

# fizikai szemle

2008/12

The image features two champagne flutes against a blurred background of a Christmas tree. The tree is decorated with green needles, red and gold ornaments, and warm white lights. The flute in the foreground is filled with a golden, bubbly liquid, likely champagne, and has a blue, textured stem. The second flute is empty and positioned behind the first one. The overall lighting is warm and festive.

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

Főszerkesztő:

Szatmáry Zoltán

Szerkesztő bizottság:

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

Szerkesztő:

Füstöss László

Műszaki szerkesztő:

Kármán Tamás

A folyóirat e-mailcíme:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>

A címlapon:

Buboréklánc pezsgőben  
(fotó: Kármán Tamás)

A bátsó borítón:

Az egri Varázstorony a budapesti  
Művészetek Palotájában  
(fotók: Vida József, Zoller Gábor)

## TARTALOM

<i>Lovas István:</i> Berényi Dénes 80 éves	405
<i>Klencsár Zoltán:</i> A Mössbauer-effektus	406
<i>Fényes Tibor:</i> Supernehéz elemek	412
<i>Trócsányi Zoltán:</i> Az eltűnt szimmetria nyomában	427
<i>Kovács László:</i> Reneszánsz fizikusok	424
<i>Kis Domokos Dániel:</i> A hanggal történő elektromos távkapcsolás ötlete	429

### A FIZIKA TANÍTÁSA

<i>Nagy Anett:</i> Mitől pezseg a pezsgő?	431
Diákok az Európai Fizikai Társulat születésnapján ( <i>Pipek Orsolya, Rajkovits Zsuzsanna</i> )	436
Kutató leszek egy napra ( <i>Horváth Árpád, Jancsó Gábor, Trócsányi Zoltán</i> )	437

### ÁLFIZIKAI SZEMLÉ

<i>Bíró Tamás Sándor:</i> Gondolatok a tudomány hatáiról	437
--	-----

### HÍREK – ESEMÉNYEK

	441
--	-----

### MELLÉKLET

Falinaptár ( <i>Kármán Tamás</i> )	359
------------------------------------	-----

<i>I. Lovas:</i> Celebrating the 80th anniversary of D. Berényi
<i>Z. Klencsár:</i> The Mössbauer Effect
<i>T. Fényes:</i> Superheavy elements
<i>Z. Trócsányi:</i> Nobel prize 2008
<i>L. Kovács:</i> Renaissance physicists
<i>D. D. Kis:</i> The idea of acoustic remote switching of electric processes

### TEACHING PHYSICS

<i>A. Nagy:</i> The dynamics of champagne bubbles
Students at the EPS Anniversary Meeting ( <i>O. Pipek, Zs. Rajkovits</i> )
Researcher for one day ( <i>Á. Horváth, G. Jancsó, Z. Trócsányi</i> )

### PSEUDO-PHYSICAL REVIEW

<i>T. S. Bíró:</i> Wondering about the borders of science
---

### EVENTS

### SUPPLEMENT

Calendar ( <i>T. Kármán</i> )
-------------------------------

<i>I. Lovas:</i> Zum achtzigsten Geburtstag von D. Berényi
<i>Z. Klencsár:</i> Der Mössbauer-Effekt
<i>T. Fényes:</i> Superschwere Elemente
<i>Z. Trócsányi:</i> Nobelpreis 2008
<i>L. Kovács:</i> Physiker der Renaissance
<i>D. D. Kis:</i> Die Idee der akustischen Fernschaltung elektrischer Prozesse

### PHYSIKUNTERRICHT

<i>A. Nagy:</i> Die Dynamik der Blasen in Champagner
Studenten an der Jahrestagsfeier der EPS ( <i>O. Pipek, Zs. Rajkovits</i> )
Forscher auf einen Tag ( <i>Á. Horváth, G. Jancsó, Z. Trócsányi</i> )

### ZEITSCHRIFT FÜR PSEUDO-PHYSIK

<i>T. S. Bíró:</i> Gedanken über die Grenzen der Wissenschaft
---

### EREIGNISSE

### BEILAGE

Kalender ( <i>T. Kármán</i> )
-------------------------------

<i>И. Лобаи:</i> 80-илетний Д. Берени
<i>З. Кленчар:</i> Эффект Мёссбауера
<i>Т. Фэни:</i> Сверхтяжелые элементы
<i>З. Троцани:</i> Нобелевская премия 2008-го года
<i>Л. Ковач:</i> Физики эры возрождения
<i>Д. Д. Киш:</i> Акустическое дальное управление электрическими процессами

### ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

<i>A. Nagy:</i> Откуда пузыри в шампанском?
Студенты на праздновании Европейского Физического Общества ( <i>O. Пупек, З. Райкович</i> )
Исследователи на один день ( <i>А. Хорват, Г. Янчо, З. Троцани</i> )

### ОБОРЫ ИЗ ОБЛАСТЕЙ ПСЕВДО-ФИЗИКИ

<i>T. S. Bíró:</i> Грани компетенции науки
--

### ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ

### ПРИЛОЖЕНИЕ

Календарь ( <i>T. Карман</i> )
--------------------------------

Szerkesztőség: 1027 Budapest, II. Fő utca 68. Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Telefon/fax: (1) 201-8682

A Társulat Internet honlapja <http://www.elft.hu>, e-postacíme: mail.elft@mesz.hu

Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős: Szatmáry Zoltán főszerkesztő.

Kéziratokat nem őrzünk meg és nem küldünk vissza. A szerzőknek tiszteletpéldányt küldünk.

Nyomdai előkészítés: Kármán Tamás, nyomdai munkálatok: OOK-PRESS Kft., felelős vezető: Szathmáry Attila ügyvezető igazgató.

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

Megjelenik havonta, egyes szám ára: 750.- Ft + postaköltség.

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



# Fizikai Szemle

## MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

LVIII. évfolyam

12. szám

2008. december

## BERÉNYI DÉNES 80 ÉVES

Tisztelt Professzor Asszonyok és Urak!  
Kedves Barátaim!  
Kedves Dénes!

80 éves lettél és nekem jutott az a kitüntetés, hogy ebből az alkalomból köszöntselek.

Isten éltesen sokáig szeretteddel együtt, és adjon jó egészséget kedves Mindnyájatoknak!

Az elmúlt 80 év alatt olyan sok mindennel foglalkoztál, legnagyobb részt sikeresen, olyan sok mindennel törődtél sokak javára és örömére, hogy mindezt felsorolni a mai nap nem lenne elég. Ezért válogatni kell! De hogyan? Én úgy döntöttem, hogy szubjektív leszek és életemből azokat a mozaikokat idézem fel, amiknek tanúja voltam. Ezért időrendben haladok.

1954-ben ismertelek meg. *Szalay Sándor* jóvoltából akkor kerültem Debrecenbe. Megtudtam, hogy itt két fiatal kutató is foglalkozik a béta-bomlással. Az egyik Wilson-kamrát épített a neutrínó visszalökő hatásának bizonyítására, ő volt *Csikay Gyula*, a másik elektron-spektrométert épített a béta-bomlásból származó elektronok energiájának mérésére. Ő volt *Berényi Dénes*. Nagy igyekezettel kezdtem tanulni a fiziká-



nak ezt a fejezetét. Így, amikor felfedezték a „paritás meg nem maradás” jelenségét, már járatos voltam a béta-bomlás témakörében. Ezt a debreceni kollégáimnak köszönhettem, elsősorban Berényi Dénesnek.

De még sok mást is! Édesanyám mindig biztatott, hogy magam körül tartsak rendet. Vegyek példát a jószágokról. A kakasok este felülnek a kakasülőre, a fecskék csinosra építik a fészket, a tehének pontosan hazajönnek a legelőről és várják, amíg a kaput ki nem nyitjuk nekik. Én megfogadtam, hogy rendet tartok, de ezt mindig újra és újra el kellett határozni. A fogadalm végrehajtásában Berényi Dénesnek fontos szerepe volt.

Egyszer kértem tőle egy rajzszöveget. Ő azt mondta, hogy szívesen ad, de most nem ér rá, ezért menjek fel a szobájába, a baloldali asztal középső fiókjában találok egy fehér dobozt. Abban rajzszögek vannak. Azok közül válasszak.

Az a rajzszög szöveget ütött a fejembe és arra a következtetésre jutottam; ahhoz, hogy rend legyen a fejemben, valószínűleg az kell, hogy körülöttem is rend legyen.

Örömmel tapasztaltam, hogy az ATOMKI-ban, ami valaha leányárvaház volt, nemcsak egy valódi kutatóintézetet építettek, hanem egy darab Európát is. A lokálpatriotizmus csodát művelt. Kaszkádgenerátorok, Van de Graaff-gyorsító, számítógép, tömegspektrométer, hidegfizikai laboratórium, ciklotron-laboratórium. Mindebben kiemelkedő szerepe volt Berényi Dénesnek, aki Szalay Sándort követte az ATOMKI igazgatói székében.

2008. november 26-án, *Berényi Dénes* akadémikus közelgő 80. születésnapja alkalmából, ünnepi tudományos ülést rendeztek az MTA Atommagkutató Intézetében a Magyar Tudományos Akadémia Fizikai Tudományok Osztályának kihelyezett ülése keretében. Itt hangzott el *Lovas István* fenti köszöntője. Az ülésről a HIREK – ESEMÉNYEK rovatban számolunk be.

Ez idő tájt kéthetente két napra Debrecenbe jártam előadást tartani. Így közelről láthattam, hogy Berényi Dénes milyen fáradhatatlanul dolgozik az ATOMKI-ért, a Kossuth Egyetemért, a Fizikai Társulatért és minden lehetséges jó ügyért.

A vidéki ATOMKI versenyre kelt a fővárosi KFKI-val azokon a területeken, amelyeken a szükséges eszközöket sikerült megteremteni Debrecenben. Ahol nem sikerült, ott együttműködő partnert kerestek Frankfurtból, Dublinból, Stockholmból, Tokióig. Sőt még az elméleti magfizikát is sikerült meggyökereztetni, ami később virágba szökkent.

Mindebben Berényi Dénesnek oroszlánrésze volt. Eközben szerkesztette a *Fizikai Szemlét* és a *Debreceni Szemlét*, ami szívügye mind a mai napig.

A béta-bomlás, az elektron-spektroszkópia, majd később az atomfizika, az atomi ütközések területén számos olyan fontos eredményt ért el, amelyeket a nemzetközi szakirodalomban számon tartanak. Sőt, még a hazában is.

Érdeemes emlékeztetni arra, hogy a határainkon kívül élő magyar kutatók ügyének gondozását az Akadémia Berényi Dénesre bízta.

Tudományos eredményeinek nemzetközi elismertségét és a hazai közügyekben végzett áldozatos munkáját honoráltuk, amikor megválasztottuk az MTA alelnökének.

Nekem személy szerint nagy szerencsém volt, hogy 1990-ben ő lett az Akadémia alelnöke, mert úgy adódott, hogy éppen akkor kellett átszerveznem a KFKI-t. És nagyon jó volt, hogy egy olyan tapasztalt fizikus volt az alelnök, mint Berényi Dénes. Volt egy súlyos probléma, mégpedig az, hogy a KFKI akkor egy félmilliárdos adósságot görgetett. Ez nagyon súlyos feszültségekhez, vitákhoz vezetett. Az elektronikusok azt mondták ne-

kem, hogy ha az utolsó 80 millió forintunkból alapítunk egy részvénytársaságot, akkor ők tudnak olyan megrendelést szerezni, amiből vissza lehet fizetni a fél milliárdot. Én hittem nekik és megalapítottuk az Rt.-t. A KFKI kutatói pedig naiv örültek neveztek és néha megakartak verni. Azokon az üléseken, amelyeken a KFKI ügye szerepelt, rendszerint Berényi Dénes elnökölt, aki higgadtságával le tudta szerelni a szélsőségeket. Hála a Jóistennek és az elektronikusok korrektségének, a fél milliárdot sikerült visszafizetni.

Berényi Dénesnek kiemelkedő szerepe volt abban, hogy a kutatóközpont helyén ma működő, önálló intézmények sikeres őrzői a KFKI hagyományainak és értékeinek.

A napokban megakadt a szemem *Galilei* nevén, aki éppen 400 évvel ezelőtt irányította az ég felé az első távcsövet, és erről eszembe jutott, hogy a Te neved is szerepel egy csillagászati katalógusban. A nagybolygókat a görögök az istenekről nevezték el: Mercur, Venus, Gaia, Mars, Jupiter stb.

Kisbolygót eddig több ezret fedeztek fel. Az 5694-es számúnak a Berényi Dénes nevet adták. Érdeemes egy pillantást vetni a katalógusban szereplő szomszédos sorszámú csillagok névadóira: Berényi Dénes magyar fizikus, *Henrik Ibsen* norvég író, *Arrhenius* svéd Nobel-díjas vegyész, *Emil Nolde* német expresszionista festő, *Homérosz* görög eposzteremtő, *Ljapunov* orosz matematikus.

Dénes, te megértetted, amit *József Attila* mondott: „dolgozni csak pontosan, szépen, ahogy a csillag megy az égen, úgy érdemes”.

Ehhez már csak annyit tehetek hozzá, hogy: Sic itur ad astra!

További jó munkát és jó egészséget kíván:

*Lovas István*

## A MÖSSBAUER-EFFEKTUS

Ha a Nap fényét – mely elsősorban a fotoszférából származik – spektroszkóppal vizsgáljuk, akkor az alapjában folytonos színekben bizonyos frekvenciáknál sötét elnyelési vonalakat figyelhetünk meg. Az elsőként *Wollaston*<sup>1</sup> által 1802-ben megfigyelt, majd *Fraunhofer*<sup>2</sup> által 1814-ben újra felfedezett és részletesen megvizsgált elnyelési vonalakat (mai nevükön Fraunhofer-vonalak) eredetére elsőként *Kirchhoff*<sup>3</sup>

Rudolf L. Mössbauer 1958-ban – éppen 50 éve – publikálta  $\gamma$ -kvantumok visszalökődésmentes magrezonancia-abszorpciójának felfedezéséről beszámoló munkáit [1, 2]. A témáról bővebben is olvashatunk a *Szemelvények a nukleáris tudomány történetéből* című könyvben (szerk.: Vértes Attila, Akadémiai Kiadó, 2008).

<sup>1</sup> William Hyde Wollaston (1766–1828) angol kémikus, illetve fizikus, a Pd és a Rh kémiai elemek felfedezője.

<sup>2</sup> Joseph von Fraunhofer (1787–1826) német fizikus.

<sup>3</sup> Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887) német fizikus.

adott helyes magyarázatot 1859-ben: a Fraunhofer-vonalak azért keletkeznek, mert a Nap legkülső rétegében, a kromoszférában található különböző atomok a fotoszféra folytonos spektrumú sugárzásából elnyelik a vonalnak megfelelő frekvenciájú elektromágneses sugárzást. Az elnyelt sugárzást azonban a kromoszféra gerjesztett állapotú atomjai rövid időn (~10<sup>-8</sup> s) belül újra kisugározzák: ha kizárólag a kromoszféra sugárzásának spektrumát vizsgáljuk (a fotoszféra fényének kitakarásával, vagy teljes napfogyatkozás alkalmával), akkor abban a Fraunhofer-féle vonalnak megfelelő frekvenciáknál emissziós vonalakat figyelhetünk meg.

A kromoszféra atomjainak részvételével szakadatlan zajló abszorpció, majd azt követő emisszió jelensége az atomi rezonancia-fluoreszcencia egyik példája. Ennek során az abszorpció és az emisszió az atom

ugyanazon két energiaállapota között hoz létre (oda-vissza) átmenetet, s ezért a kisugárzott foton  $\epsilon = hf$  energiája, és ezzel egyidejűleg a kisugárzott elektromágneses sugárzás  $f$  frekvenciája rendre megegyezik az abszorpció során elnyelt foton energiájával, illetve az elnyelt elektromágneses sugárzás frekvenciájával. Lényegében ugyanezt a jelenséget földi körülmények között elsőként Wood<sup>4</sup> figyelte meg 1903-ban: hevített nátrium gőzét napfényel megvilágítva a Na-gőz fluoreszcens (emissziós) és abszorpciós spektrumát pontosan egybeesőnek találta [3].

Az atomi rezonancia-fluoreszcencia jelenségének létezése mindenekelőtt annak köszönhető, hogy az atomok lehetséges energiaállapotai diszkrét sokaságot alkotnak, más szóval kvantáltak. Miután világossá vált, hogy az atomokhoz hasonlóan az atomok magjának energiaállapotai is kvantáltak, és az atommagot elhagyó  $\gamma$ -sugárzás a mag két energiaállapota közötti (a magasabb energiájú állapotból az alacsonyabb energiájú állapotba történő) átmenet során keletkezik, az 1920-as években felmerült a kérdés, hogy vajon atommagok által kibocsátott monokromatikus  $\gamma$ -sugárzás segítségével – az atomi rezonancia-fluoreszcenciához hasonlóan – megvalósítható-e a *magrezonancia-fluoreszcencia* jelensége, amelynek során az atommag  $\gamma$ -sugárzás abszorpciója útján alapállapotból valamely gerjesztett állapotába kerül, majd rövid idő elteltével onnan alapállapotába visszatérve az elnyelt  $\gamma$ -sugárzás frekvenciájával megegyező frekvenciájú  $\gamma$ -sugárzást bocsát ki.

