjévé válhat.

Az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont több mint 400 munkatársa a fizikai tudományok legkülönbözőbb területein folytat felfedező kutatásokat. Nagy nemzetközi együttműködések keretében részecske-, mag-, plazma-, neutron-, űr- és lézerfizikával, anyagtudománnyal, valamint információtechnológiával is foglalkoznak. Kutatásaik a CERN mellett több, még csak tervezett nagy tudományos központhoz – például a részben Szegeden megvalósuló Extreme Light Infrastructure-höz (ELI) – kapcsolódnak.

A CERN-beli üzleti lehetőségekről szóló, a Magyar Tudományos Akadémia, a Nemzeti Innovációs Hivatal, valamint a Nemzeti Külgazdasági Hivatal által szervezett műhelytanácskozáshoz hasonló rendezvények hozzájárulhatnak, hogy az ipari szereplők jobban megértsék a tudomány előtt álló kihívásokat.

Méltatta a kutatók és az ipar szereplőinek együttműködését a tanácskozást köszöntő beszédében *Sólyom Jenő* akadémikus, az MTA Fizikai Tudományok Osztálya elnöke, valamint *Mészáros György*, a Nemzeti Innovációs Hivatal elnöke, aki egyúttal a Magyar CERN Bizottság elnöki posztját is betölti. *Németh Vilmos*, a CERN ILO megbízottja, a NIH tanácsadója és *Kerekes György*, a Nemzeti Külgazdasági Hivatal elnökhelyettese pedig arra bátorította a jelenlévő üzletembereket, hogy kövessék figyelemmel a nagy nemzetközi kutatási központok által kínált lehetőségeket.

www.mta.hu

## A TÁRSULATI ÉLET HÍREI

### Magyar fiatal nyerte az Európai Fizikai Társaság (EPS) PhD-díját

*Reiss Tibor*, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nukleáris Technikai Intézetének fiatal munkatársa tavaly megvédett doktori disszertációjával elnyerte az Európai Fizikai Társaság (EPS) Nukleáris Fizikai Osztályának Disszertáció Díját (Dissertation Award in Nuclear Physics). Erre a díjra a nukleáris fizika kísérleti, elméleti és alkalmazott területén a 2009–2011 években doktori fokozatot szerettek pályázhattak. A díj ünnepélyes átadására a 2. Európai Nukleáris Fizika Konferencián kerül sor (Bukarest, 2012. szeptember 17–21.), ahol a doktori munka legfontosabb eredményeit plenáris előadáson mutathatja be.

Reiss Tibor 2008-ban a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Természettudományi Karán kitüntetéses mérnök-fizikus diplomát, majd 2011-ben

ugyanezen kar Fizikai Tudományok Doktori Iskoláját elvégezve summa cum laude minősítésű PhD fokozatot szerzett. Jelenleg a BME Nukleáris Technikai Intézetének tudományos munkatársa, ahol a fizikus és az energetikus hallgatók oktatása mellett negyedik generációs reaktorok neutronfizikai és termohidraulikai számításával, valamint az ezeken a területeken alkalmazott számítógépi algoritmusok fejlesztésével, gyorsításával foglalkozik.

Doktori disszertációjának címe: *Szuperkritikus nyomású vízzel hűtött reaktor csatolt reaktorfizikai – termohidraulikai elemzése*, témavezetői, illetve konzulensei *Fehér Sándor*, *Csom Gyula* és *Czifrus Szabolcs* voltak. A szuperkritikus nyomású vízhűtésű reaktor (SCWR) a negyedik generációs reaktortípusok



egyike, amely a víz kritikus pontja (374 °C, 22,1 MPa) fölött működő, magas hőmérsékletű, magas nyomású vízzel hűtött reaktor. E reaktortípus számítására csatolt neutronfizikai-termohidraulikai programrendszert fejlesztett, amellyel a térbeli xenonlengések vizsgálata mellett új SCWR-konstrukciók tervezésével is foglalkozott. Utóbbi elemzések során arra a következtetésre jutott, hogy a  $(\text{Th-}^{235}\text{U})\text{O}_2$  az SCWR-ek természetes üzemanyaga. Kimutatta, hogy az elegendően hosszú üzemanyagciklus és a megfelelően magas konverziós tényező eléréséhez a kazetta kéthuzamú elrendezése

szükséges. Ennek érdekében optimalizálta a kazetta különböző régióinak rácsosztását, az üzemanyagpálcák átmérőjét és dúsítását. Háromdimenziós számítássokkal alátámasztotta, hogy a rendszer körülbelül 40,0 MW<sub>nap</sub>/kg-ig önfenntartó a hasadóanyag szempontjából. A reaktivitás-tényezőket is meghatározta, ezzel bizonyítva, hogy egy ilyen típusú SCWR kielégíti az inherens reaktorbiztonság feltételét.

Gratulálunk az elnyert díjhoz, amely a hazai nukleáris oktatásnak és kutatásnak is egy újabb nemzetközi sikere.

## HÍREK ITTHONRÓL

### Simonyi Károly a Műegyetem Budafoki út 8. épületében (1934–1957)

Gergely György, MTA TTK MFA

A Műegyetem Budafoki út 8. (a BME térképén az F épület, hiszen a fizika tanszékek számára épült) számú épület jelentős szerepet játszott a hazai fizikai kutatások, valamint a mérnökképzés terén. *Simonyi Károly* már tanulmányai során (1934–40) gyakran járt az F épületben, majd itt lett *Bay Zoltán* tanársegéde (1942), később helyettese (1948–50), végül 1952-ben a BME Elméleti Villamosság-tanszék vezetője.

Simonyi pályaválasztásában meghatározó szerepet játszhatott az atomfizika két történelmi felfedezése 1932-ben: a neutron, továbbá a mesterséges elemátalakítás megvalósítása nagyenergiájú ionokkal (*Cockcroft* és *Walton*), kaszkádgenerátor alkalmazásával. Simonyi Károly életéről kitűnő írások léteznek (*Staar Gyula* [1], *Erdősi Gyula* [2]). Ezekből is tudható, hogy Simonyi Károly az óbudai Árpád gimnáziumban érettségizett (1934) és fizikusi érdeklődésének megfelelően gépészmérnök nevelőapja tanácsára a József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnök szakára iratkozott be. Ezzel egyidejűleg a Pécsi Egyetem Jogi karára is beiratkozott, hiszen az akkori világban a jogászok uralták a közhivatalokat. Simonyi előbb lett jogi doktor, mint gépészmérnök (1939).

Írásaiban *Staar Gyula* szól Simonyi egyetemi tanulmányairól, néhány professzoráról (*Stachó*, *Pattantyús*, *Verebélyi*) és főként *Pogány Béláról*, akinél a fizikát és az elméleti villamosság-tant hallgatta. Simonyi nem szerette *Pogányt*. Elítélte különösképpen öltözködését (tenisz ruha), kegyetlen vizsgáztatási módszerét (a vizsgázó éjszakai utaztatása taxin, vonaton). A fizikát és a korszerű elektromágnesség-tant azonban nála tanulta, amiben később túlszárnyalta mesterét.

Legyen szabad néhány szót szólnom *Pogányról*, akinél én is tanultam. Megkövetelte az anyag teljes ismeretét. Aki jól felkészült, annak könnyű volt a fizi-

kaszigorlat. Aki azonban csak a vizsgán akart átcúszni, annak rémálom. *Pogány* lenyűgöző előadásokat tartott, néha anekdotákkal fűszerezve. Fizika tankönyve a Budó–Pócza-könyv megjelenéséig a legjobb magyar egyetemi tankönyv volt. Szigorlati anyag volt a Schrödinger-egyenlet és *Einstein* főbb eredményei is. Az *Elektromágneses tér* könyve (1927) a Maxwell-egyenletekkel dolgozott, a spektroszkópiai rész azonban még a Bohr-modellt használta.

*Pogányt* teljesen elfoglalták négy szakon tartott előadásai, és mindenkit személyesen ő vizsgáztatott. Tanszékén európai színvonalú spektroszkópiai kutató központot valósított meg, amelyet *Gerő Loránd* vezetett. *Gerő* 1937-es *Phys. Rev.* cikkét még 2011-ben is idézte a Citation Index. *Gerő* munkatársai voltak: *Schmid Rezső*, *Budó Ágoston* és *Kovács István*. *Pogány Béla* egyetlen, a munkatársai körében készült közleményben sem szerepeltette saját nevét, nem élt ezzel a feudális joggal. A *Fizika kultúrtörténetében* Simonyi joggal szerepelteti *Pogány Bélát* és *Bay Zoltánt*.

*Gerő Loránd* a málenkij robot során Focsaniban vérhasban halt meg 1945-ben. A Fizika tanszék történetéről számos közlemény jelent meg, csak kettőről szólnok [3, 4].