Bár kézenfekvőnek tűnt, hogy a magrezonancia-fluoreszcencia jelenségének léteznie kell, az 1950-es évet megelőzően a kimutatására irányuló kísérletek egyike sem szolgált erre meggyőző bizonyítékkal. A sikertelen próbálkozások közül legjelentősebb Kuhn<sup>5</sup> 1929-ben publikált munkája, amelyben Kuhn a tórium-C" ( $^{208}_{81}\text{Tl}$ )  $\beta$ -bomlása útján gerjesztett állapotban keletkező tórium-D ( $^{208}_{82}\text{Pb}$ )  $\gamma$ -sugárzásának természetes ólom és rádium-G (RaG,  $^{206}_{82}\text{Pb}$ ) dikloridjai (PbCl<sub>2</sub> és RaG Cl<sub>2</sub>) által történő szóródását vizsgálta [4]. Kuhn szóban forgó munkájának legfontosabb eredménye elméleti jellegű: rámutat, hogy a keresett magrezonancia-fluoreszcencia effektus kimutatására irányuló kísérletek sikertelen kimenetelében fontos szerepet játszik az emittens atom magjának – a  $\gamma$ -kvantum kibocsátásakor bekövetkező – visszalökődése. A kibocsátott  $\gamma$ -kvantum energiája ugyanis ennek következtében – az atommag visszalökődési energiájával – kisebb lesz, mint a megfelelő magátmenetre jellemző energia, s ezért nem lesz elegendő ahhoz, hogy az abszorbens atommagot (jelen esetben a természetes ólomban található  $^{208}_{82}\text{Pb}$ ) gerjessze. Munkájában Kuhn felhívja továbbá a figyelmet a forrás és az abszorbens hőmérsékletének jelentőségére: az emittens és abszorbens atomok hőmozgása a Doppler-hatás révén (a hőmérséklet emelkedésével növekvő mértékben) megnöveli az emittens atommagok által kibocsátott,

illetve az abszorbens atommagok által abszorbeált  $\gamma$ -sugárzás energiaspektrumának szélességét.

Az emittens atommag  $E_R$  visszalökődési energiája az energia- és impulzusmegmaradás törvénye alapján számítható:

$$E_R = \frac{E_\gamma^2}{2Mc^2} \approx \frac{E_0^2}{2Mc^2}, \quad (1)$$

ahol  $c$  a fénysebesség,  $M$  a visszalökődő atommag tömege,  $E_\gamma$  a kisugárzott  $\gamma$ -kvantum energiája,  $E_0$  pedig a megfelelő magátmenet energiája.

A Doppler-kiszélesedés  $D$  mértéke pedig a

$$D \approx \sqrt{2kTE_R} \quad (2)$$

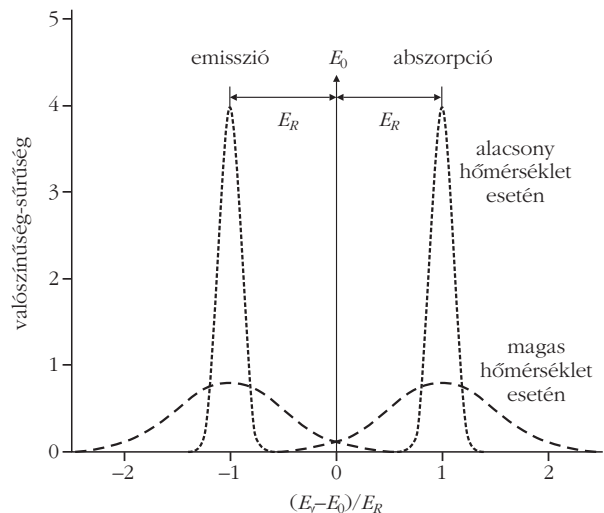
mennyiséggel becsülhető, ahol  $k$  a Boltzmann-állandó,  $T$  pedig a forrás, illetve az abszorbens hőmérséklete.

„Visszalökődés” az abszorbens atommag esetében is fellép, amikor az az emittens mag által kibocsátott  $\gamma$ -kvantumot elnyeli. Amíg tehát az emissziós spektrum az emittens mag visszalökődése miatt az energiategely mentén az  $E_R$  visszalökődési energiával balra (kisebb energiaértékek felé) tolódik, addig az abszorpciós spektrum ugyanilyen mértékben a nagyobb energiaértékek felé, jobbra tolódik el. Az emissziós és abszorpciós spektrumok centrumának távolsága tehát valójában  $2E_R$ , amint azt a 1. ábra mutatja.

A magrezonancia-fluoreszcencia bekövetkezésének valószínűsége az emissziós és az abszorpciós spektrum átfedő területével arányos (1. ábra). Kimutatható mértékű effektus az 1. ábra szerint akkor várható, ha a Doppler-kiszélesedés  $D$  mértéke a visszalökődési energia nagyságrendjébe esik, vagy annál nagyobb:  $D \geq E_R$ .

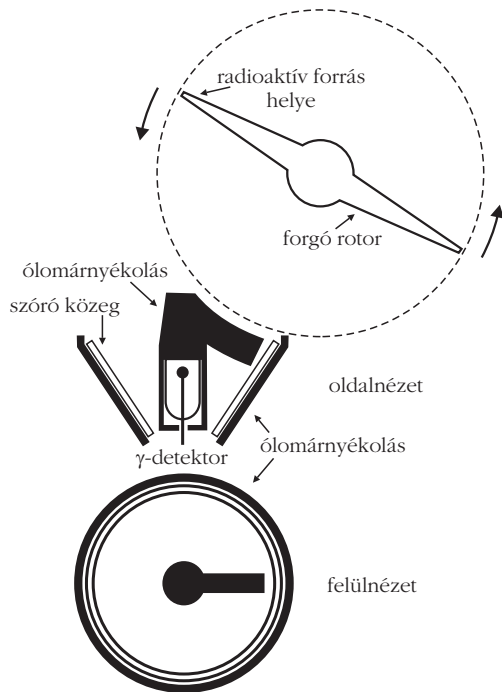
Mai ismereteink szerint [6] a Kuhn által vizsgált  $^{208}_{82}\text{Pb}$  izotóp legalacsonyabb energiájú gerjesztett álla-

1. ábra. A Doppler-kiszélesedés és a visszalökődés hatása rendre az emissziós és abszorpciós spektrumok szélességére és energiategely mentén való elhelyezkedésére gáz halmazállapotú forrás és abszorbens feltételezésével [5]. A jelöléseket illetően lásd az (1) egyenletet.



<sup>4</sup> Robert Williams Wood (1868–1955) amerikai fizikus.

<sup>5</sup> Werner Kuhn (1899–1963) svájci vegyész.



2. ábra. A magrezonancia-fluoreszcencia kimutatására Moon által alkalmazott berendezés sematikus rajza [7]. A csúcsain arannyal ( $^{197}\text{Au}$ ) bevont majd – besugárzás útján  $\sim 100$  mCi aktivitású  $^{198}\text{Au}$   $\beta$   $^{198}\text{Hg}$  radioaktív  $\gamma$ -forrássá – aktivált acél rotor a kísérlet közben vákuumban, pozitív irányban forog a lap síkjára merőleges tengely körül. A radioaktív forrás  $\gamma$ -sugárzása a szóró közeget (folyékony higany) elsősorban a forrás közeledése közben éri. A szórt sugárzást mérő  $\gamma$ -detektort ólom árnyékolás védi a forrásból származó közvetlen sugárzástól. A forrás tömegközéppontjának maximális sebessége a  $^{198}\text{Hg}$  izotópot alkalmazó sikeres kísérlet során  $\sim 6 \times 10^4$  cm/s volt.

potához  $E_0 \approx 2,6$  MeV  $\gamma$ -energia, és – az (1) formula alapján –  $E_R \approx 17,5$  eV visszalökődési energia tartozik. A (2) kifejezés értelmében  $D \geq E_R$  akkor teljesül, ha  $2kT \geq E_R$ , ami jelen esetben  $T \geq 10^5$  K hőmérsékletű forrás és abszorbens esetén állhatna csak fenn. A Kuhn által alkalmazott szobahőmérsékletű forrás és abszorbens esetében  $D \approx E_R/20$ , azaz az emissziós és az abszorpciós spektrumok elenyésző mértékű átfedése miatt Kuhn kísérlete a magrezonancia-fluoreszcencia kimutatására eleve kudarcra volt ítélve.

A magrezonancia-fluoreszcencia jelenségének létezésére meggyőző kísérleti bizonyítékot elsőként Moon<sup>6</sup> szolgáltatott 1951-ben megjelent cikkében: a visszalökődés hatását (az emissziós és abszorpciós spektrumok egymáshoz képest mért eltolódását) a forrás nagy ( $\sim 600$  m/s) sebességgel történő mozgása útján – a Doppler-hatás segítségével – sikerült elensúlyoznia [7]. A kísérletet Moon a  $\sim 2,7$  nap felezési idejű  $^{198}\text{Au}$   $\beta$ -bomlása útján keletkező  $^{198}\text{Hg}$  izotóp által kibocsátott 0,411 MeV energiájú  $\gamma$ -kvantumok és folyékony higany mint abszorbens, valamint a –  $^{181}\text{Hf}_2\text{O}_3$  formájában alkalmazott – 46 nap felezési idejű  $^{181}\text{Hf}$   $\beta$ -bomlása útján keletkező  $^{181}\text{Ta}$  izotóp által kibocsátott 0,48 MeV energiájú  $\gamma$ -kvantumok és TaC (tantál-karbid) mint abszorbens felhasználásával végezte el. A kísérlet azonban csak a  $^{198}\text{Hg}$  izotóp alkal-

mazása esetében volt sikeres. A Moon által ez utóbbi esetben alkalmazott kísérleti berendezés vázlatos rajzát a 2. ábra mutatja.

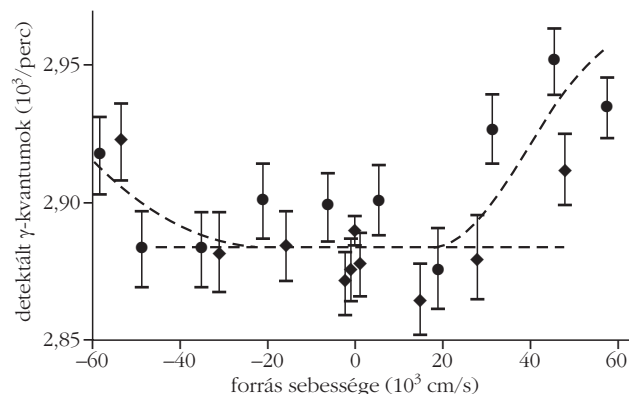
Moon elméleti számításai alapján a magrezonancia-fluoreszcencia effektus mértéke akkor maximális, ha a forrás

$$u_m = \frac{32E}{A} \text{ cm/s} \quad (3)$$

sebességgel közeledik a szóró közeghez, ahol  $E$  az alkalmazott  $\gamma$ -sugárzásnak megfelelő magátmenet eV egységekben mért energiája,  $A$  pedig a  $\gamma$ -sugárzást rezonáns módon szóró atommag tömegszáma. A fenti kifejezésnek megfelelően Moon a szórt  $\gamma$ -sugárzás mértékének maximumát a  $^{198}\text{Hg}$  izotóp segítségével végzett kísérletben  $u_m \approx 66554$  cm/s, a  $^{181}\text{Ta}$  izotóp segítségével végzett kísérletben pedig  $u_m \approx 84862$  cm/s sebesség mellett várta. A sikeresnek talált,  $^{198}\text{Hg}$  izotóp segítségével elvégzett kísérletek eredményeit a 3. ábra és az 1. táblázat foglalják össze.

Moon négy kísérletet tudott a  $^{198}\text{Hg}$  izotóp segítségével elvégezni. Egy alkalommal higany helyett rész szóró közeget alkalmazott: ebben az esetben magrezonancia-fluoreszcencia bekövetkezése nem várható, így az ekkor kapott eredmények megfelelő összehasonlítási alapként szolgálnak ahhoz, hogy az effektus létezését a többi kísérlet eredménye alapján bizonyíthassuk. Higany szóró közeg alkalmazásával Moon két kísérletet végzett el a rotor pozitív irányú, és egyet a rotor negatív irányú forgása mellett (3. ábra, 1. táblázat). Az ötödik megkezdett kísérlet közben a rotor körül egy meghibásodás folytán a vákuum megszűnt, aminek következtében a rotor a vákuumkamra falának csapódott és a kísérleti berendezés tönkrement.

3. ábra. A szórt  $\gamma$ -sugárzás mértékének függése a forrás és a szóró közeg relatív sebességétől [7]. A sebességértékek a forrás átlagsebességét adják meg a számlálás 10 percére vonatkozóan. A  $\bullet$  jelek a rotor gyorsuló forgása közben, az  $\times$  jelek a rotor lassuló forgása közben detektált beütésszámokat jeleznek. A negatív sebességértékek ebben az esetben a 2. ábrán ábrázolt forgási iránnyal ellentétes, negatív irányú forgásra utalnak. A negatív sebességtartományban a beütésszámok emelkedése szintén a rotor szóró közeg felé haladó csúcsán elhelyezkedő  $^{198}\text{Hg}$  atommagok  $\gamma$ -sugárzásának köszönhető. A pozitív forgásirány esetével összehasonlítva, az effektus a negatív forgásirány esetében fennálló kedvezőtlenebb geometriai viszonyok miatt kisebb mértékű. A szaggatott vonal a mért adatok egy olyan lehetséges analízisét mutatja, ami összhangban van az elméleti számításokkal.



<sup>6</sup> Philip Burton Moon (1907–1994) angol fizikus.

1. táblázat

## A 3. ábrán bemutatott mérési eredmények értékelése útján kapott adatok

mérési körülmény	magrezonancia-fluoreszcencia effektus mértékét jellemző viszonzyszám
higany helyett réz mint szóró közeg (alapvonal meghatározása)	$0,998 \pm 0,005$
negatív forgásirány	$1,005 \pm 0,005$
pozitív forgásirány (1)	$1,007 \pm 0,008$
pozitív forgásirány (2)	$1,015 \pm 0,006$

A magrezonancia-fluoreszcencia effektus mértékét jellemző viszonzyszám jelen esetben nem más, mint a  $4 \times 10^4$  cm/s-nál nagyobb sebességű forrás esetében – adott időtartam alatt – mérhető beütésszám értékek átlagának és az e sebességnél kisebb sebességű forrás esetében mérhető beütésszám értékek átlagának hányadosa.

Vajon Moon  $^{198}_{80}\text{Hg}$  izotóppal elvégzett kísérletében az emissziós és az abszorpciós spektrumok egymáshoz képest való eltolódását mechanikai mozgás helyett a forrás egyszerű hevítésével is kompenzálni lehetett volna? A kérdésre újra az (1) és (2) kifejezések segítségével találhatjuk meg a választ. A  $^{198}_{80}\text{Hg}$  izotóp tömegét és a megfelelő magátmenet energiáját az (1) kifejezésbe behelyettesítve a  $^{198}_{80}\text{Hg}$  atommag visszalökődési energiájára  $E_R \approx 0,455$  eV adódik. Ha a  $^{198}_{80}\text{Hg}$  izotópot  $\beta$ -bomlás útján termelő  $^{198}_{79}\text{Au}$  forrást annak olvadáspontjára ( $T_{\text{olv.}} \approx 1337,33$  K) hevítjük, akkor a (2) kifejezés szerint a forrásban a Doppler-kiszélesedés mértéke  $D_{\text{forrás}} \approx 0,324$  eV. A 300 K hőmérsékletűnek feltételezett higany abszorbensben a Doppler-kiszélesedés ugyanakkor  $D_{\text{abszorbens}} \approx 0,153$  eV. Láthatjuk, hogy ebben az esetben a Doppler-kiszélesedés mértéke a visszalökődési energia nagyságrendjébe esik, ezért a magrezonancia-fluoreszcencia jelensége várhatóan a forrás hevítése útján is kimutatható.

Moon eredményeinek megjelenését követően Malmfors<sup>7</sup> valóban sikerrel végezte el ezt a kísérletet [8]. Malmfors az 1000–1100 °C hőmérsékletűre hevített  $^{198}_{79}\text{Au}$  forrásban képződő  $^{198}_{80}\text{Hg}$  atommagok által kibocsátott 0,411 MeV energiájú  $\gamma$ -sugárzás szórásának mértékét folyékony higany és ólom (mint összehasonlítási alap) szóró közegek esetében vizsgálta, és a várakozásokkal összhangban azt találta, hogy – azonos feltételek mellett – higany alkalmazása esetén a szórt  $\gamma$ -kvantumok száma rendre nagyobb, mint ólom szóró közeg esetén.

Egy évvel Malmfors cikkének megjelenését követően, 1953-ban elindult az eseményeknek egy olyan láncolata, ami végeredményben egy mindaddig elérhetetlenül nagy pontosságú, magrezonancia-fluoreszcencia jelenségére épülő (mag)spektroszkópiai mérési módszer (mai nevén a Mössbauer-spektroszkópia) felfedezéséhez vezetett: a Münchener Műszaki Egyetem fizika professzora, Maier-Leibnitz,<sup>8</sup> az egyetem egyik

diploma előtt álló 24 éves (azaz 1929-ben, a nevezetes Kuhn-féle cikk megjelenésének évében született) fizikus növendéke, bizonyos Mössbauer<sup>9</sup> számára diplomamunka gyanánt azt javasolta, hogy tanulmányozza a magrezonancia-fluoreszcencia effektust egy – ebből a szempontból – addig még nem vizsgált izotóp esetében a Malmfors által leírt módszer [8] alkalmazásával. Mivel az  $^{191}_{76}\text{Os}$   $\beta^-$ -bomlása útján keletkező  $^{191}_{77}\text{Ir}$  129 keV energiájú gerjesztett állapotának közepes élettartama nem volt még ismert, Mössbauer ezt az izotópot és az általa kibocsátott megfelelő – 129 keV energiájú kvantumokat tartalmazó –  $\gamma$ -sugárzást választotta kísérletei elvégzéséhez. Diplomamunkája keretében Mössbauer 12 proporcionális számlálót épített, amelyek együttesen ~5% valószínűséggel voltak képesek detektálni a 129 keV energiájú  $\gamma$ -kvantumokat. Ez ugyan a proporcionális számlálók között akkor világrekordnak számított, azonban elégtelen volt a keresett effektus kimutatásához.

1955 májusában, diplomamunkája befejezése után, Mössbauer lehetőséget kapott arra, hogy az  $^{191}_{77}\text{Ir}$  izotóppal kapcsolatos kísérleteket – doktori munkája keretében – Heidelbergben, az Orvosi Kutatások Max Planck Intézetének alegységéeként működő Fizikai Intézetben folytassa. A Münchener Műszaki Egyetemenél sokkal jobb kutatási – és anyagi – feltételeket biztosító Fizikai Intézetben Mössbauer hozzájutott a méréseihez megfelelő pontosságot biztosító elektronikai egységekhez, és a proporcionális detektorokat is hamar lecserélte a 129 keV energiájú  $\gamma$ -kvantumokat közel 100% valószínűséggel detektáló NaI(Tl) szcintillációs detektorra.