Visszatérve *Bay Zoltánra*: Simonyi első feladata a kaszkádgenerátor megépítésében való részvétel volt a Műegyetem Atomfizika tanszékén. Az épülő gyorsítót az ostrom előtt leszerelték, az alkatrészeket sikerült megmenteni. *Bay Zoltán* kísérleti munkáit főként a Tungsram Kutatólaboratóriumban végezte kiváló munkatársaival. Itt fejlesztette világszínvonalúvá elektron-sokszorozóját.

Simonyi 1944-ben a radarkísérletekben vett részt Nógrádverőcén. *Ducza Károllyal* együtt hangátvitelt is sikerült létesíteni a Verőcei szigeten működő mérőállomással, így ők használtak először rádiótelefont hazánkban. A háború végén Simonyi orosz fogságba esett, ahonnan 1946-ban szabadult. Visszatért *Bay*

Semináriumi előadás *Simonyi Károly* halálának 10. évfordulóján a BME-n 2011. október 4-én.



A Budafoki út és Bertalan Lajos utca sarkán álló épület (forrás: Google, Tele Atlas).

Zoltánhoz és részt vett a holdradar kísérletekben Bay „aranycsapatában”. A nagyszerű csapatból csak *Bodó Zalánt* és *Pócza Jenőt* említem, akik mindketten jelentős személyiségek voltak az egyetemi oktatásnak és kutatásnak is. Ma már csak három túlélőről tudok: *id. Bay Zoltán* (Budapest), *Ducza Károly* (Melbourne), *Takács Lajos* (Cleveland).

Simonyi Károly 1946-ban műszaki doktori fokozatot szerzett. Bay Zoltán távollétében ő tartotta az elméleti villamosságtan előadásokat. Érdekes, hogy Bay őt bízta meg, nem adjunktusát, *Papp Györgyöt*. Már akkor nagyszerű előadó volt. Először ezeken az előadásokon találkoztam vele.

1948-ban Bay Zoltán felvett doktorandusznak a Tungsram Kutatólaboratóriumba. Helyetteséhez, *Szigeti György*höz osztott be, akitől minden lehető támogatást megkaptam. Tanulmányaimat kiegészítettem a Pázmány Péter Tudományegyetemen *Novobátzky Károly* nagyszerű elméleti fizikai előadásaival. Bay Zoltán egy küszöbön álló koncepciók per elkerülése érdekében menekülésre kényszerült. Velem Simonyi tartott konzultációkat készülő disszertációmról, sokat segített nekem. Kollégaként beszélt velem. 1949-ben neki nyújtottam be disszertációm, majd 1949. júniusban lettem a doktori szigorlatot és megszereztem a Műegyetem műszaki doktori fokozatát [5]. Eredményeim megjelentek a *J. Opt. Soc. America* folyóiratban, társszerző nélkül. Sem Szigeti, sem Simonyi nem éltek vezetői jogokkal.

1948-ban Simonyi Károly a Soproni Egyetemen kapott tanszéket. Itt építette meg a 800 kV-os van de Graaff generátort és sikeres elemátalakításokat végzett. Kossuth-díjat kapott.

1950-ben új helyzet állt elő. A Tungsram Kutató átvette a Távközlési Kutató Intézet. Simonyit a KFKI

meghívta a Magfizikai Osztály vezetésére. Ugyanakkor kinevezték a BME Elméleti Villamosság tanszék vezetőjének is. Az Elméleti Villamosság tanszék Bay Zoltán tanszékének szobáit vette át, ahol 1957-ig, a Duna-parti épület elkészültéig maradt.

Ezzel tulajdonképpen befejeztem beszámolómat Simonyi munkájáról a Budafoki út 8. épületben. Adós vagyok azonban két fontos eseménnyel. A Mérnöki Továbbképző előadásán Simonyitól hallottunk először a szinkrotronról. 1952-ben megjelent Simonyi Károly *Elméleti villamosság* tankönyvének első kiadása. 2011-ig további nyolc kiadásra került sor, a könyvet lefordították orosz, német, angol és román nyelvre, az egész világ használja. Simonyi gyorsítóiról és atomfizikai kísérleteiről *Klopfer Ervin* írt összefoglalót [6].

Nem szólok a későbbiekben Simonyi Károly elüldözéséről a KFKI-ból és BME-beli tanszékéről. 1970-ben *Barta István*, Bay egyik munkatársa az aranycsapatból adott helyet intézetében Simonyi Károlynak, ahol megírta *A Fizika kultúrtörténetét Csurgayné Ildikó* közreműködésével. Számomra ez a legszebb könyv, amit életemben olvastam.