Malmfors és Moon kísérleteivel ellentétben azonban Mössbauer – a nagyobb mértékű effektus reményében – nem a szórt magrezonancia-fluoreszcencia sugárzás intenzitását mérte, hanem a magrezonancia-abszorpció mértékét vizsgálta: az  $^{191}_{76}\text{Os}$  izotópot tartalmazó, 65 mCi aktivitású forrás által kibocsátott 129 keV energiájú  $\gamma$ -kvantumok útjába egyszer természetes irídiumot, másszor – összehasonlítási alapként – platinát ( $_{78}\text{Pt}$ ) helyezett, és az ezen abszorbensek által átengedett  $\gamma$ -kvantumok számát detektálta a forrás hőmérsékletének függvényében.

Ahhoz, hogy az  $^{191}_{77}\text{Ir}$  atommag 129 keV energiájú állapotának közepes élettartamát meghatározza, Mössbauernek két különböző hőmérsékleten kellett méréseket végezni. Az (1) és (2) formulák alapján a szóban forgó magátmenet esetén az  $^{191}_{77}\text{Ir}$  mag visszalökődési energiája és a szobahőmérsékleti Doppler-kiszélesedés mértéke közelítőleg azonos ( $D \approx E_R \approx 0,05$  eV), ezért az emissziós és abszorpciós spektrumok átfedése már szobahőmérsékleten tartott forrás és abszorbens esetében is jól kimutatható mértékű magrezonancia-abszorpciót eredményez. A második mérési hőmérsékletet illetően Mössbauer választót előtt állt: vagy – Malmfors kísérleteihez hasonlóan – a forrás és/vagy abszorbens hevítése útján növeli a Doppler-kiszélesedés (és ezzel egyidejűleg a magre-

<sup>7</sup> Karl Gustav Malmfors (1919–1970) svéd fizikus.

<sup>8</sup> Heinz Maier-Leibnitz (1911–2000) német fizikus.

<sup>9</sup> Rudolf Ludwig Mößbauer (1929. január 31.) Nobel-díjas (1961) német fizikus.



zonancia-abszorpció) mértékét, vagy a forrás és/vagy abszorbens hűtése útján csökkenti azt. Mivel Mössbauer számára jóval egyszerűbbnek tűnt a forrás és abszorbens hűtése, mint hevítése, ezért úgy döntött, hogy – a Heidelbergben rendelkezésére álló folyékony levegő segítségével – a második mérést a szobahőmérsékletnél alacsonyabb, ~88 K hőmérsékletű forrás és abszorbens alkalmazása útján végzi el.

Az alacsony hőmérsékleti kísérletek azonban kezdetben értelmezhetetlen eredményekre vezettek, amelynek okát Mössbauer az abszorbens hűtésével együttjáró bizonyos zavaró effektusokban (pl. az abszorbens térfogatának változásában) vélte felfedezni. Ennek megfelelően a további mérések során csak a forrás hőmérsékletét csökkentette, az irídium és platina abszorbenseket pedig szobahőmérsékleten tartotta. Ily módon valóban sikerült kimutatnia a magrezonancia-abszorpció mértékének csökkenését a szobahőmérsékleten tartott forrás esetéhez képest,<sup>10</sup> és eredményei alapján az  $^{191}\text{Ir}$  atommag 129 keV energiájú állapotának közepes élettartamát  $(1,0_{-0,2}^{+0,4}) \times 10^{-10}$  s értékűnek találta [1].

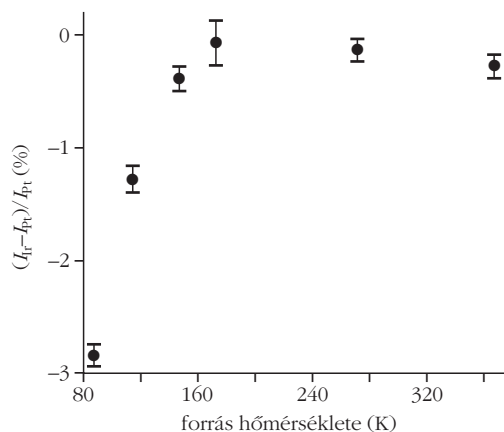
Bár doktori munkáját ezzel az eredménnyel akár le is zárhatta volna, Mössbauer utána kívánt még járni az abszorbens hűtésekor észlelt anomáliáknak is: az irídium és platina abszorbenseket ezúttal 88 K hőmérsékletűre hűtötte, és a korábbi kísérletekhez hasonlóan, a magrezonancia-abszorpció mértékét a forrás hőmérsékletének függvényében vizsgálta. Az ekkor kapott eredmények azonban gyökeresen ellentmondtak a várakozásoknak: az irídium abszorbens esetében a forrás hőmérsékletének csökkentése a magrezonancia-abszorpció mértékének növekedését – és nem csökkenését – vonta maga után (4. ábra).

A nem várt eredmény lehetséges okai után kutatva Mössbauer kikérte egy neves heidelbergi professzor, Jensen<sup>11</sup> véleményét, aki azonban „mindössze” azzal a tanáccsal szolgált, hogy „bármilyen különös is történik, annak benne kell lennie Lamb cikkében”. (Jensen professzornak a lényegét tekintve igaz volt: ennél jobb tanácsot talán nem is adhatott volna.) A szóban forgó, Lamb<sup>12</sup> által 1939-ben publikált cikket [9] Mössbauer ekkor már ismerte: egyike volt ez annak a négy publikációnak, amelyeket Maier-Leibnitz bocsátott a rendelkezésére még 1953-ban. Lamb munkájában nem  $\gamma$ -kvantumok, hanem neutronok szilárdtestekben történő abszorpciójával foglalkozik, és azt vizsgálja elméleti úton, hogy a szilárdtest rácsában kötött atomok (illetve atommagok) – rácsrezgések által befolyásolt – neutronabszorpció-spektruma mennyiben tér el az ugyanolyan atomokból álló, de gáz halmazállapotú anyag megfelelő spektrumától.

<sup>10</sup> A vizsgált magátmenet viszonylag nagy energiája miatt a – később felfedezett – visszalökődésmentes magrezonancia-abszorpció valószínűsége a szobahőmérsékleten tartott irídium abszorbensben olyan alacsony mértékű, hogy azt Mössbauer ezekben a kísérletekben – még – nem észlelhette.

<sup>11</sup> Johannes Hans Daniel Jensen (1907–1973) Nobel-díjas (1963) német fizikus.

<sup>12</sup> Willis Eugene Lamb (1913) Nobel-díjas (1955) amerikai fizikus.



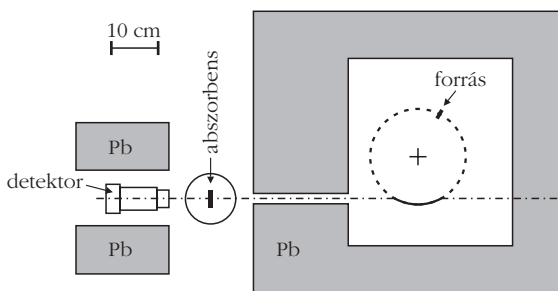
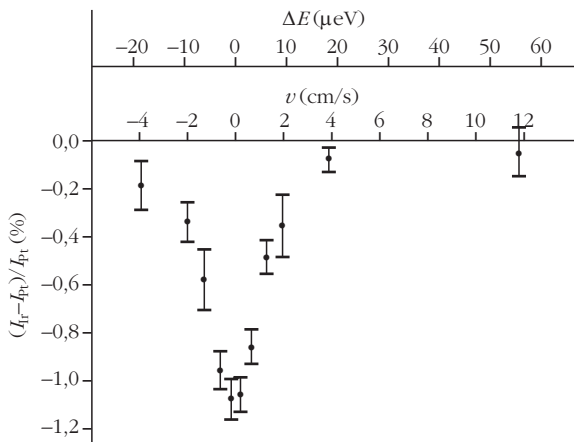
4. ábra. Az irídium és platina abszorbensek által átengedett sugárzás intenzitásának (rendre  $I_{\text{Ir}}$  és  $I_{\text{Pt}}$ ) a platina abszorbens által átengedett intenzitás nagyságához viszonyított relatív különbsége, mint a forrás hőmérsékletének a függvénye [1]. Az abszorbensek hőmérséklete a kísérlet során 88 K volt. Nyilvánvaló, hogy – a várakozásokkal ellentétben – a forrás hőmérsékletének csökkentése jelentős mértékben növeli az abszorpció mértékét az irídium abszorbens esetében.

Miután felfigyelt rá, hogy a Lamb által levezetett formulák az egymáshoz erősen kötött atomok határesetében egy csökkenő hőmérséklettel növekvő amplitúdójú, természetes vonalszélességgel bíró abszorpció csúcs megjelenését jósolták pontosan a megfelelő magátmenetre jellemző  $E_0$  energiánál, Mössbauer úgy döntött, hogy Lamb számításait  $\gamma$ -sugárzás abszorpciójának és emissziójának esetére alkalmazva megkísérli elméletileg is alátámasztani az abszorbens hűtésekor kapott váratlan mérési eredményeket. Mössbauer próbálkozásait teljes siker koronázta: sikerült kimutatnia, hogy a szilárdtestbe ágyazott atommagok esetében a  $\gamma$ -sugárzás magrezonancia-abszorpciója / -emissziója az esetek egy részében szükségszerűen az atommag visszalökődése nélkül megy végbe,<sup>13</sup> és ezen visszalökődésmentes magrezonancia-abszorpció / -emisszió valószínűsége növekszik a hőmérséklet csökkenésével [1]. (A szóban forgó valószínűséget ma Mössbauer–Lamb-faktornak nevezik.)

Mössbauer ezzel, a kísérletei által jól alátámasztott elmélettel, lezárta doktori disszertációját, majd visszautazott Münchenbe azzal a céllal, hogy a neutronok fizikájával foglalkozzon Németország első (1957-ben a Müncheneri Műszaki Egyetemen telepített) kutató atomreaktorában. Három hónap elteltével, amikor a doktori munkája során elért eredményeket összefoglaló – német nyelvű – cikk [1] megjelent, Mössbauer rádöbben, hogy Heidelbergben nem végezte el a felfedezésével kapcsolatos legfontosabb kísérletet: nem mérte meg az irídium visszalökődésmentes magrezonancia-abszorpció spektrumát. (Azaz, mai szóhasználattal élve, az irídium Mössbauer-spektru-

<sup>13</sup> Pontosabban a  $\gamma$ -kvantum kibocsátásával egyidejűleg – az impulzusmegmaradás tétele értelmében – szükségszerűen bekövetkező visszalökődés impulzusát nem egyedül a  $\gamma$ -kvantumot kibocsátó atommag, hanem a szilárdtest egésze veszi fel. Az  $E_0$  visszalökődési energia – ami az impulzust felvevő objektum tömegével fordítva arányos – ebben az esetben elhanyagolhatóan kis mértékű, gyakorlatilag zérus.





5. ábra. Az első Mössbauer-spektrum (fölül) és felvételének körülményei (alul) [2]. A forrás  $v$  sebessége és a  $\Delta E$  Doppler-eltolás között a  $\Delta E = E_\gamma v/c$  összefüggés teremt kapcsolatot, ahol  $E_\gamma \approx 129$  keV,  $c$  pedig a fénysebesség. A mérés során mind a forrás, mind pedig az abszorbens hőmérséklete 88 K volt.

mát.) A visszalökődésmentes  $\gamma$ -emisszió és magrezonancia-abszorpció esetében ugyanis a megfelelő emissziós és abszorpciós spektrumok nem szenvednek sem – az 1. ábrán bemutatotthoz hasonló – eltolódást, sem Doppler-kiszélesedést, így az – egymással pontosan átfedő – emissziós, illetve abszorpciós csúcsok rendkívül keskenyek, mindössze a megfelelő magátmenet természetes vonalszélességével (az  $^{191}\text{Ir}$  129 keV energiájú átmenete esetén ez mindössze  $\Gamma \approx 10^{-5}$  eV) megegyező félértékszélességgel bírnak. Ez pedig lehetővé teszi a visszalökődésmentes magrezonancia-abszorpció spektrumának rendkívüli (jelen esetben  $\Gamma/E_\gamma \leq 10^{-10}$ ) relatív pontossággal történő kísérleti meghatározását Moon módszerének [7] alkalmazásával, azaz a forrásnak az abszorbenshez képest való mozgatásával.

Mössbauer a rendkívüli eredménnyel kecsegtető kísérlet elvégzése érdekében visszasietett Heidelbergbe, ahol azonban pánikba esett, mikor rádöbbedt, hogy két legjelentősebb riválisa, Moon és Metzger<sup>14</sup> számára korábban másolatot küldött a doktori munkájának eredményeit bemutató – német nyelvű – cikkből. Lévén ugyanis, hogy mindketten kiváló ismerői a forrás mozgatása útján létrehozott magrezonancia-fluoreszcencia kísérleteknek, a Mössbauer által közölt eredmények alapján már könnyen felismerhették annak lehetőségét és jelentőségét, hogy a visszalökődésmentes magrezonancia-abszorpció spektruma

a Doppler-kísérlet útján megmérhető. Moon professzor miatt Mössbauer kevésbé aggódott: meglehetősen biztos volt benne, hogy Moon – a svájci származású Metzgerrel ellentétben – nem tud németül. Azonban a Birminghami Egyetem Fizika Tanszékén a Moon professzorával szomszédos szobában ez idő tájt a német emigráns Peierls<sup>15</sup> dolgozott, Moon pedig azonnal hozzá fordult Mössbauer német nyelven közölt eredményeivel kapcsolatban. Peierls viszont, Mössbauer szerencséjére, úgy vélte, hogy az eredmények hibásak, így Moon nem kezdett hozzá a megfelelő Doppler-kísérlet elvégzéséhez. Metzger, bár felvette a kapcsolatot Mössbauerrel a számítások bizonyos részletkérdései kapcsán, szintén nem gondolt a Doppler-kísérlet elvégzésére. [10]

Moon kísérleteivel ellentétben, ahol a forrás – több száz m/s sebességgel történő – mozgatásának célja az – elektronvolt nagyságrendű –  $E_R$  visszalökődési energia kompenzálása volt, a visszalökődésmentes magrezonancia-abszorpció spektrumának felvételekor a forrás mozgatásának célja az egymással szinte pontosan átfedő emissziós és abszorpciós spektrumok átfedésének, és ezzel a visszalökődésmentes magrezonancia-abszorpció bekövetkezési valószínűségének csökkentése. Ehhez viszont a forrást elegendő az  $^{191}\text{Ir}$  természetes vonalszélességének megfelelő, mindössze cm/s nagyságrendű sebességgel mozgatni. Bár ekkora sebességek elérése könnyen kivitelezhető egy forgótányér segítségével, a különböző sebességértékek beállításához szükséges fogaskerekeket a Heidelbergben rendelkezésre álló mechanikai műhely csak több hetes munkával tudta volna kellő számban legyártani. Mössbauer ezért a forrást mozgató berendezést végül heidelbergi játékboltokból beszerzett fogaskerekek segítségével állította össze.

A Mössbauer által alkalmazott mérési elrendezés, és a segítségével sikeresen felvett spektrum – az első Mössbauer-spektrum – az 5. ábrán látható: az emissziós spektrumnak az abszorpciós spektrumhoz képest történő eltolódása – történjen az akár a kisebb, akár a nagyobb energiaértékek felé – a visszalökődésmentes magrezonancia-abszorpció valószínűségének csökkenéséhez vezet. Az így kialakuló (Lorentz-görbe alakú) abszorpciós csúcs félértékszélessége az elmélet szerint a  $\Gamma$  természetes vonalszélesség duplája, így a mért spektrum Mössbauer számára lehetővé tette, hogy az  $^{191}\text{Ir}$  129 keV energiájú gerjesztett állapotának  $\Gamma$  természetes vonalszélességét és  $\tau = \hbar/\Gamma$  közepes élettartamát közvetlenül is meghatározza.

Amellett, hogy e kísérletével Mössbauer egy új eljárást fedezett fel az alacsony gerjesztési energiájú magállapotok természetes vonalszélességének és közepes élettartamának meghatározására, egyben egy rendkívüli pontosságú spektroszkópiai anyagvizsgálati módszer alapjait is megteremtette. Az atommag valamely energiaállapotának energiája ugyanis az atommag kémiai környezetének is függvénye, így utóbbi – közvetve – az atommag energiaállapotainak energiájában

<sup>14</sup> Franz R. Metzger (1918) svájci származású amerikai fizikus.

<sup>15</sup> Sir Rudolf Ernst Peierls (1907–1995) német származású brit fizikus.

bekövetkező változások vizsgálata útján is tanulmányozható. Erre pedig a Mössbauer által felfedezett módszer – rendkívüli energiafelbontása miatt – igen nagy pontossággal nyújt lehetőséget.

Miután tisztában volt felfedezésének jelentőségével és az annak révén megnyíló új lehetőségekkel, eredményét Mössbauer lehetőleg „feltűnés nélkül” szeretne volna publikálni annak érdekében, hogy még riválisai előtt felderíthesse és kiaknázhassa a módszerben rejlő további lehetőségeket. Korábbi témavezetőjétől – ennek kapcsán – azt a tanácsot kapta, hogy eredményeit a *Naturwissenschaften* című folyóiratban, a Max Planck Társaság hetente megjelenő tudományos kiadványában közölje.<sup>16</sup> A német nyelven írt, alig egy hasáb terjedelmű cikk [2] 1958-as megjelenését követően azonban már az első héten 260-an jelezték Mössbauer számára, hogy szeretnének másolatot kapni a publikációból. Így bár Mössbauer az irídiummal elvégzett sikeres kísérletet követően azonnal lépéseket tett annak irányába, hogy módszerét az alkalmazások szempontjából legígéretesebb tulajdonságokkal rendelkező atommag, az 57-es tömegszámú vas atommag esetére is alkalmazza, az első <sup>57</sup>Fe Mössbauer-spektrum felvétele már mások nevéhez fűződik.  $\gamma$ -kvantumok visszalökődésmentes magrezonancia-abszorpciójára, illetve -emissziójára azonban az 1960-ban megjelenő kapcsolódó publikációk jelentős része már „Mössbauer-effektus” megjelöléssel utal.