1988-ban a BME *Teller Edével* együtt díszdoktorrá avatta Simonyi Károlyt. A BME azonban csak 2011-ben egyenlítette ki tartozását a Simonyi Terem megnyitásával és szobrának felavatásával.

Szeretném 2003-ban tett javaslatomat [7] megismételni: a Budafoki út 8. épületben a hazai fizika kiemelkedő alkotói dolgoztak és oktattak: *Zemplén Győző* (1879–1916), *Pogány Béla* (1887–1943), *Gerő Loránd* (1910–1945), *Gyulai Zoltán* (1887–1968), *Gombás Pál* (1909–1971), *Bay Zoltán* (1900–1992), *Bodó Zalán* (1920–1990), *Simonyi Károly* (1916–2001). Javaslom emléktábla felállítását az épület falán. Ez nemcsak tiszteletüket szolgálja, hanem a mai BME hallgatókat is tájékoztatná a nagyszerű múltról. Sokan közülük már nem is ismerik őket.

## Köszönetnyilvánítás

Bay Zoltán, Szigeti György és Simonyi Károly indítottak el pályámon. Előadásomhoz anyagot kaptam *Batalka Krisztinától* (BME Levéltár), *id. Bay Zoltántól*, *Csurgayné Ildikótól* és *Klopfer Ervintől*, segítséget *Gurbán Sándortól*. Felhasználtam *Staar Gyula* és *Erdősi Gyula* könyveit.

## Irodalom

1. *Staar Gyula: Megszállottak*. Typotex, 1991.  
*De mi az igazság... Beszélgetések Simonyi Károssal*. Közlöny és Lapkiadó, 1996.  
*Fizikusok az aranykorból*. Vince kiadó, 2006.
2. *Erdősi Gyula, Kádár Katalin: Simonyi Károly, az iskolateremtő professzor*. Pontus Kft., 2011.
3. *Vargha Magdolna: A fizika oktatása és kutatása a Műegyetemen 1945 előtt. Fizikai Szemle 45/10 (1995) 341.*
4. *Füstöss László: Fizika Magyarországon a két világháború között*. Magyar Tudománytörténeti Intézet, 2010.
5. *Gergely György: Gyémánt doktori oklevél Simonyi Károlynak 1949-ben. Informatika (Gábor Dénes Főiskola) 37/1 (2011) 6.*
6. *Klopfer Ervin: Simonyi Károly és a magyarországi részecskegyorsító berendezések. Informatika 24/5 (2006) 5.*
7. *Gergely György: Nyílt levél Detrekői Ákos akadémikus, egyetemi tanár úrnak, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem rektorának. Fizikai Szemle 53 (2003) 184.*

# HÍREK A NAGYVILÁGBÓL

## A rák sugárterápiájához nagy segítséget jelent egy új izotóp

A Los Alamos Nemzeti Laboratórium új orvosi izotóp projektjének ígéretes eredménye, hogy az aktínium 225-ös tömegszámú izotópját ( $\text{Ac}^{225}$ ), amely kiválóan alkalmas a rák sugárterápiás kezelésére, rövid idő alatt nagy mennyiségben lehet előállítani.

Los Alamos és partnere, a Brookhaven Nemzeti Laboratórium protonnyalábja segítségével néhány nap alatt annyi izotópot állított elő, amely a világ éves össztermelésének felel meg és így megszünteti e terápiás izotóp kritikus hiányát. Az eredmények alapján tervet dolgoznak ki a Los Alamos, Brookhaven és Oak Ridge Nemzeti Laboratóriumainak együttműködésére nagy mennyiségű és stabil  $\text{Ac}^{225}$  készlet előállítására.

Az aktínium 225 alfa-részecskéket sugároz, amelyeknek elegendő energiájuk van arra, hogy elpusztítsák a ráksejteket, de bizonyos, jól szabályozható távolságon túl már nem fejtenek ki romboló hatást. Az alfa-részecskéket egy bőrreteg vagy akár 5-6 cm levegő is megállítja. Eddig azért nem talált széleskörű alkalmazásra ez az izotóp, mert nem volt megfelelő mennyiségű és elérhető árú készlet belőle. A Los Alamos Nemzeti Laboratórium Izotópgyártó Berendezésének (Isotope Production Facility, IPF) kutatói nem-

rég fejeztek be egy K+F projektet, amelyben megvizsgálták izotópok orvosi célokra gyorsítóval történő előállításának lehetőségét. 2005 óta az IPF elsődleges feladata izotópok előállítása volt orvosi képalkotáshoz, mint például a stroncium-82 a pozitron emissziós tomográfiához (PET), valamint nemzetbiztonsági, környezetvédelmi és számos egyéb ipari alkalmazás céljaira. Az  $\text{Ac}^{225}$  izotóppal kapcsolatos eredmény egy további fontos lépés az IPF által gyártott izotópok orvosi alkalmazása terén.