Mössbauer módszere (mai nevén a Mössbauer-spektroszkópia) a kutatók előtt egy olyan új ablakot nyitott a természetre, amelyen keresztül egyes atommagok alacsony energiájú állapotainak tanulmányozására azelőtt soha nem látott részletességgel nyílt lehetőség. Az a

<sup>16</sup> Az 1913-ban alapított *Naturwissenschaften* egyike a legnagyobb presztízsű német nyelvű tudományos folyóiratoknak.

kísérlet pedig, amelynek során a <sup>57</sup>Fe Mössbauer-spektroszkópia módszerének segítségével Pound<sup>17</sup> és Rebka<sup>18</sup> sikerrel mutatta ki az Einstein-féle általános relativitáselmélet által megjósolt gravitációs vöröseltolódás jelenségét [11], világszerte felhívta a figyelmet a Mössbauer által felfedezett effektus jelentőségére.

Mössbauer a róla elnevezett effektus felfedezéséért 1961-ben elnyerte a fizikai Nobel-díjat: „for his researches concerning the resonance absorption of gamma radiation and his discovery in this connection of the effect which bears his name” [12].

## Irodalom

1. Mössbauer R. L.: Kernresonanzfluoreszenz von Gammastrahlung in Ir<sup>191</sup>. *Zeitschrift für Physik* 151 (1958) 124.
2. Mössbauer R. L.: Kernresonanzabsorption von Gammastrahlung in Ir<sup>191</sup>. *Die Naturwissenschaften* 45 (1958) 538.
3. Wood R. W., Moore J. H.: The Fluorescence and Absorption Spectra of Sodium Vapor. *Philosophical Magazine* 6 (1903) 362.
4. Kuhn W.: Scattering of Thorium C<sup>γ</sup> radiation by Radium G and Ordinary Lead. *Philosophical Magazine* 8 (1929) 625.
5. Kuzmann E., Homonnay Z., Nagy S., Nomura K.: Mössbauer spectroscopy. In: Vértes A., Nagy S. Klencsár Z. (szerk.): *Handbook of Nuclear Chemistry*. Vol. 3, 109–187., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2003.
6. <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/>
7. Moon P. B.: Resonant Nuclear Scattering of Gamma-Rays: Theory and Preliminary Experiments. *Proceedings of the Physical Society A* 64 (1951) 76.
8. Malmfors K. G.: Nuclear resonance scattering of gamma-rays. *Arkiv för Fysik* 6/5 (1952) 49.
9. Lamb, W. E. Jr.: Capture of Neutrons by Atoms in a Crystal. *Physical Review* 55 (1939) 190.
10. Mössbauer R. L.: The discovery of the Mössbauer effect. *Hyperfine Interactions* 126 (2000) 1.
11. Pound R. V., Rebka G. A. Jr.: Apparent weight of photons. *Physical Review Letters* 4 (1960) 337.
12. [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1961/](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1961/)

<sup>17</sup> Robert Vivian Pound (1919) kanadai születésű amerikai fizikus.

<sup>18</sup> Glen Anderson Rebka amerikai fizikus.

## SZUPERNEHÉZ ELEMEK

Szupernehéz atommagok szintéziséhez és vizsgálatához alapvető érdekek fűződnek mind az atommagfizika, mind a kémia oldaláról. A legnehezebb atommagok olyan laboratóriumot alkotnak, ahol nagyon erős Coulomb-taszítás körülményei között vizsgálhatók a magszerkezet, bomlás és reakciók sajátosságai. Extrém körülmények között alaposabban megismerhetjük a magerők sajátosságait és teljesen váratlan jelenségek is felbukkanhatnak. Nyitott kérdés, hogy milyen rendszám- és tömegszámhatárig létezhetnek atommagok kötött állapotban.

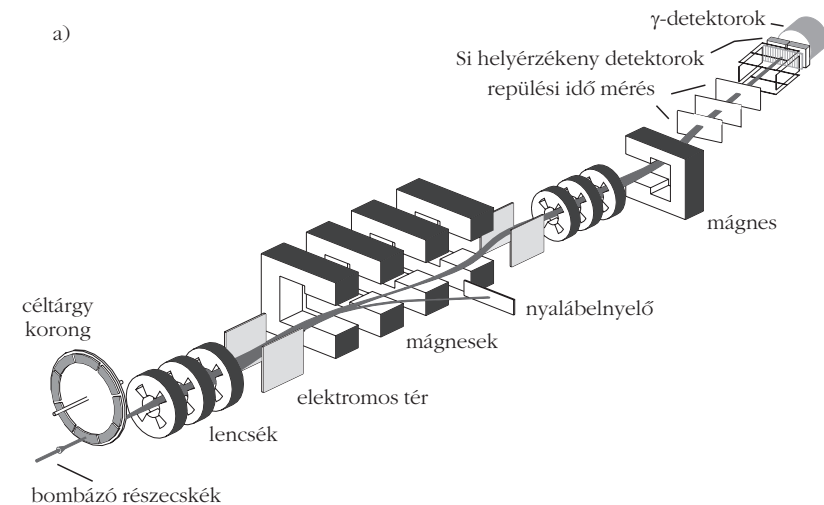
Az egyszerű folyadékcseppmodellre alapozott számítások szerint az atommagok stabilitása a  $Z = 100$ – $106$  rendszám körül megszűnik, mivel a protonok közötti hosszú hatótávolságú Coulomb-taszítás ekkor felülmúlja a nukleonok közötti vonzó, rövid hatótávolságú erős kölcsönhatást. Extra stabilitás származ-

hat azonban héjlezárodások miatt. A makroszkopikus-mikroszkopikus modellek (pl. a véges hatótávolságú cseppmodell, a FRDM [1])  $Z = 114$ ,  $N = 184$ -nál (a)héjlezárodásokat jeleznek. Önkonzisztens átlagtérszámítások is végezhetők, mind nem-relativisztikus, mind relativisztikus közelítésben. A legtöbb nem-relativisztikus átlagtérszámítás  $Z = 124$  vagy  $126$ ,  $N = 184$  esetében, a relativisztikus  $Z = 120$ ,  $N = 172$  körül széles tartományban héjstabilizációs hatást jelez.

## A transzurán és szupernehéz elemek előállítása

A <sup>93</sup>Np-tól a <sup>98</sup>Cf-ig terjedő transzurán elemek, valamint a <sup>101</sup>Md felfedezése (n,γ), illetve (α,n) reakciók segítségével történt. A vizsgálatokhoz nehéz aktinida céltárgyakat használtak, amelyek többségét reaktor-

Fényes Tibor  
MTA ATOMKI, Debrecen



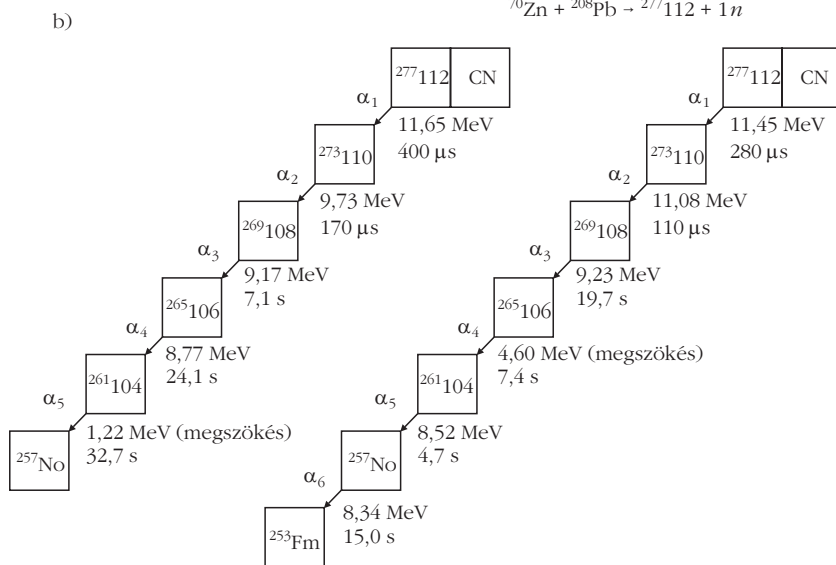
ion-reakciók viszonylag kis gerjesztési energiájú közbenső atommaghoz vezetnek. Neutron kibocsátása után a végtermék  $\alpha$ -emisszióval bomlik és az  $\alpha$ -bomláslánc lehetőséget ad a termék azonosítására. Így sikerült azonosítani hat új elemet a  $^{107}\text{Bh}$ -tól a 112-es rendszámúig (Uub, ununbium). Az elemek előállításához az 1.a ábrán látható berendezést használták a darmstadti GSI (Gesellschaft für Schwerionenforschung) laboratóriumában, Németországban. A bombázó nehézionnyaláb egy forgatható korongon lévő céltárgyra esik, ami a bombázó nyaláb időszerkezetével szinkronban forog. A fókuszáló lencsék után a nehézionnyaláb és a céltárgyból kiütött reakciótermékek egy elektromos és mágneses tereket tartalmazó sebességszűrőbe kerülnek. Mivel a termékek sebessége jóval kisebb, mint a bombázó részecskéké, a nyaláb elkülöníthető.

Az észlelőrendszer két repülési időt mérő detektorból, az alfa-részecskék energiáját mérő helyérzékeny Si-detektorokból, valamint  $\gamma$ -detektorokból áll. Az új elemeket rendszám és neutronszám szerint a hosszú  $\alpha$ -bomláslánc alapján azonosítják, amelyek már ismert atommagokat is tartalmaznak.

A 1.b ábrán a  $^{277}112$  új elem, illetve atommag azonosításához vezető két  $\alpha$ -bomláslánc látható. Minden eseményt egyedi bomlásként regisztráltak. A kísérlet rendkívüli nehézségét jelzi, hogy a  $^{70}\text{Zn} + ^{208}\text{Pb} \rightarrow ^{277}112 + 1n$  reakció hatáskeresztmetszete csak 1 pb (azaz  $10^{-36} \text{ cm}^2$ ) körül van; mintegy két esemény regisztrálható 24 óras besugárzás során.

A japán RIKEN programban  $^{70}\text{Zn} + ^{209}\text{Bi} \rightarrow ^{278}113 + 1n$  hideg fúziós reakcióval sikerült a  $Z = 113$ -as, ununtrium (Uut) elem 278 tömegszámú izotópját is előállítani; az  $\alpha$ -bomláslánc ismert Bh és Db izotópokhoz vezetett.

A supernehéz elemek előállításában áttörő sikert eredményezett a  $^{48}\text{Ca}_{28} + \text{aktinida céltárgy forró fúziós reakció}$  használata. A  $^{48}\text{Ca}$  erősen neutrontöbbletes és kétszeresen mágikus atommag, amivel a  $^{90}\text{Th} - ^{98}\text{Cf}$  elemek hosszú felezési idejű izotópjait bombázva sikerült előállítani a  $Z = 114$  (Uuq, ununquadium),  $Z = 115$  (Uup, ununpentium),  $Z = 116$  (Uuh, ununhexium) és  $Z = 118$  (Uuo, ununoctium) elemek különböző izotópjait (2. ábra). Az előállítási hatáskeresztmetszete a 114, 116 rendszámú elemekre néhány pb nagyságrendben vannak; a 35–50 MeV-re gerjesztett közbenső atommagból 3–5 neutron lép ki.



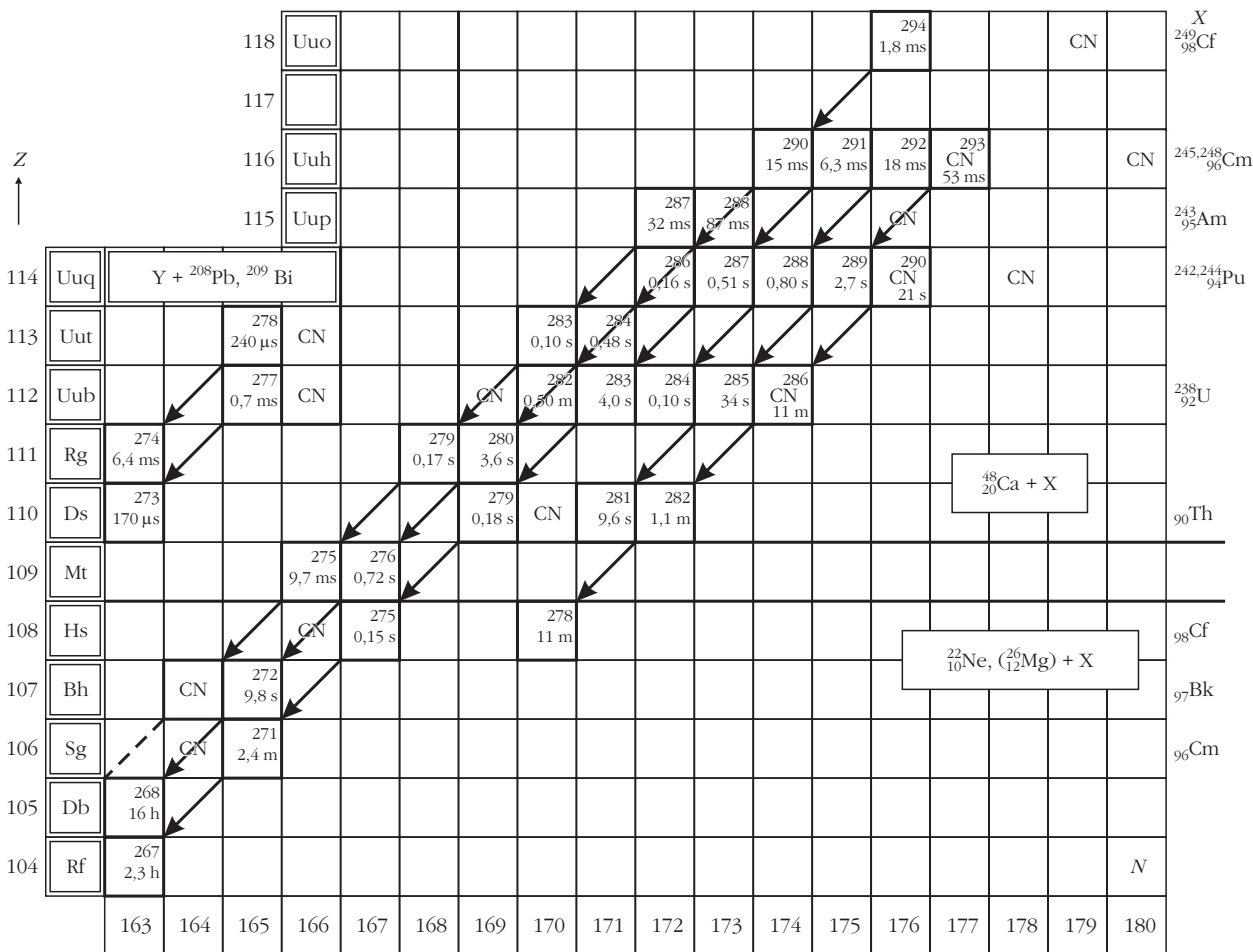
1. ábra. a) A SHIP-94 berendezés távoli transzurán elemek előállítására és vizsgálatára. [2] alapján. b) A  $^{277}112$  izotóp azonosítása  $\alpha$ -bomlásláncon keresztül. Az ábrán az észlelt  $\alpha$ -részecske energiák és az élettartamok is fel vannak tüntetve (nem a felezési idők!). Az élettartamok ingadozása a bomlás statisztikus jellegéből következik, az  $\alpha$ -részecske energiák kis különbözősége az  $\alpha$ -bomlás komplex jellegére utal. CN közbenső atommagot jelöl, a „megszökés” pedig azt jelenti, hogy az  $\alpha$ -részecske energiájának csak egy részét adta le a detektorban. A  $^{273}110$  atommagnak két izomer állapota van; itt az  $\alpha$ -részecske energiákban és élettartamokban nagyok a különbségek a két bomlásláncban. [3] alapján.

ban állították elő intenzív neutronbesugárzással. Az  $^{99}\text{Es}$  és  $^{100}\text{Fm}$  elemeket először a *termonukleáris robbanás maradványaiban* sikerült azonosítani.

A további supernehéz elemek előállításához már nehézion-reakciókat kellett felhasználni. A  $^{102}\text{No}$ -tól a  $^{106}\text{Sg}$ -ig terjedő öt transzurán elemet „forró” fúziós reakcióval szintetizálták. Ezekben az azonosított atommag az erősen gerjesztett közbenső atommagból több neutron kibocsátása után állt elő, például a  $^{263}\text{Sg}$  a  $^{249}\text{Cf}(^{18}\text{O}, 4n)^{263}\text{Sg}$  reakcióból.

Mivel az erősen gerjesztett közbenső atommagban a hasadás valószínűsége nagy, a további elemek előállításához célszerű volt „hideg” fúziós reakciókat használni. Ezeknél zárt (vagy közel zárt) héjakkal rendelkező céltárgymagokból indulnak ki (pl. a  $^{82}\text{Pb}_{126}$  vagy  $^{83}\text{Bi}_{126}$  atommagokból), mivel így a nehéz-





2. ábra. Az ismert izotópok a  $Z > 103$ ,  $N > 162$  tartományban. Az izotópokat vastag keret jelöli a  $Z$  rendszám,  $N$  neutronszám síkban. Az  $Y + {}^{208}\text{Pb}$ ,  ${}^{209}\text{Bi}$  hideg, valamint a  ${}^{48}\text{Ca} + X$  és  ${}^{22}\text{Ne}$ ,  ${}^{26}\text{Mg} + X$  forró összeolvadási reakciók közbelső atommagjait CN betűk jelzik. A nyilak az  $\alpha$ -bomlás irányát mutatják. [4] alapján, kiegészítve az újabb adatokkal.

A párolgási reakció termékeit a dubnai gáztöltésű szeparátorral (vagy a sebességszűrő VASSILISSA berendezéssel) választották el egymástól és a nyalábtól. A munka Dubna, Egyesített Atommagkutató Intézet – Lawrence Livermore Nemzeti Laboratórium, illetve Dubna – GSI együttműködésben folyt a dubnai U-400 nehézion-gyorsítón. A  $Z = 114$ – $118$  elemek bomlásláncai nem vezettek már ismert izotópokhoz, ezért azonosításukhoz további mérések voltak szükségesek: gerjesztési függvények felvétele keresztező reakciókból, kémiai azonosítások stb.