Szakértők szerint nagy szükség volt erre az izotópra, mivel korábban az urán-233-ból keletkező tórium bomlásából nyert éves mennyiség mindössze 600–800 millicurie, míg az igény legalább két nagyságrenddel nagyobb. „Az előzetes kísérletek azt mutatják hogy a gyorsító izotóptermeles megvalósítható olyan skálán, amely a klinikai alkalmazásokhoz szükséges” – jelentette ki *Meiring Nortier*, a projekt vezetője. A kutatók azt mutatják, hogy Los Alamosban és Brookhavenben 2-5 nap alatt legyártható lesz az éves igény, a rutinszerű termelés megindításához azonban még 2-3 éves fejlesztőmunka szükséges.

<http://www.lanl.gov/news>

## A jégkorszakban a szén-dioxid okozta a globális felmelegedést

A klimatológia egyik alapkérdése olyan, mint a „mi volt előbb, a tyúk vagy a tojás?” Mi volt előbb, az üvegházgázok, vagy a globális felmelegedés? A Harvard Egyetem, az Oregoni Állami Egyetem és a Wisconsin Egyetem kutatói által vezetett, sok intézetből toborzott kutatócsoport erre a kérdésre keresi a választ az elérhető globális paleoklimatológiai adatok, valamint az Oak Ridge Nem-

zeti Laboratórium Jaguár szuperkomputere segítségével. A *Nature* április 5-i számában közölt eredményeket 15 000 év klímátörténeti adatainak elemzésével nyerték. A kutatók azt remélik, hogy természetes globális klímaváltozás okainak ismerete segíteni fog abban, hogy megértsék az ember okozta klímaváltozás kialakulását.

<http://news.sciencemag.org>

## A magfúzió nagy támogatást kap az amerikai költségvetésben

Az USA Képviselőházának Költségvetési Bizottsága nagy összeget hagyott jóvá az Energiaügyi Minisztérium (Department of Energy, DOE) költségvetésében a fúziós kutatások céljaira. A testület elvetette az Obama-adminisztráció javaslatát, miszerint a 2013-as pénzügyi évben, amely október 1-jével kezdődik, jelentősen csökkentsék a hazai fúziós kutatásokra szánt összegeket. A kértnél nagyobb támogatást szavazott meg a nemzetközi együttműködésben Franciaországban építendő ITER fúziós reaktor építéséhez. A fúziós kutatások nyeresége ugyanakkor jelentős veszteséget jelent a DOE környezetvédelmi és alapkutatói programjai számára.

A testület a DOE-nak összesen 26,3 milliárd dollárt szavazott meg, 365 millió dollárral kevesebbet, mint

a 2012. évi támogatás volt. A különböző csökkenések ellenére a fúziósenergia-program 72,6 millió dollárral kap többet a jelenlegi éves 474,6 millió dolláros költségvetésnél. A törvény utasítja a DOE-t, hogy továbbra is működtesse az Alcator C-Mod berendezést az MIT-ben (Massachusetts Institute of Technology), amelyet az Adminisztráció be akart zárni, továbbá utasítja a DOE-t, hogy „továbbra is támogassa a kutatást, a működtetést, valamint a fejlesztést az Office of Science hazai fúziós programja keretében”. Az USA hozzájárulása az ITER-hez 73 millió dollárral nő, és eléri a 178 millió dollárt, ami 28 millió dollárral több az igényelt összegnél.

<http://news.sciencemag.org>

# Negyvenöt új izotópot fedeztek fel Japán nagy nehézion-gyorsítójánál

A japán RIKEN kutatóközpont (Rikagaku Kenkyūjo, The Institute of Physical and Chemical Research) bejelentése szerint 4 nap leforgása alatt 45 új radioaktív izotópot fedeztek fel, többet, mint a világ kutatói egy átlagos évben. A RIKEN Nishina Gyorsító Kutatói Központ (Nishina's Center for Accelerator-Based Science) Radioaktív Izotópnyaláb Berendezése (Radioactive Isotope

Beam Factory, RIBF) foglalkozik ezekkel a kutatásokkal. Az említett vizsgálatoknál urán-238 atommagokkal bombáztak berillium és ólom céltárgyakat, aminek eredményeképpen „egy egész sor egzotikus radioizotóp keletkezett, amelyek feltehetően központi szerepet játszanak a Világegyetemben található elemek létrejöttében”.

<http://www.gizmag.com>

## HÍREK AZ UNIVERZUMBÓL

### Átadták a legmagasabb csillagászati elismerést, a Crafoord-díjat

A közvélemény szerint a Nobel-díj a legmagasabb tudományos elismerés, bár *Alfred Nobel* végrendelete alapján csak bizonyos tudományok művelésében elért eredményekért adható Nobel-díj. Eredetileg a csillagászat sem szerepelt a „kiválasztott” diszciplínák között, de már vagy fél évszázada csillagászokat is találunk a fizikai Nobel-díjasok között. Ugyanakkor léteznek más rangos nemzetközi tudományos díjak, amelyeket bizonyos tudományok művelői a saját szakterületükön szinte a Nobel-díjjal egyenértékűnek tartanak. Ezek közé tartozik például az Abel-díj, a Kavli-díj, a Kyoto-díj, a Millennium technológiai díj, vagy a Wolf-díj. A csillagászatban pedig ilyen elismerés a Crafoord-díj.

A díjat a svéd Crafoord-házaspár – *Holger Crafoord* (1908–1982) és *Anna-Greta Crafoord* (1914–1994) – alapította a csillagászat, a matematika, a földtudományok, az élettudományok (különösen azok ökológiai vonatkozásai) és a sokízületi gyulladás (polyarthrit) területén elért kimagasló tudományos eredmények elismerésére. A felsorolásból kitetszik, hogy olyan tudományágak művelőit jutalmazták Crafoord-díjjal,

amelyek a Nobel-díjra való jelölésnél nem vagy nemigen jöhetnek szóba.

A Nobel-díjjal való párhuzamba állítás további indokai az alapítás körülményei és a díjazottak kiválasztásának módja. Holger Crafoord iparmágnás volt, aki az általa feltalált és kifejlesztett dializátorból, majd a műve gyártásából tett szert tekintélyes vagyoniára. A Crafoord-díjra érdemesített kutatókat a Nobel-díjak odaítélésénél megszokott módon választják ki. A Svéd Királyi Tudományos Akadémia a világ számos országából kér fel ismert csillagászokat javaslatételre. Ez a nyilvánosság teljes kizárásával zajló folyamat a díj kiosztása előtt egy évvel kezdődik. A beérkezett javaslatok alapján egy kisebb létszámú bizottság dönt a díjazandó személyéről. A Crafoord-díjat évente 1-2 kutató kaphatja meg, és minden évben más-más tudományterület művelői kerülnek sorra. Kivételt képez a csillagászat és a matematika, mert azok Crafoord-díjait 2012-ben egyszerre osztották ki.

A tudományos díjak valódi értékét főleg az adja, hogy milyen tág körből kerül(het)nek ki a díjazottak, mekkora a díj összege és kik az eddigi díjazottak. A

félmillió amerikai dollár összeggel együtt járó Crafoord-díjat először 1982-ben ítélték oda. Akkor két matematikus kapta, egyikük a munkásságáról több tudományterületen is ismert *Vlagyimir Arnold*; 1983-ban pedig a földtudományok két művelőjét tüntették ki, egyikük ugyancsak ismert más diszciplínák művelői számára is: *Edward Lorenz*, a kaoszelmélet megalapozója.

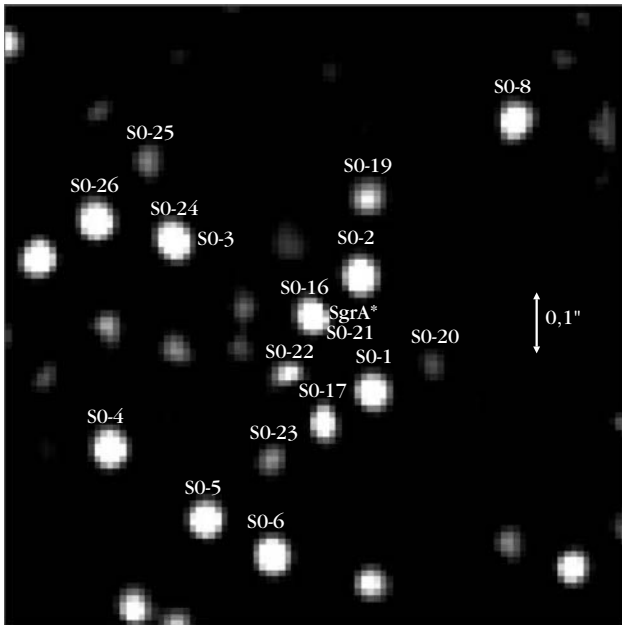
Méltó társaik a csillagászat területén eddig Crafoord-díjjal kitüntetett tudósok:

*Lyman Spitzer* (1985) a csillagközi anyag átfogó kutatásáért;

*James van Allen* (1989) a földi magnetoszférában levő sugárzási övezetek felfedezéséért;

Reinhard Genzel és Andrea Ghez.