A dubnai gáztöltésű szeparátor vázlatrajza a 3.a ábrán látható. A céltárgyból kilépő részecskék (céltárgyszerűek és a fúziós-párolgási reakció termékei) átlagtöltésre tesznek szert a fékező  $\text{H}_2$  gázban. A dipólmágnes eltéríti mind a bombázó részecskéket, mind a reakciótermékeket a

$$\langle Br \rangle = \frac{mv}{\langle q \rangle}$$

képlet szerint, ahol  $\langle Br \rangle$  az átlagos mágneses merevség,  $m$  a részecske tömege,  $v$  a sebessége,  $\langle q \rangle$  az ion átlagos töltése. A  $\langle Br \rangle$  értékek  $\text{H}_2$  gázban különbözők lesznek a bombázó részecskékre, a céltárgyszerű és fúziós párolgási termékekre. Így  $>10^{16}$  rendű háttér-

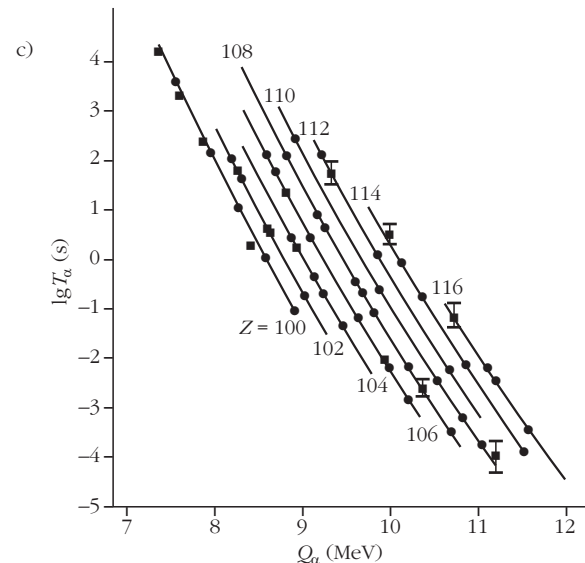
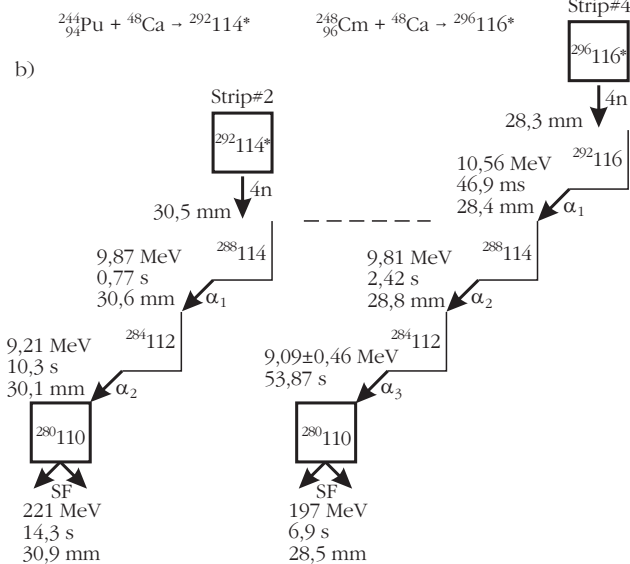
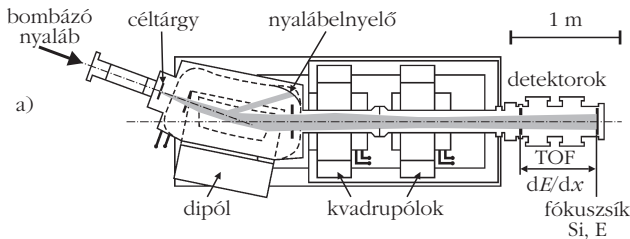
lenyomás érhető el a bombázó nyalábra és  $>10^5$  rendű a nem teljes fúzió reakciótermékeire. Repülési idő mérésével meghatározták a részecskék sebességét, a  $v$ -t. A  $\langle q \rangle$  átlagtöltés az ion rendszámával ( $Z$ ) a következő összefüggésben van:

$$\langle q \rangle \approx v Z^\alpha,$$

ahol  $\alpha$  kísérletileg meghatározható. (Ez az összefüggés a  $\langle q \rangle / Z < 0,3$  tartományban érvényes, de más tartományokban is van ismert összefüggés a  $\langle q \rangle$  és  $Z$  között.) A  $dE/dx$  mérés a rendszám meghatározásához szükséges. Méri a céltárgyból kilökött reakciótermék teljes energiáját is. Így végső fokon meghatározható a reakciótermék rendszáma és tömege. A rendszer gyűjtési határfoka a reakciótermékekre nagy (elérheti a 30–60%-ot), viszonylag egyszerű, hátránya a viszonylag alacsony tömegszelektivitás.

A 3.b ábrán a  ${}^{244}\text{Pu} + {}^{48}\text{Ca} \rightarrow {}^{288}114 + 4n$ , illetve  ${}^{248}\text{Cm} + {}^{48}\text{Ca} \rightarrow {}^{292}116 + 4n$  reakciók jellemző bomlásláncai láthatók. A szaggatott vonallal jelzett egyenes alatti bomláslánc látható akkor, ha a bombázó nyalábot lekapcsolták.

A páros-páros magok megengedett átmeneteinél a  $Q_\alpha$  bomlásenergia és a  $T_\alpha$  felezési idő között a Geiger-Nuttall-relációnak megfelelő összefüggés áll fenn. Ez



3. ábra. a) A dubnai gáztöltésű szeparátor vázlatrajza. b) A  $^{288}114$  és  $^{292}116$  szupernehéz izotópok észlelt  $\alpha$ -bomlásláncai. Az  $\alpha$ -bomlást jelző nyilak mellett az  $\alpha$ -részecske energiái, élettartamok (amelyek statisztikus ingadozást követnek), valamint a sávdetektor helye (mm-ben) vannak feltüntetve. c) A számolt (görbék) és kísérletileg mért (pontok hibákkal)  $\alpha$ -bomlási energia ( $Q_\alpha$ ) –  $\lg T_\alpha$  összefüggések páros-páros izotópokra, a  $Z \geq 100$  tartományban. A négyzetekkel jelölt adatokat  $^{48}\text{Ca} + ^{244}\text{Pu}$ , illetve  $^{48}\text{Ca} + ^{248}\text{Cm}$  reakciókból nyerték. [5] alapján.

szigorúan teljesül mind a 60 atommagnál, amelyekre adatok vannak a  $^{208}\text{Pb}$  fölött. A 3.c ábra szerint a kísérleti adatok jól illeszkednek a számított értékekhez.

A dubnai mérések igazolták a  $Z = 114$  és  $N = 184$  körül elméletileg várt stabilitási „sziget” létét. Az új,  $Z = 112, 113, 114, 115, 116$  izotópok felezési ideje általában

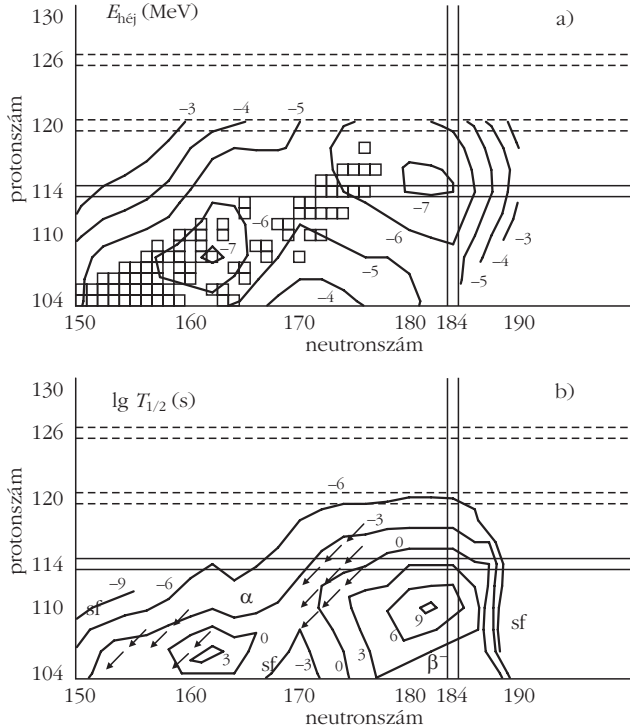
nő a neutronszám növekedésével, és az előállítási hatétkeresztmetszetek  $Z = 110$  felett egészen  $Z = 118$ -ig meglehetősen állandó, pb szinten vannak a  $^{48}\text{Ca}$  + aktinida céltergyszek összeolvadási és  $3n, 4n, 5n$  párolgási csatornáira. A 4.a ábra mutatja a számított héjkorrekciós energiákat a  $Z > 103$  elemekre, míg a 4.b ábrán az uralkodó bomlásmódra számított átlagos felezési idők láthatók, páros-páros atommagokra. (A Sztrutyinszkij-féle héjkorrekciós módszer szerint az atommag teljes energiája a héjenergia ( $E_{\text{héj}}$ ), a folyadékcsepp- és kinetikus energiák összegeként számítható, lásd [1]-ben.)

A forró fúziós reakciók egy másik csoportjában  $^{22}\text{Ne}$  és  $^{26}\text{Mg}$  ionokkal  $^{96}\text{Cm}, ^{97}\text{Bk}, ^{98}\text{Cf}$  céltergyszeket bombázva erősen neutrontöbbletes Sg, Bh, Hs izotópokat sikerült előállítani. A felezési idők elég nagyok ahhoz, hogy a kémiai sajátágaikat is vizsgálni lehessen.

### A szupernehéz atommagok szerkezetének és bomlásának vizsgálata

Az előzőekben bemutatott  $\alpha$ -sugárzási vizsgálatok viszonylag kevés információt szolgáltatnak a szupernehéz atommagok szerkezetére. Az  $\alpha$ -bomlás hasonló egyrészesecskes szerkezetű nívók között történik, szelektíven.

4. ábra. a) Számított  $E_{\text{héj}}$  héjkorrekciós energia a  $Z$  rendszám,  $N$  neutronszám síkban. A négyzetek az ismert vagy vizsgálat alatt álló atommagokat mutatják. A makroszkopikus-mikroszkopikus modell alapján számolt értékek két minimumot mutatnak: a deformált magokra  $Z = 108, N = 162$ -nél, a gömbszerű magokra  $Z = 114, N = 184$ -nél. [6] alapján. Az önkonzisztens Hartree-Fock-Bogoljubov-számítások, valamint a relativisztikus átlagtérmodellek gömbszerű magokra héjakat jeleznek  $Z = 114, 120$  és  $126$ -nál (szaggatott vonallal jelölve) és  $N = 184$  vagy  $172$ -nél. b) Uralkodó  $\alpha$ - és  $\beta$ -bomlásra, valamint spontán hasadásra (sf) vonatkozó átlagos felezési idők ( $T_{1/2}$ ) páros-páros atommagokra. A bomlásláncai a jelenleg ismert vagy vizsgálat alatt álló atommagokat mutatják. [4] alapján.



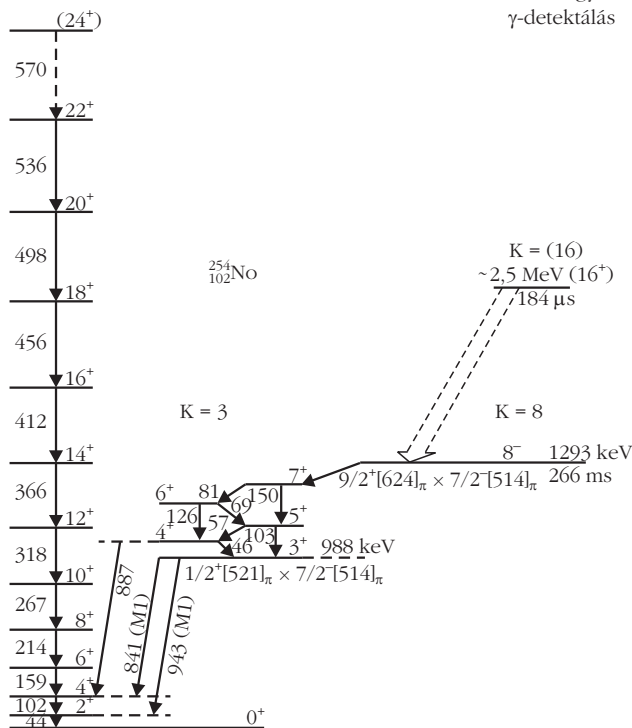
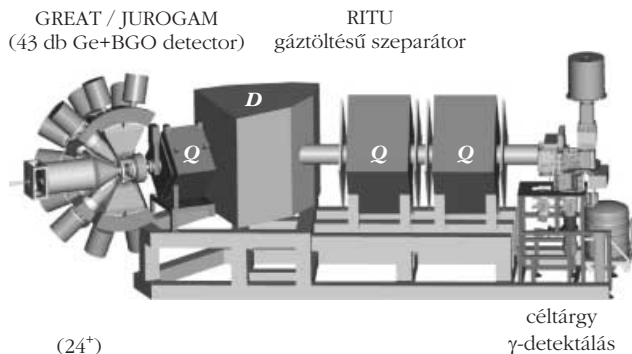
Sokkal hatékonyabb módszer a szupernehéz atommagok szerkezetének vizsgálatára az „in-beam”, azaz a nyalámban végzett  $\gamma$ -spektroszkópia. A mérés elve az, hogy a vizsgálni kívánt reakcióterméket elválasztják a bombázó nyalábtól, valamint a többi nem kívánt hasadási és egyéb reakcióterméktől, majd a szeparátor fókuszsíkjában azonosítják. A prompt  $\gamma$ -sugárzást a céltárgy mellett mérik, de csak a vizsgált atommag fókusz-síkba érkezésével korreláltan, kihasználva a jellemző repülési időt. A módszert sikeresen alkalmazták már olyan esetekben is, amikor a vizsgálni kívánt atommagra a hatáskeresztmetszet mindössze  $\geq 20$  nb volt.

Egy másik, hatékony magszerkezet vizsgálati módszer a szeparátor fókuszsíkjában való mérés az  $\alpha$ -bombást követően. Ennél a prompt sugárzást nem detektálják, így a háttérterhelés jóval kisebb. A mérések néhány pb előállítási hatáskeresztmetszetek esetén is sikerrel elvégezhetőek, intenzív bombázó nyalábok mellett. A reakcióterméket Si sávdetektorba implantálják, ami nagy hatásfokú detektálást biztosít az  $\alpha$ -,  $p$ -, konverziós elektron- és röntgensugárzásokra. A berendezés kiegészítő fejlett  $\gamma$ -spektroszkópiai mérőberendezésekkel is.

Mind a bombázó nyalámban, mind a tömegszeparátor fókuszsíkjában való mérést lehetővé teszi a Jyväskyläben létrehozott mérőrendszer, amelynek vázlatos rajza az 5. ábrán látható.

A jyväskylai ciklotronból kihozott nehézionnyalábot a vizsgálatához felhasználandó céltárgyra vezetik és a fellépő  $\gamma$ -sugárzást a besugárzás alatt Ge-detektorokkal regisztrálják. A céltárgyból kirepülő részecskéket a RITU gáztöltéses tömegszeparátorban elválasztják a bombázó nyalábtól és a nem kívánt reakciótermékektől, majd a fókuszsíkban azonosítják. (Az azonosítás elvét az előzőekben ismertettük a dubnai gáztöltéses szeparátor kapcsán, 3.a ábra.) A fókuszsíkba helyezett GREAT ( $\gamma$  recoil electron  $\alpha$  tagging) spektrométer mozaikszerűen elhelyezett, nagyszámú kétoldalas Si sávdetektort tartalmaz, ezekbe implantálják a reakciótermékeket. A sávdetektorokat Si diódák veszik körül, amelyek a megszökö  $\alpha$ -részecskék és konverziós elektronok vizsgálatára szolgálnak. Közvetlen közelükben szegmentált planár Ge-detektorok biztosítják a röntgen- és lágy  $\gamma$ -sugárzás, valamint a nagyenergiájú  $\beta$ -részecskék detektálását. Végül a kamrán kívül nagy térfogatú szegmentált löhere alakú Ge detektorral vagy a JUROGAM spektrométerrel vizsgálják a kemény  $\gamma$ -sugárzást. A rendszer lényeges eleme, hogy minden adatot, minden detektorról csak 10 ns-os időszűréssel vesznek fel. Adatfeldolgozást csak a logikai időjellel szűrt analóg (energia) jelekre végeznek.

A rendszer segítségével sikerült részleteiben felépíteni a  $^{254}\text{No}_{152}$  nívórendszerét, amit a 5.b ábra mutat be. A rotációs sáv jelenléte nagy deformációt ( $\beta \sim 0,3$ ) jelez. A  $\gamma$ -sugárzás intenzitásarányaiból sikerült egyértelműen meghatározni a  $3^+$  állapot két-kvázirészecskés konfigurációját, amit a Nilsson-sémában bevett módon jelöltek [1]. A nívók konfigurációjának meghatározása fontos, mivel például a  $2f_{5/2}$  és  $2f_{7/2}$  nívópartnerek információt adnak a spin-pálya kölcsönhatásra. Ez szabja meg a  $Z = 114$ -nél várható nívórés nagysá-



5. ábra. Fölül: RITU (recoil ion transport unit) gáztöltéses szeparátor a JYFL (Jyväskylä, Finnország) laboratóriumban. A céltárgyat az in-beam méréseknél használt Ge  $\gamma$ -detektorok figyelik. A reakciótermékeket QQDQ (Q kvadrupól, D dipól) mágnesrendszerrel juttatják el a szeparátor fókuszsíkjába. A fókuszsíkban a GREAT és JUROGAM fejlett  $\gamma$ -spektrométerekkel sokoldalú magszerkezeti vizsgálatok végezhetőek. [7] alapján. Alul: a fenti berendezésekkel meghatározott  $^{254}\text{No}$  nívóséma. [8] alapján.

gát, és így elősegíti a szupernehéz elemek várható létezésének előrejelzését. Ilyen jellegű vizsgálatok igen hasznos információt szolgáltatnak az egyrészecskés és kollektív állapotokra, a rotációs állapotok hasadással szembeni ellenálló képességére stb. Lásd a [9] összefoglaló közleményt.

## A kutatások fejlődési irányai

A bombázó nyalábok intenzitásának növelésével lehetőség nyílik *Coulomb-gerjesztés vizsgálatára* is. Ez megvalósítható például úgy, hogy a vizsgálni kívánt reakcióterméket egy nagy rendszámú fólián át ejtik be az implantáló detektorba és figyelik a fellépő  $\gamma$ -sugárzás spektrumát.