Galaxisunk centruma, ahogy a Keck-távcső látta 2000 májusában.

Allan R. Sandage (1991) a csillagfejlődéssel és a Hubble-törvénnyel kapcsolatos kutatási eredményeiért;

Fred Hoyle és Edwin E. Salpeter (1997) a csillagok belsejében végbemenő nukleáris folyamatok és a csillagfejlődés kutatásaiért;

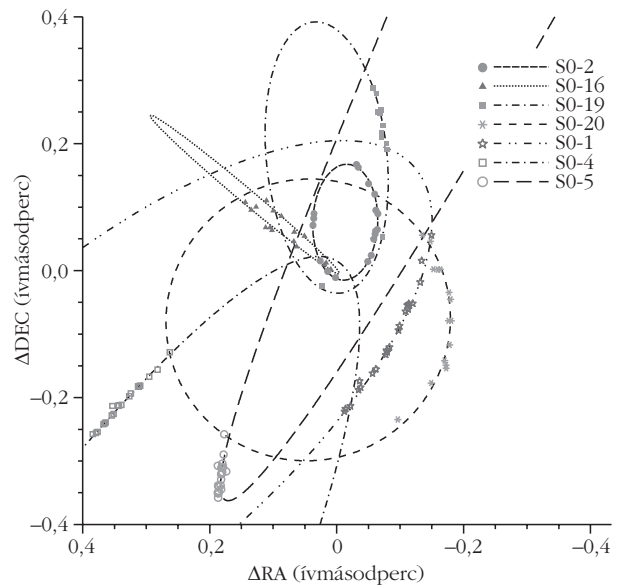
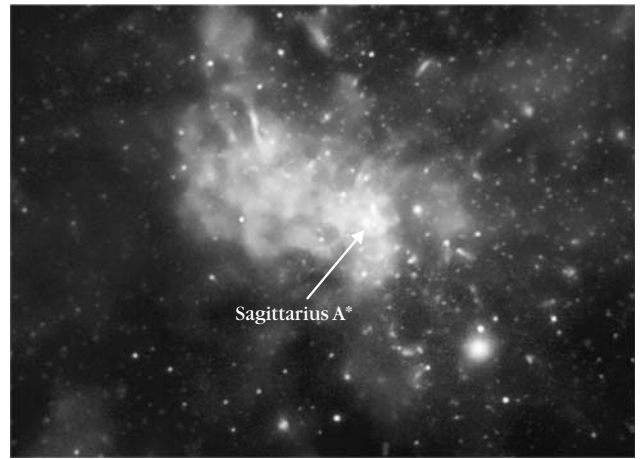
James E. Gunn, P. James E. Peebles és Sir Martin J. Rees (2005) az Univerzum nagyskálájú szerkezetének megértéséhez való hozzájárulásukért;

Rasid A. Szunyajev (2008) a fekete lyukak és neutroncsillagok kutatásáért.

Ezt a felsorolást most két – talán kevésbé közismert – névvel egészíthetjük ki, az idei kitüntetettekével. Reinhard Genzel és Andrea Ghez azért vehették át a 2012. évi Crafoord-díjat, mert sikerült kimutatniuk a Tejútrendszer centrumához egészen közeli csillagok keringésből származó elmozdulását, amivel egyértelműen bizonyították, hogy saját galaxisunk közepén is egy szupernagy tömegű fekete lyuk található.

A csillagok pálya menti sebességéből és a vonzócentrumtól való távolságából meg lehet határozni azt is,

Az ESO VLT egyik kupolájából kibocsátott lézersugár éppen a Tejútrendszer centrumának irányába mutat.