Stabil ionokra a jelenleg elérhető nyalábintenzitás  $\sim 1$  részecske  $\mu\text{A}$ . Nagy intenzitású (néhányszor tíz  $\mu\text{A}$ -



es) stabil részecskenyalábok alkalmazásával a jövőben lehetőség nyílik a *gerjesztési függvények és mag szerkezet részletes vizsgálatára*, új izotópok felfedezésére. Lendületet adhat a vizsgálatoknak radioaktív bombázó nyalábok alkalmazása is. Ezek intenzitása ugyan kisebb, mint a stabil nyaláboké, de lehetővé teszi az  $N = 184$  neutronhéj megközelítését a  $Z \sim 116$ -nál könnyebb elemeknél is.

A stabilitási sziget közelében a felezési idők viszonylag nagyok (a számítások szerint  $\mu\text{s}$ -tól évekig terjedhet), ami lehetőséget ad a *legkülönbözőbb kísérleti módszerek* alkalmazására. Elkezdődhetnek a *precíziós tömegmérések ioncsapdákból, magnyomatékmérések* (pl. hasadó izomereknél), folytathatók a kémiai és atomfizikai kutatások. Kívánatos lenne, hogy a  $^{108}\text{Hs}$  feletti elemeket is el lehessen helyezni a periódusos rendszerben kémiai tulajdonságaik alapján.

## Összefoglalás

A  $^{48}\text{Ca}$  + aktinida fúziós – párolgási reakció segítségével már a  $Z = 114, 115, 116$  és  $118$  rendszámú elemek izotópjait is sikerült szintetizálni. A  $Z = 114$  rend-

szám és  $N = 184$  neutronszám körül fellépő (al)héjlezáródások megnövelik a szupernehéz atommagok stabilitását.

A bombázó nehézionnyalábok intenzitásának növelésével remény van arra, hogy a szupernehéz atommagoknál is lehessen precíziós tömeg-, magnyomaték- és magspektroszkópiai méréseket végezni.

A stabilitási sziget közelében az izotópok nagy felezési ideje már atomfizikai és kémiai vizsgálatokat is lehetővé tesz.

## Irodalom

1. Fényes T. (szerk.): *Atommagfizika*. Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, 2005.
2. Münzenberg G. és mts., *Nucl. Instr. Meth.* 161 (1979) 65. Hofmann S., *GSI Preprint – 98–16* (1998)
3. Hofmann S. és mts., *Z. Phys. A* 354 (1996) 229.
4. Hofmann S., Münzenberg G., Schädel M., *Nucl. Phys. News* 14 (2004) No. 4, 5.
5. Oganessian Yu. Ts. és mts., *CERN Cour.* (2001) October, 25.
6. Cwiok S., Nazarewicz W., Heenen P. H., *Phys. Rev. Lett.* 83 (1999) 1108. Smolanczuk R., *Phys. Rev. Lett.* 83 (1999) 4705.
7. Julin R., Dendooven P., *Nucl. Phys. News* 10 (2000) No. 3, 4.
8. Herzberg R.-D. és mts., *Nature* (2006) 896.
9. Leino M., Hessberger F. P., *Annu. Rev. Nucl. Part. Sci.* 54 (2004) 175.

# AZ ELTŰNT SZIMMETRIA NYOMÁBAN

– a 2008. évi fizikai Nobel-díj

Trócsányi Zoltán  
Debreceni Egyetem és MTA ATOMKI

*Vegyítsed ennyvel, vagy kőporban főzd,  
Bocsásd rá sáskák falánk badát,  
Fő elv lebegjen szemed előtt  
Ne bontsd meg a szimmetriát!*

Lewis Carroll

## Szimmetria a szépség alapja

A Lewis Carrolltól származó idézet mutatja, hogy életünkben lényeges szerepet játszanak a szimmetriák. Klasszikus építészek például szimmetrikus épületeket kedveltek tervezni. Nem véletlenül: a szimmetrikus alakzatokat szépnek látjuk. Például a szépségkirálynők arca szinte tökéletes jobb-bal (tükrözés-) szimmetriát mutat, az aszimmetrikus arcokat pedig nem találjuk szépnek (1. ábra). A szimmetrikus alakot tökéletesebbnek gondoljuk, leírásuk egyszerűbb, könnyebben megjegyezhető, mint a kevésbé szimmetrikusé. Például a gömb nagyfokú térbeli szimmetriával rendelkezik, meghatározásához egyetlen adat, a sugara elegendő.

1. ábra. Az aszimmetrikus arcból (középen) képzett szimmetrikus arcok (balra és jobbra) harmonikusabb, szebb benyomást keltenek, mint az eredeti.



## Szimmetria a fizikában

A fizika fejlődése szempontjából lényeges felismerés volt, hogy sok jelenség szimmetrikus valamilyen értelemben, ami erősen megszorítja a jelenséget leíró elmélet alakját. Például, ha filmre vesszük két golyó rugalmas ütközését, majd visszafelé lejátszunk, akkor semmi különös nem vesszünk észre, ami azt jelenti, hogy a ru-

galmas ütközésekről szóló emlékeink szerint az időben megfordított ütközés éppen úgy valódinak tűnik, mint az eredeti. Az ütközést leíró törvények változatlanok maradnak az idő megfordításakor (időtüközés, jele  $T$ ). Ennek következménye, hogy a két golyó rugalmas ütközését leíró elméletben csak az idő szerinti páros derivált szerepelhet. A Newton-elmélet ezek közül a legegyszerűbbet (az idő szerinti második deriváltat) választja – sikeresen. Az időtükrözés diszkrét transzformáció. Kétszer egymás után alkalmazva az eredeti időirány áll elő,  $T^2 = 1$ . Hozzá hasonló a tértüközés (jele  $P$ ,  $P^2 = 1$ ). Léteznek folytonos transzformációk is. Például a Newton-elmélet (időtől nem függő kölcsönhatás esetén) az időt csak deriváltként tartalmazza, ezért az időeltolás esetén sem változik, az események ugyanúgy játszódnak le az eltolt időben is. *Emmy Noether* vette észre, hogy minden folytonos szimmetriához megmaradó mennyiség tartozik. Például térbeli eltolások a Newton-egyenletet nem változtatják meg – az ehhez tartozó megmaradó mennyiség a lendület –, míg a térbeli forgatásokkal szembeni szimmetria következménye a perdület megmaradása. Konzervatív erők esetén a Newton-egyenlet időeltolás esetén sem változik, aminek következménye a mechanikai energia megmaradása. *Hendrik Lorentz* (Nobel-díj 1902) vette észre, hogy az elektromosság Maxwell-féle elmélete a tér-idő másfajta (Lorentz) transzformációja esetén is változatlan marad, majd *Henri Poincaré* francia matematikus megmutatta, hogy a tér-idő felsorolt folytonos transzformációi csoportot alkotnak (Poincaré-csoport).

## Szimmetria a részecskefizikában<sup>1</sup>

A részecskefizika tárgya az anyag alapvető kölcsönhatásainak tanulmányozása. Az említett tér-idő transzformációkkal szembeni szimmetriák erősen megszorítják az elméletek alakját. A négy alapvető kölcsönhatás matematikai leírása szempontjából azonban döntő jelentőségűnek bizonyult *Hermann Weyl* felismerése, hogy az elektron elektromosságának elmélete olyan szimmetriát mutat, amely nem köthető a tér, vagy az idő transzformációjához. Azt már *Weyl* előtt is tudták, hogy az elmélet változatlan marad, ha az elektronmező fázisát a tér minden pontjában ugyanannak, de szabadon választjuk meg. Felfogható ez is egyfajta forgásszimmetriának, amelynek a szimmetriacsoportja a kétdimenziós forgatások csoportja, csak ez alkalommal a forgatás egy kétdimenziós vektoron hat, amelynek összetevői az elektronmező valós és képzetes része. Az ilyen, nem a tér-idő transzformációjához, hanem egy fizikai mező transzformációjához köthető szimmetriát belső szimmetriának nevezik. *Noether tétele* szerint a *belytől nem függő (globális) belső transzformációval szembeni szimmetria is megmaradó mennyiséghez* – az elektron esetében az elektromos töltés megmaradásához – kapcsolható.

<sup>1</sup> Például *Patkós András* és *Horváth Dezső* írtak a *Szemlében* a szimmetria szerepéről a részecskefizikában [1, 2].

*Weyl* – saját korában nem kellően értékelt – felfedezése az volt, hogy amennyiben feltételezzük, hogy a belső szimmetria lokális, úgynevezett mértékszimmetria – például az elektronmező fázisa a tér-idő minden pontjában szabadon választható meg –, akkor az elméletben megjelenik egy másik fizikai mező, a *mértékmező*, amely a részecskék közötti kölcsönhatást közvetíti. Például az elektron esetén a mértékmező az elektromágneses mezővel azonosítható. Ilyen módon a lokális szimmetria egy teljes, az elektron és az elektromágneses mező kölcsönhatását leíró elméletet, az elektrodinamikát eredményezi. A szabad fázisválasztás egységnyi hosszú komplex számmal ( $e^{i\varphi}$ ) való szorzást jelent, ahol a  $\varphi$  fázis a hely függvénye. Az ilyen szorzások unitér csoportot alkotnak.<sup>2</sup> A csoportelemek felcserélhetőek, ezért a csoport Abel-féle, és az elektrodinamika ábeli mértékelmélet.

A mértékszimmetriánál szebb, gazdaságosabb (kinek-kinek ízlése szerint) elméletépítés nem képzelhető el. Kiindulunk valamely anyagmezőből, feltételezzük, hogy az elmélet mértékszimmetrikus valamely unitér csoport elemeinek transzformációjával szemben, és máris egy teljes, anyag és mértékmező dinamikus kölcsönhatását leíró elméletet kapunk. Ráadásul az ilyen elméletek könnyen, és matematikailag értelmesen kvantálhatók. A kvantálás után kvantummezőelméletet kapunk. A négy alapvető kölcsönhatás közül hármát (az erős, valamint az elektromágneses és a gyenge kölcsönhatásokat egyesítő elektrogyenge kölcsönhatást) kvantummezőelméletben ír le a részecskefizika Standard modellje. Az elmélet részletei az irodalomban sok helyen megtalálhatók. Rövid összefoglalást ad például a [3] cikk.

A mértékelméletre alapuló Standard modell a mérési adatok nagy pontosságú leírását szolgáltatja. Az elektron-pozitron ütközésekben mérhető mennyiségeknek a Standard modellel számolt, valamint a Nagy Elektron-Pozitron gyorsítónál (LEP) mért értékei közötti egyezés rendkívül meggyőző, ami a Standard modell fizikai helyességét sugallja. A Standard modell szimmetriája azonban közvetlenül nem tapasztalható a valóságban. Tömeggel rendelkező részecskéket leíró elmélet ugyanis nem rendelkezhet a Standard modell szimmetriájával, a tapasztalat szerint azonban az összes anyagmező, továbbá a mértékmezők elemi gerjesztései közül három tömeggel rendelkezik. A mai részecskefizika legfontosabb válaszra váró kérdése, hogy hogyan marad rejtve az elektrogyenge szimmetria, amit úgy is szoktak fogalmazni, „honnan nyerik az elemi részecskék tömegüket?”

## Spontán szimmetriasértés

A helyzet meglehetősen ellentmondásos. Egyrészt van egy szimmetriára alapuló modell, amellyel nagy pontossággal lehet mérhető mennyiségekre becslést tenni, és az elméleti számítások igen jól egyeznek a kí-

<sup>2</sup> Unitér transzformációkról rövid összefoglaló található a [3]-ban.



2. ábra. Labilis egyensúlyi helyzetben lévő ceruza forgásszimmetrikus állapota (balra) és a szimmetriát spontán sértő feldőlő ceruza (jobbra).

sérletileg mért értékekkel. Ilyen helyzetben magabiztosan azt szoktuk mondani, hogy az elméleti leírásunk helyes. Másrészt azonban a megfigyelhető részecskék fizikai tulajdonságai egyértelműen sértik a feltételezett szimmetriát, tehát a szimmetriaelvre alapuló leírás nem lehet helyes. Vagy mégis?

A következő részben találkozunk majd olyan jelenséggel, amikor az elmélet valamely transzformáció esetén remélt szimmetriát sért. Az ilyet nevezik dinamikai szimmetriasértésnek. A mértékszimmetria dinamikai sértése azonban (itt nem részletezendő) súlyos elvi problémákat vet fel. Létezik azonban a természetben olyan jelenség is, amikor a természeti törvények szimmetriáját a megfigyelhető jelenségek nem tükrözik. Például egy hegyére állított ceruza forgásszimmetrikus környezetben forgásszimmetrikus egyensúlyi helyzetben van, amely azonban nem marad tartósan fenn (labilis). Bármilyen piciny hatás ki tudja téríteni az egyensúlyi helyzetből és feldől, aminek eredményeként egy olyan alacsonyabb energiájú állapotba kerül, amely az eredetileg meglévő forgásszimmetriát sérti. Ha a ceruza látható külső beavatkozás nélkül feldől, akkor a feldőlő állapotban a *szimmetria spontán sérül* (2. ábra).

A spontán szimmetriasértés gyakori jelenség a természetben. Például egy kör alakú terített asztalon egy tányérhoz tartozhat akár a jobbra, akár a balra elhelyezett pohár. Ezt a szimmetriát vagy egyezség alapján sértik meg az asztalnál ülők, vagy valaki spontán módon. Spontán szimmetriasértés hatására nem a rendszer dinamikáját leíró elmélet szimmetriája sérül, csupán a rendszer legalacsonyabb energiájú állapota, az alapállapot sérti meg a szimmetriát.

3. ábra. Yoichiro Nambu, a 2008. évi fizikai Nobel-díj egyik kitüntetettje: „a szubatomi fizika spontán szimmetriasértésének felfedezéséért” kapta a díj felét.



A spontán szimmetriasértés jelenségét a szilárdtestfizikusok régóta ismerik. *Werner Heisenberg* (Nobel-díj 1932) 1928-ban segítségével értelmezte a ferromágnességet. Valamely mágnes atomjainak kölcsönhatását leíró elektromágnesség a tér háromdimenziós forgatásaival szemben szimmetrikus, azonban egy kritikus hőmérséklet alatt az atomok spinjei egy irányba állnak be, ami véges mágneses mezőt eredményez. A mágneses mező iránya sérti a forgásszimmetriát, de csak részben, a rá merőleges síkban történő kétdimenziós forgatásokkal szembeni szimmetria megmarad.

Hasonló fegyvert vetettek be – bár nem nevezték néven – 1956-ban *John Bardeen*, *Leon Cooper* és *Robert Schrieffer* (Nobel-díj 1972) a szupravezetés elméleti értelmezése érdekében. A szupravezető lényegében egy olyan anyag, amelyben az elektron fázisának szabad megválasztása spontán sérül, csak a fázis  $180^\circ$ -os változtatásával, azaz előjelének ellenkezőjére történő változtatásával szembeni szimmetria marad meg. Az ilyen spontán szimmetriasértés eredményeként páros számú elektron alapállapotú várható értéke nullánál nagyobb, míg egy elektron állapotának várható értéke nulla a szupravezetőben. A szupravezető összes különleges tulajdonsága – például a nulla elektromos ellenállás, a Meissner-hatás, a mágneses fluxus kvantáltsága egy vastag szupravezető gyűrűben – mind következik az elektron fázisválasztási szimmetriájának spontán sérüléséből.

A szupravezetés BCS-elmélete tényleg csak hasonló a spontán szimmetriasértéshez. Modelljünkben abból a feltevésekből indultak ki, hogy elektronpárok tagjai csak akkor hatnak kölcsön, ha energiájuk egy bizonyos – Fermi-szintnek nevezett – értékhez közeli. Az olvasóban felmerülhet a kérdés, hogyan lehet egy közelítősen alapuló modellel pontosan eltűnő elektromos ellenállást megmagyarázni. A válasz az, hogy pontosan nem. Csak a szimmetriaelvre épülő modell képes pontos magyarázatot szolgáltatni.

## Spontán szimmetriasértés a részecskefizikában

Annak ellenére, hogy a BCS-modell nem hangsúlyozta a spontán szimmetriasértés jelentőségét, mintegy ötven éve mégis ötletet szolgáltatott *Yoichiro Nambu*-nak (3. ábra), hogy a spontán szimmetriasértés szerepet játszhat a kvantum-mezőelméletekben. Történt ez akkor, amikor a kvantum-mezőelméletet szigorú matematikai alapokra helyezni kívánó kutatók csak olyan elmélettel foglalkoztak, amely esetén a mező alapállapota, az üres tér, csakis egyféle lehet! Spontán szimmetriasértés esetén az alapállapot mindig degenerált állapot. (Emlékeztetőül: a feldőlő ceruza végtelen sok irányba állhat, azaz alapállapota végtelenszer degenerált állapot.) *Amikor az alapállapot degenerált, akkor léteznek olyan elemi gerjesztések (részecskék), amelyek tömege nulla.* (A ceruza esetén ez annyit jelent, hogy a ceruza elforgatásához nincs szükség energiára.)



Nambu az atommagok béta-bomlásának elmélete kapcsán próbálkozott a spontán szimmetriasértéssel. Az atommagban található neutronnak protonná, elektronná és antineutrínóvá történő bomlásáért a magban fellépő kétféle áram felelős. Az egyik hasonló a szokásos elektromos áramhoz, amennyiben Lorentz-transzformációk esetén úgy viselkedik, mint egy vektor, ezért vektoráramnak nevezik. Ez az áram megmaradó áram, tehát ugyanúgy folytonos szimmetriához tartozik, mint a megmaradó elektromos áram. Már említettük, hogy az utóbbi az elektronmező globális fázisválasztási szimmetriájának következménye, az előbbi pedig a globális izospin szimmetriáé.

A másik áram az axiálevktor-áram.<sup>3</sup> Vajon ez is megmaradó áram? Ha igen, akkor ez is folytonos szimmetria következménye. Ilyen szimmetriák lehetnének a királis (jobbkez-balkéz) szimmetriák, azonban ezek következménye az lenne, hogy vagy a nukleonok tömege nulla – ami nem teljesül –, vagy léteznie kell három nulla tömegű és spinű részecskének, amelynek hullámfüggvénye tértükrözéskor előjelet vált – ami szintén nem teljesül a természetben. Ez a lehetőség fizikailag annyit jelent, hogy ilyen szimmetria vagy nincs (ezért van a nukleonoknak tömegük), vagy pedig spontán sérül magában az üres térben (ezért kellene nulla tömegű részecskének létezni) nem csak anyagban, mint a szupravezetés esetén.

A kiemelkedő kutatóknak két fontos tulajdonsága van. Egyrészt ragaszkodnak a tényekhez, másrészt nem ijednek meg tőlük. Bár Nambu korában is nyilvánvaló volt, hogy ilyen királis szimmetria nem létezhet, mégis feltette, hogy „közelítőleg” létezik, és spontán sérül az üres térben. Pontos szimmetria spontán sérülésekor nulla tömegű részecskének kell lenni. Nambu érvelése szerint közelítő királis szimmetria spontán sérülésekor a nulla spinű részecske tömege csak közelítőleg lesz nulla. Ezt a részecskét Nambu a pionnal azonosította.

Bár az idő nem igazolta Nambu modelljét, azonban övé volt az első bátor próbálkozás, hogy a spontán szimmetriasértést mezőelméleti nyelven is megfogalmazza. Nem sokkal később *Jeffrey Goldstone* további példákat mutatott a spontán szimmetriasértés mezőelméleti megfogalmazására, és arra, hogy ez mindig nulla tömegű részecskék létezését jelenti. Azóta ezeket a részecskéket (Nambu-) *Goldstone-bozonoknak* hívjuk.

Goldstone-bozont azonban nem sikerült találni a természetben, ami azt jelentette, hogy vagy nem létezik spontán szimmetriasértés a részecskefizikában, vagy valami kiutat kell találni. A kiútra *P. Higgs*, *G. Guralnik*, *R. Brout* és *F. Englert*, valamint *D. Hagen* és *T. Kibble* munkái vezettek, bár manapság leginkább csak Higgs-mechanizmusnak hívjuk. A Goldstone-bozonok megjelenése globális szimmetria spontán sérülésekor történik. A felsorolt kutatók megmutatták, hogyha lokális (mérték-) szimmetria sérül

<sup>3</sup> Lorentz-transzformáció esetén az axiálevktor úgy változik, mint a vektor, azonban tértükrözéskor térszerű komponensei nem váltanak előjelet, míg a vektor térszerű komponensei igen.

spontán, akkor a Goldstone-bozonok longitudinális polarizációként hozzáadódnak a mértékelmélet mértékmezőinek két transzverzális polarizációs szabadsági fokához, amitől a szimmetrikus elméletben a nullatömegű mértékbozonok tömeget nyernek.<sup>4</sup> (Képszerűen: a mértékbozonok megeszik a Goldstone-bozonokat, amitől tömegük lesz.)

Az előző szakaszt éppen azzal a problémával kezdtük, hogyan lehet egy mértékszimmetrikus elméletben a részecskének tömegük. Erre a Higgs-mechanizmus nagyon szép és gazdaságos – bár nem kizárólagos – lehetőséget nyújt. A jelenség lényegéről, és a hozzá kapcsolódó Higgs-részecske kereséséről korábbi cikkemben már olvashattak a *Szemle* olvasói [4], ezért itt tovább nem tárgyaljuk. Az LHC gyorsító üzembehelyezésével felfokozódtak a várakozások, hogy sikerül megfigyelni a Higgs-részecskét a laboratóriumban, ami bizony Nobel-díjas felfedezés lenne. Előtte azonban a Nobel-bizottság díjjal kívánta jutalmazni azt az elméleti munkásságot is, amely a spontán szimmetriasértés lehetőségét felvetette az elemi részecskék világában. Ezért kapta Nambu a 2008. évi fizikai Nobel-díj felét.

## Diszkrét szimmetriák a részecskefizikában<sup>5</sup>

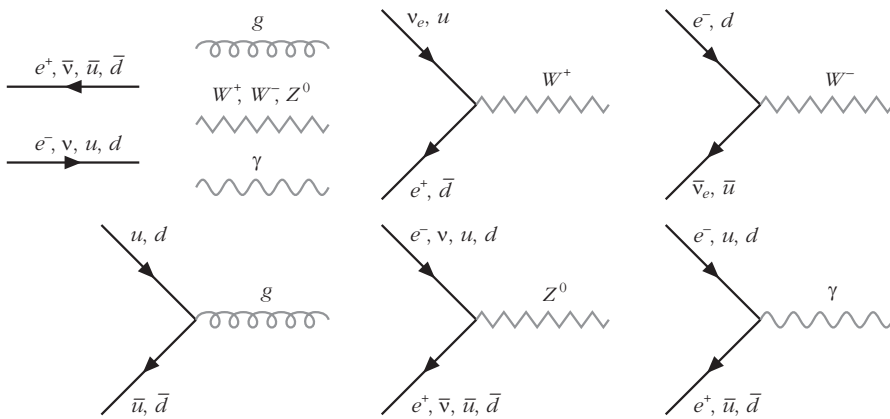
A részecskefizika fejlődésére döntő hatással volt a diszkrét szimmetriák vizsgálata is. Háromféle diszkrét szimmetriát ismerünk: a már említett idő- és tértükrözést, valamint a töltéstükrözést (jele  $C$ ,  $C^2 = 1$ ). A tértükrözés a térkoordinátákat ellenkező előjelűre változtatja, hatására egy részecske lendülete előjelet vált, spinje (sajátperdülte) azonban változatlan marad. Relativisztikus sebességgel mozgó fermionok ( $\hbar/2$  spinű részecskék) állapotának jellemzéséhez jó kvantumszám a helicitás, ami lényegében a részecske spinjének a lendület irányába eső vetülete. Pozitív helicitású – „jobbkezes”, jele  $R$  – részecske spinjének és lendületének iránya egybeesik, míg a negatív helicitású – „balkéz”, jele  $L$  – ellentétes. Tértükrözés hatására a helicitás az ellenkezőjére változik: jobbkezesből balkéz lesz és viszont. A töltéstükrözés részecskéhez antirészecskét rendel. Egy részecske antirészecskéjének minden fizikai tulajdonsága ugyanaz, csak az elektromos töltése ellentétes.<sup>6</sup>

A részecskéket piciny golyóknak elképzelve, a newtoni mechanikán nevelkedve, úgy gondolhatjuk, hogy kölcsönhatásuk mind az idő, mind a tértükrözéssel szemben változatlan. Igen nagy volt hát a fizikusok meglepetése, amikor *Tsung-Dao Lee* és *Chen-Ning Yang* (Nobel-díj 1957) elméleti felveté-

<sup>4</sup> A nulla tömegű részecske, mint a foton csak transzverzális polarizáltágú lehet. A tömeges vektorbozonoknak van longitudinális polarizációjuk is.

<sup>5</sup> A diszkrét szimmetriákról érdemes elolvasni Horváth Dezsőnek a *Szemlében* a közelmúltban megjelent [5] cikkét.

<sup>6</sup> Izgalmas, máig megválaszolatlan kérdés, hogy a semleges elemi részecskék, a neutrínók antirészecskéje vajon ugyanaz a részecske (Dirac-neutrínó), vagy sem (Majorana-neutrínó).



4. ábra. Részecskék terjedését és kölcsönhatását jelző vonalak és csomópontok Feynman-gráfokban (nem teljes minta).

sére C.S. Wu 1956-ban kimutatta, hogy a gyenge kölcsönhatásban a tértükrözési szimmetria sérül. Wu kísérletéről, valamint a Leon Lederman csoportja (Nobel-díj 1988) által végzett megerősítő kísérletről a közelmúltban részletesen olvashattak a Szemle olvasói [5].

Ledermanék kísérlete egyszerűbben kivitelezhető. Szénben megállított pozitív töltésű pionok antimüonná és neutrínóvá történő bomlását tanulmányozták. A pion spinje nulla, így a perdület megmaradása szerint a keletkező két részecske spinje ellentétes irányú. A lendületük is az, hiszen az álló pion lendülete is nulla. Ezek szerint mindkét bomlástermék vagy balkezes, vagy jobbkezes. Tapasztalatuk szerint az antimüon mindig balkezes volt (a neutrínót nem lehet észlelni, ezért spinállapotát sem lehet meghatározni). A tapasztalat tehát az, hogy a pozitív pion bomlásakor a jobbkezes neutrínó keletkezéséhez tartozó bomlási szélesség nulla,  $\Gamma(\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_R) = 0$ , míg a balkezeséhez tartozó nagyobb, mint nulla,  $\Gamma(\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_L) \neq 0$ . A két folyamat tértükrözéssel egymásba vihető,  $P(\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_L) = (\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_R)$ , így a bomlási szélességek különbözősége a tértükrözés sérülését jelenti. A kísérlet negatív töltésű pionnal elvégezve a töltéstükrözési szimmetriát lehet ellenőrizni. Minthogy a töltéstükrözött folyamat,  $C(\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_L) = (\pi^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_L)$ , bomlási szélessége szintén nulla,  $\Gamma(\pi^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_L) = 0$ , ezért tapasztalat szerint a gyenge kölcsönhatásban a töltéstükrözési szimmetria is sérül! Ugyanakkor az egyszerre töltés- és tértükrözött folyamat,  $CP(\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_L) = (\pi^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_R)$ , bomlási szélessége ugyanakkora,  $\Gamma(\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_L) = \Gamma(\pi^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_R)$ , ami azt sugítja, hogy a gyenge kölcsönhatás megőrzi a CP-szimmetriát.

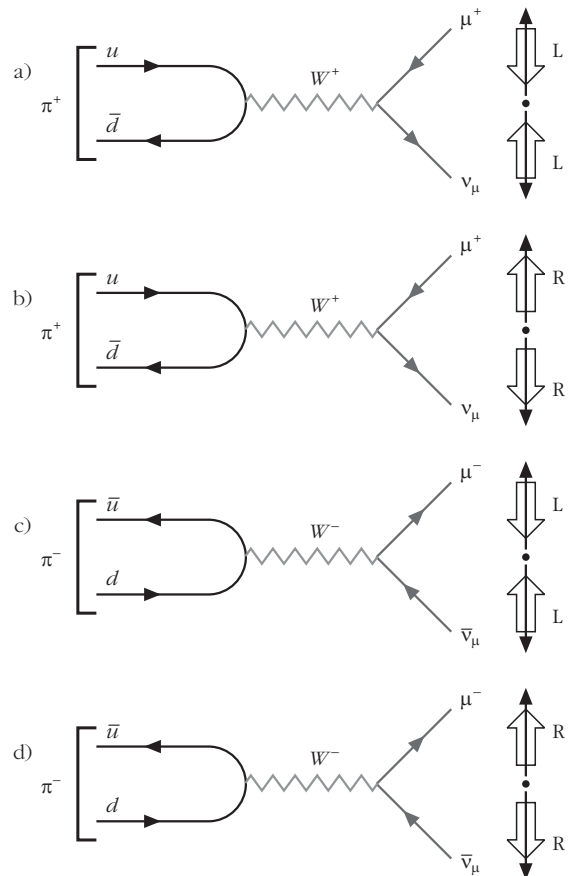
A részecskefizikai Standard modellnek létezik egy olyan megfogalmazása, amelyben a folyamatokat gráfokkal írjuk le. A modell építőkövei a fermionok (elektron, müon, tauon és neutrínók,  $u, d, s, c, t, b$  jelű kvarkok), amelyeknek egy irányított folytonos vonal felel meg. A gráfokat balról jobbra olvassuk. Fermionvonalak irányítása jobbra mutat, az antifermionoké balra. A fermionok közötti kölcsönhatást a mértékmezők elemi gerjesztései a  $\hbar$  spinű bozonok közvetítik. Ide tartozik az elektromágnességet közvetítő foton ( $\gamma$ ), amelyet hullámos vonallal, a gyenge kölcsönha-

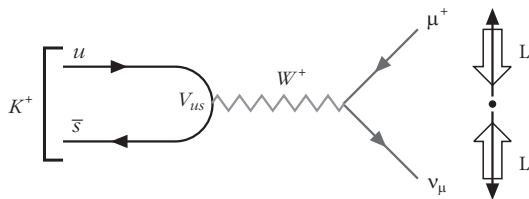
tást közvetítő töltött ( $W^\pm$ ) és semleges ( $Z^0$ ) bozon, amelyeket fűrészvonalal, és az erős kölcsönhatást közvetítő gluon ( $g$ ), amelyet hurkolt vonallal jelölünk (4. ábra). A részecskék közötti kölcsönhatásnak egy pontban összefutó három vonal felel meg, két fermion- és egy bozonvonal. (Létezik olyan is amikor csak bozonvonalak futnak össze – ilyenkor lehet négy vonal is –, de ez érvelésünk szempontjából nem lesz lényeges.) Az összefutó fermionvonalak irányítása folyto-

nos (egy be- és egy kifutó vonal), tehát egy kölcsönhatásban egy fermion, egy antifermion és egy bozon vesz részt. A számunkra most érdekes néhány kölcsönhatást (szaknyelven *áramot*) mutat a 4. ábra. A  $W^\pm$ -hoz csatoló áram töltött, a  $Z^0$ -hoz, vagy fotonhoz, gluonhoz csatoló áram semleges.

A Richard Feynmanról (Nobel-díj 1965) elnevezett gráfszabályok segítségével a pionbomlásos folyamatokat az 5. ábrán mutatjuk. A fenti érvelésünk

5. ábra. Töltött pion bomlásai müonba és neutrínóba. Jobbkezes neutrínót és balkezes antineutrínót a természetben nem figyeltek meg, ezért a b) – az a) tértükrözött folyamata –, valamint a c) – az a) töltéstükrözött folyamata – bomlás valószínűsége nulla. A d) ábra mutatja a CP-tükrözött folyamatot, amelynek valószínűsége ugyanannyi, mint az a) ábrán látható eredetie.





6. ábra. Töltött kaon bomlása antimüonba és neutrínóba. A kaonhoz kapcsolódó töltött áramnál megjelenik a keveredést leíró  $V_{us} = \sin\theta_C$ .

kitűnik, hogy a diszkrét szimmetriák tanulmányozása szempontjából lényeges a részecskék lendületének és spinjének iránya is, ezért a szokásos Feynman-gráfokat kiegészítettük egy ábrával, amelyen a részecskék lendületének (vékony, hosszú nyíl) és spinjének (vastag, rövid nyíl) irányát mutatjuk. Említettük, hogy a pion bomlása előtt megállítjuk, tehát lendülete nulla (pont) és a spinje is az. A lendület és perdület megmaradása szerint a bomlástermékek teljes lendülete és spinje is nulla.

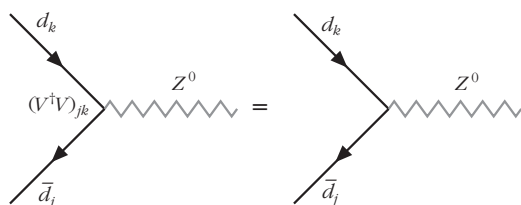
A gyenge kölcsönhatás elméletének születésekor ismert kísérleti tapasztalatok szerint a *töltött áramokban* résztvevő fermion-antifermion pár a következő párokból állhatott:

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e^- \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu^- \end{pmatrix} \text{ és } \begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}.$$

(A felső komponens elektromos töltése pontosan egy protontöltéssel nagyobb az alsó komponens töltésénél, így a töltött áramban szereplő mértékbozon töltése is egységnyi. Semleges áramban nyilván csak ugyanaz a fajta részecske-antirészecske pár szerepelhet.) Ekkor már tudták, hogy létezik egy harmadik, az  $u$ -nál és  $d$ -nél lényegesen nehezebb kvark is, amelyet  $s$ -sel jelöltek. Természetes feltevés volt, hogy ennek is van egy párja, a  $c$ -kvark, és a könnyű (elektron) és nehéz (műon) leptoncsaládnak megfelelően van egy könnyű ( $u$ ,  $d$ ) és egy nehéz ( $c$ ,  $s$ ) kvarkcsalád. Az elképzelés szép, azonban eleve tudták, hogy baj van vele.

Ismerték ugyanis a töltött kaont, amely egy  $u$  és egy anti- $s$  kötött állapota, és elbomolhat a  $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$  folyamat szerint, tehát léteznie kell olyan töltött gyenge áramnak, amely egy  $u$ -t és egy anti- $s$ -t csatol össze (6. ábra). Ez ellentmond a fenti elképzelésnek, amely csak  $u$  és  $d$ , valamint  $c$  és  $s$  közötti csatolást enged meg. Újfajta áramok bevezetése helyett *Nicola Cabbi-*

7. ábra. A semleges áramban szereplő két alsó kvarknál a keveredés együttes hatása olyan, mintha nem is lenne keveredés, ezért ha az eredeti elméletben nincs ízcserélő semleges áram, akkor a kevert állapotokat tartalmazóban sincs.



*bo* azt javasolta, hogy a töltött áramokban az eredeti  $d$ - és  $s$ -kvarkok keveréke szerepel:

$$\begin{pmatrix} u \\ d' \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} c \\ s' \end{pmatrix}, \quad \begin{aligned} d' &= d \cos\theta_C + s \sin\theta_C \\ s' &= -d \sin\theta_C + s \cos\theta_C \end{aligned}$$

A  $\theta_C$  keveredési szög Cabbibo-szögnek nevezik. Így a  $q_1$  és  $q_2$  kvarkok töltött áramában az eredetihez képest megjelenik egy  $V_{q_1 q_2}$  szorzótényező, ahol

$$\begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} \\ V_{cd} & V_{cs} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta_C & \sin\theta_C \\ -\sin\theta_C & \cos\theta_C \end{pmatrix},$$

a keveredést pedig röviden a

$$d'_i = \sum_{j=1}^n V_{ij} d_j$$

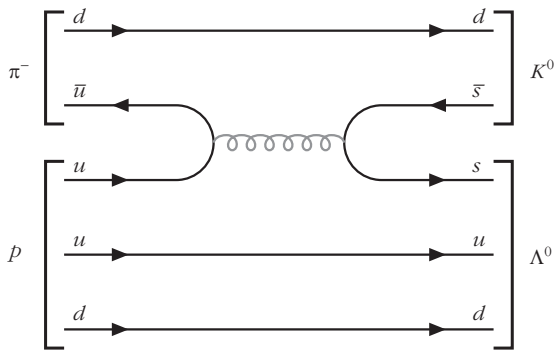
alakban írhatjuk, ahol  $d_j$  illetve  $d'_j$  jelölik az  $n = 2$  darab eredeti, illetve kevert alsó kvarkállapotot, és  $V_{ij}$  a keveredést leíró mátrix.