A Tejútrendszer középpontjának környéke (fölül) és a centrum körül gyorsan keringő csillagok évenkénti elmozdulásából kirajzolódó pályarészlete (alul). A koordináta-rendszer kezdőpontja a Tejútrendszer dinamikai középpontja (Sagittarius A').

hogy mekkora tömeg készített olyan elképesztően gyors (10000 km/s sebességet is meghaladó tempójú) keringésre a Tejútrendszer középpontjához egészen közel keringő csillagokat. Az eredmény meghökkentő: saját galaxisunk centrumában a Nap tömegének közel négymilliószorosát kitevő mennyiségű anyag zsúfolódik össze a Nap átmérőjénél alig 600-szor nagyobb kiterjedésű térségben. E láthatatlan, de jelentős tömegkoncentráció egyértelmű kimutatását, vagyis észlelésekkel történt bizonyítását jutalmazták az idei Crafoord-díjjal.

A felfedezéshez vezető megfigyeléseket az 1990-es évek elejétől több mint egy évtizeden át két külön kutatócsoport végezte. Az egyiket, amelyik a Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physikben működik a München melletti Garchingban, Reinhard Genzel (sz. 1952) vezeti, a másik csoport vezetője pedig Andrea Ghez (sz. 1966), a University of California at Los Angeles professzora, akinek személyében nemcsak az eddigi legfiatalabb díjazottat, hanem az első nőt is köszönhetjük a Crafoord-díjjal kitüntetett csillagászok között.

Szabados László





## A természettudomány tanítása fesztivál Magyarországon

Részvételi felhívás a hazai válogató versenyre

**Csodák Palotája – Budapest, Millenáris Park, 2012. szeptember 29.**

Fővédnök: Pálinkás József akadémikus, az MTA elnöke

Védnökök: Falus András akadémikus, SOTE

Hargittai Magdolna akadémikus, BME

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat (ELFT) ismét megszervezi a Science on Stage (SonS) konferencia magyarországi válogatóját. Részvételre hívjuk hazánk újjító kedvű, kreatív, szívesen és örömmel kísérletező fizika-, kémia- és biológiaszakos tanárait, továbbá az általános iskolákban természetismeret (vagy környezetismeret) keretében természettudományt tanító kollégákat. Pályázhatnak továbbá határon túli, magyar nyelven természettudományt oktató tanárok is, ha saját országuk nem indít csapatot a 2013-as konferenciára.

Szeretnénk, ha a tanárkollégák bemutatnák érdekes és új módszereiket, kísérleteiket, oktatási programjaikat, megvalósított projektjeiket, innovatív ötleteiket, amelyek segítik a természettudomány tanítását, tanulását, felkeltik a diákok érdeklődését, motiválják őket az ilyen irányú továbbtanulásra.

A nemzetközi konferencia helyszíne két város, Slubice és Frankfurt (Oder) lesznek, amelyek a lengyel-német határon találhatók. Időpontja 2013. április 25–28.

Magyarországról 9 fő vehet részt, 2-2-2 fő a fizika-, a kémia és a biológia területéről, 1 fő természettudományt tanító és 2 fő szervező. További megkötés, hogy a delegációnak legfeljebb a fele lehet olyan kolléga, aki már részt vett ilyen konferencián.

A pályázati anyagnak a tervezett bemutató rövid, legfeljebb 6 ezer leütésnyi, mindösszesen 2 oldalnyi (esetlegesen képekkel, ábrákkal együtt) leírást kell tartalmaznia.

**A pályázat beadási határideje 2012. augusztus 1.**

A pályázatot e-mailen kell elküldeni a következő címekre:

Az ELFT titkárságára: [elft@elft.hu](mailto:elft@elft.hu)

Radnóti Katalin szervező: [rad8012@helka.iif.hu](mailto:rad8012@helka.iif.hu)

A szakmai zsűriben mindegyik tudományterület képviselve lesz. A zsűri által kiválasztott pályamunkákat a Csodák Palotájában 2012. szeptember 29-én kell majd bemutatni.

**Fődíj:** kiutazás a Slubice – Frankfurt (Oder) városokban rendezendő nemzetközi konferenciára. A szponzoroknak köszönhetően a zsűri értékes különdíjakat is odaítél.

További információk a következő weblapokon érhetők el:

Az előző, 2011-es koppenhágai konferenciáról: <http://www.science-on-stage.eu/?p=137>

A 2013-as konferenciáról: <http://www.science-on-stage.eu>;

<http://www.science-on-stage.eu/?p=194>



Jöjjön látogatóba Magyarország  
egyetlen atomerőművébe és  
ismerje meg annak biztonságos  
működését!



# Jövönk energiája



## paksi atomerőmű

Tájékoztató és Látogatóközpont  
7031 Paks, Pf. 71  
Telefon: (75) 508 833  
[www.atomeromu.hu](http://www.atomeromu.hu)



Várjuk vendégségbe Magyarországot!