A Cabbibo-szög értéke megmérhető. Vegyük például az  $s$ -kvarkszám megváltozásával járó ( $\Delta S = 1$ ) kaon-bomlás,  $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$ , és az  $s$ -kvarkszám változásával nem járó ( $\Delta S = 0$ ) pion-bomlás,  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$ , szélességének hányadosát. A kaon-bomlás amplitúdójában szerepel egy  $V_{us}$  tényező, a pion-bomláséban pedig  $V_{ud}$ . Ettől eltekintve a két folyamat nagyon hasonló. A bomlási szélesség az amplitúdó négyzetével arányos, ezért

$$\frac{\Gamma(K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu)}{\Gamma(\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu)} \propto \frac{\sin^2\theta_C}{\cos^2\theta_C}.$$

A bomlási szélességek hányadosából tehát a Cabbibo-szög megkapható. Természetesen a Cabbibo-szög más bomlásokban is felmerül. Megnyugtató, hogy értéke minden bomlásban ugyanakkora, tehát a  $d$ - és  $s$ -kvarkokra vonatkozó keveredést a tapasztalat alátámasztja.

Kísérleti tapasztalat szerint  $d$ - és  $s$ -kvarkot egyszerre tartalmazó („ízcserélő”) semleges gyenge áram nem létezik (vagy nagyon kicsi az ilyen áramot tartalmazó bomlás bomlási szélessége). Igen ám, de ha a fizikai alsó ( $d_i$ ) kvarkállapotok helyett a semleges áramban a kevert alsó ( $d'_i$ ) kvarkállapotok szerepelnek, akkor elvileg előfordulhat ízcserélő semleges áram. Hogy ez mégse fordulhasson elő, szükséges, hogy a keveredést leíró  $V$  mátrix unitér legyen,  $V^* V = \mathbf{1}$ . Ekkor ugyanis a semleges áramban megjelenő  $d'_i$ -kvark keveredését a  $V$ , az anti- $d'_i$ -kvark keveredését pedig a  $V^*$  mátrix adja, a kettő együttes hatása pedig éppen az egységmátrix. Ha tehát a fizikai  $d_i$ -kvarkállapotok esetén nem volt ízcserélő semleges gyenge áram, akkor a kevert  $d'_i$ -kvarkállapotok esetén sincs (7. ábra). Ezt az észrevételt, amelyet elsőként *S. Glashow*, *J. Iliopoulos* és *L. Maiani* írtak le, nevezik GIM-mechanizmusnak.



8. ábra. A  $\pi^- p \rightarrow K^0 \Lambda^0$  folyamat a kvarkok szintjén.

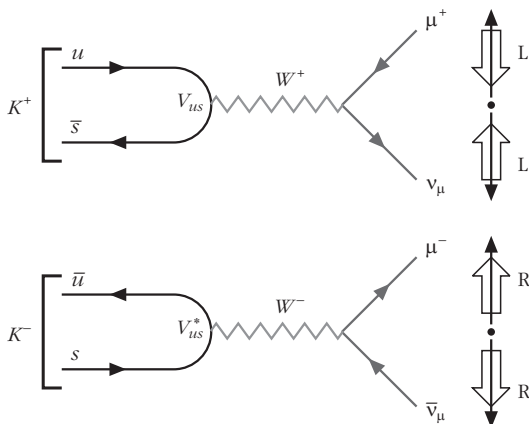
## Az egyesített $CP$ -szimmetria is sérül!

Említettük, hogy a bomlási szélességekre vonatkozó mérési eredmények azt súgták, hogy a gyenge kölcsönhatásban a  $CP$ -szimmetria megmarad. A semleges kaon bomlása remek lehetőséget kínál ennek ellenőrzésére. Semleges kaonból kétféle létezik,  $K^0$  és  $\bar{K}^0$ . Mindkettő keletkezik pion és proton kemény ütközésekor. Például az előbbi a  $\pi^- p \rightarrow K^0 \Lambda^0$  folyamatban (8. ábra), míg az utóbbi a  $\pi^+ p \rightarrow \bar{K}^0 K^+ p$  folyamatban. Megfigyelések azt sugallják, hogy a  $K^0$  kaon valójában két részecske, ugyanis vagy viszonylag gyorsan,  $\tau(K_S^0 \rightarrow 2\pi) = 0,9 \times 10^{-10}$  s alatt elbomlik két semleges pionra, vagy ezerszer lassabban,  $\tau(K_L^0 \rightarrow 3\pi) = 0,5 \times 10^{-7}$  s alatt háromra. A gyorsan bomló állapot,  $K_S^0$  együttes tér- és időtükrözés esetén változatlan marad, míg a „hosszú” élettartamú  $K_L^0$  állapota előjelet vált, ugyanis *egyetlen* pion állapota  $CP$ -tükrözésre előjelet vált. Ez a két állapot kikeverhető a  $K^0$  és  $\bar{K}^0$  állapotokból, ha a kettő közötti relatív fázist úgy választjuk meg, hogy  $CP K^0 = \bar{K}^0$ .

$$K_S^0 = \frac{1}{\sqrt{2}} (K^0 + \bar{K}^0), \quad CP = +1,$$

$$K_L^0 = \frac{1}{\sqrt{2}} (K^0 - \bar{K}^0), \quad CP = -1.$$

9. ábra. Töltött kaon bomlása leptonokba. A Standard modellben benne van a  $K^- \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$  folyamat és hermitikus konjugáltja, a  $K^- \rightarrow \mu^+ \bar{\nu}_\mu$  folyamat is, amelynél a keveredési mátrixelem komplex konjugáltja szerepel.



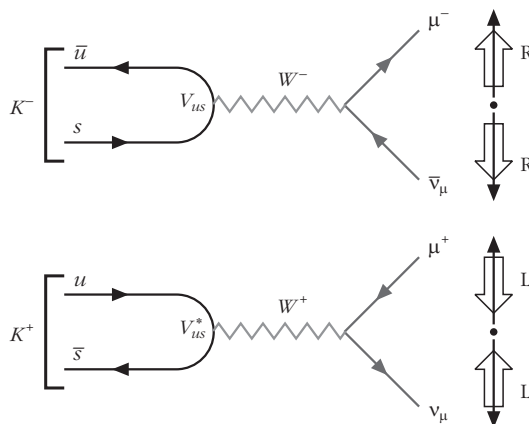
Ez így a jelenségek összecsengő értelmezése. A meglepetés az, hogy ha megfelelő kísérleti összeállításban – amelyet például *J. Christenson, J.W. Cronin, V.I. Fitch* és *R. Turlay* készítettek 1964-ben (Nobel-díj: Cronin és Fitch, 1984) – sikerül a rövid és hosszú élettartamú  $K^0$ -t szétválasztani, akkor ritkán (ezer bomlásból kétszer) előfordul, hogy a hosszú élettartamú  $K_L^0$  mégiscsak két semleges pionba bomlik, amit a  $CP$ -szimmetria tiltana, azaz *gyenge kölcsönhatásban a  $CP$ -szimmetria* ha gyengén is, de *sérül*.

## Hogyan értelmezhetjük a $CP$ -szimmetria sérülését?

Csodálatos módon a Standard modell természetes megoldást kínál erre a kérdésre. Ahogy a kvantumelméletben megszoktuk, a modellnek önadjungáltnak kell lenni. A gráfok nyelvére lefordítva ez annyit jelent, hogyha a modell tartalmaz egy folyamatot, akkor tartalmaznia kell az adjungáltját is. Az adjungálás megfordítja a fermionvonalat irányát, és mindent komplex konjugál. Ennek megfelelően például a  $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$  folyamat adjungáltja a  $K^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu$  folyamat, azzal a kiegészítéssel, hogy az utóbbiban a  $V_{us}$  mátrixelem helyére a komplex konjugáltját kell írni (9. ábra). E két folyamat azonban egymás  $CP$ -tükrözöttje is,  $CP(K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu) = (K^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu)$ , csak hogy  $CP$ -tükrözéskor nem kell a  $V_{us}$  mátrixelem komplex konjugáltját venni (10. ábra). Ha a  $V$  mátrix valós, akkor az eredeti és a  $CP$ -tükrözött elmélet egybeesik (a 9. és 10. ábra ugyanazt a két folyamatot írja le). Ha  $V$  komplex, akkor a  $CP$ -szimmetria sérül.

A keveredési mátrixról annyit tudunk, hogy unitérnek kell lennie. Egy általános  $n \times n$ -es unitér mátrixnak  $n^2$  független paramétere van ( $2n^2$  paraméter, köztük  $n^2$  megszorítással). Ez a mátrix  $n$  db felső és  $n$  db alsó kvarkállapotot kapcsol össze, amelyek fázisa szabadon választható. Ezek ügyes megválasztásával a  $V$  mátrixelemekben található fázisok közül ( $2n-1$ ) eltüntethető. (Nem  $2n$ , csak  $(2n-1)$ , mert egyetlen kvark fáziseltolása egyenértékű az összes kvark fázis-

10. ábra. A 9. ábrán mutatott két folyamat  $CP$ -tükrözése. Eredménye ugyanaz a két folyamat, csak a keveredési mátrixelemek komplex konjugáltja szerepel bennük.







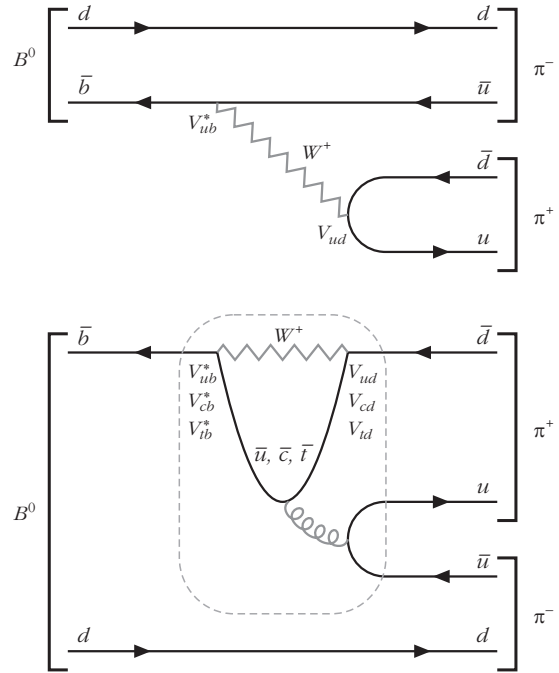
11. ábra. Makoto Kobayashi és Toshihide Maskawa, a 2008. évi fizikai Nobel-díj kitüntetettjei: „a sérült szimmetria felfedezéséért, amely legalább három kvarkcsalád létezését jósolja” indoklással megosztva kapták a díj másik felét.

sának ugyanolyan mértékű eltolásával.) Ha az így kapott mátrix minden eleme valós, akkor  $n(n-1)/2$  független paramétere van (valós unitér mátrix független elemeinek száma). Ha a független paraméterek száma nagyobb, akkor a mátrix nem lehet valós. Ezek alapján egyszerű számolás szerint a mátrix komplex paramétereinek száma

$$n^2 - (2n - 1) - \frac{1}{2} n(n - 1) = \frac{1}{2} (n - 1) (n - 2).$$

Két kvarkcsalád esetén ( $n = 2$ ) ez a szám nulla. Három kvarkcsalád esetén azonban egy, tehát ekkor a keveredési mátrix komplex, és a modellben megjelenik a  $CP$ -sértés. Ezt az észrevételt elsőként *M. Kobayashi* és *T. Maskawa* írta le 1964-ben egy – azóta nagyon híressé vált – rövid cikkben, amiért 2008-ban megosztva kapták a fizikai Nobel-díj másik felét (11. ábra). Azért éppen most, mert ekkorra sikerült sok kísérlettel egyértelműen megmutatni, hogy a természetben található  $CP$ -sértő jelenségek mind pontosan leírhatók a Standard modellel. Például a semleges kaonokon kívül csak 2001-ben sikerült egyáltalán kimutatni a  $CP$ -sérülését  $B$ -mezonok bomlásában.

A Cabbibo–Kobayashi–Maskawa keveredési mátrixban található komplex fázis a  $CP$ -sértés kizárólagos oka a Standard modellben. A figyelmes olvasó azonban felvetheti, hogy a bomlási szélességben az amplitúdó abszolút értékének négyzete szerepel, amiből a komplex fázis kiesik; akkor hogyan tud egy komplex fázis mérhető hatást okozni. Nos egy bomlási folya-



12. ábra. Semleges  $B^0$ -mezon bomlása töltött pionpárba közvetlenül (föül) és pingvin-gráffal (alul). A bekeretezett rész a pingvin-gráf.

mat nem csak egyféle módon lehetséges. Például a semleges  $B^0$ -mezon bomlása töltött pionpárba a 12. ábrán látható mindkét gráf által mutatott módon történhet.<sup>7</sup> Mindkét folyamatban megjelenik a komplex fázis, de különböző együtthatókkal, így a teljes amplitúdó szerkezete  $a + be^{i\phi}$  alakú, amely abszolút értékének négyzete  $a^2 + b^2 + 2ab\cos\phi$ , tehát már nem esik ki a komplex fázis hatása.

## Irodalom

1. Patkós András: A részecskefizika rejtőzködő szimmetriái. *Fizikai Szemle* 58 (2008) 126.
2. Horváth Dezső: Szimmetriák az elemi részecskék világában. *Fizikai Szemle* 53 (2003) 122.
3. Horváth Dezső: A részecskefizika anyagelmélete: a Standard modell. *Fizikai Szemle* 58 (2008) 246.
4. Trócsányi Zoltán: A Standard Modell Higgs-bozonja nyomában az LHC-nál. *Fizikai Szemle* 57 (2007) 253.
5. Horváth Dezső: Szimmetriák és sértésük a részecskék világában – a paritássértés 50 éve. *Fizikai Szemle* 57 (2007) 47.

<sup>7</sup> Továbbá sok más, bonyolultabb módon, de azok valószínűsége gyakorlatilag mérhetetlenül kicsi.

# RENEZÁNSZ FIZIKUSOK

## A reneszánsz ember

A fizikatörténet művelői leggyakrabban a 20. századi, külföldre szakadt tudósainkról írnak, esetenként visszanyúlhatnak *Bolyai*, *Jedlik* idejéig, de igen ritkán foglalkoznak a régebbi korok kiemelkedő személyiségei-

Kovács László  
NYME Savaria Egyetemi Központ Szombathely

vel. Most a reneszánsz éve ráirányította figyelmünket a 15–17. századra. Korábban nekem is csak mozaikszerű ismereteim voltak ebből a korból. Láttam ugyan a Loire menti Amboise-ban a *Leonardo da Vinci* sírját őrző St. Hubertus-kápolnát, de nem jártam szülőfalujában, a Vinci melletti Anchianóban. Láttam Oxfordban a Shel-



Simon Stevin, szobra Belgiumban, Bruges-ben, és annak részlete

donian melletti múzeumban *Galileo Galilei* távcsövét, láttam síremlékét Firenzében a Santa Crocében, de nem volt türelmem végigolvasni a *Discorsit*. Nem fényképeztem le *Simon Stevin* szobrát a róla elnevezett téren, szülővárosában, Bruges-ben, de még csak fényképet sem találtam az *Eugen Simonis* alkotta szoborról. Nem ellenőriztem személyes megtekintéssel, hogy legenda-e vagy valóság: Stevin sírkövére a lejtőre helyezett gyöngysort – felismerésének zseniális ábrázolását – vésték. Nem volt a kezemben *Giambattista della Porta* 1558-tól kiadott húsz könyvéből, a *Magiae Naturalis*-ből a 8. könyv, amely a fizikai kísérletekről szól, és az angol fordítást, a *Natural Magic*-et is csak az interneten tudtam megnézni.

Most sem kívánok áttekintő képet adni, csupán néhány figyelemreméltó életműből emelek ki részleteket.

A csodálatos reneszánsz művészet természettudományos ismereteket követelt: optikát, botanikát, anatómiát, statikát. Máig ható élményem az 1966-os, első olaszországi utam. Firenzében az Uffizi Képtárban az idegenvezető felhívta figyelmünket a természeti háttérre és az emberábrázolásoknál a helyes arányok megjelenésére. Ekkor szerettem bele *Michelangelo* szobraiba. Ő a márvány holt anyagában ábrázolt alakot élővé tudta tenni. A firenzei Akadémia kiállítótermében a *Dávid*hoz vezető út jobb oldalán a *baldozló rabszolga* karja már élettelenül csüng, mégis az ember önkéntelenül oda akar nyúlni, hogy segítsen. A fiatalkori *Pietán* Mária ölében a holt Krisztus megtört vonalban fekszik, mintha nem akarna teljes súlyával édesanyjára nehezedni. Az épületet, ahova ezt a szobrot tették, szintén *Michelangelo* tervezte. Igaz, ő még a legtökéletesebb mértani testnek, gömbnek (félgömbhéjnak) akarta kívülről is látni a Szent Péter bazilika kupoláját, olyannak, amilyennek a példaképül vett firenzei *Filippo Brunelleschi* tervezte dóm kupolája belülről látszik. Utódai a kor ízlésének megfelelően nyújtották meg azt.

Furcsának tűnhet, hogy „fizikusok” címszó alatt ilyen dolgokról írok, azonban a reneszánsz lényegéhez tartozik, hogy tökéletes volt a harmónia az ember, a természet és az ember alkotásai közt. Azért tudott Leonardo, Michelangelo, Stevin, *Garay*, *Porta* az embereket jól szolgáló, szép eszközöket, épületeket tervezni, mert voltak művészi adottságaik, és egységben látták a teljes emberi kultúrát, ismerték, tisztelték magát az Embert.

Nagyon jó lenne, ha a reneszánsz éve kapcsán nemcsak emlékeznénk, hanem tanulnánk is az akkori emberektől. Ismét *Michelangelóról* írok. Ő maga tervezte a Sixtusi Kápolna mennyezetfreskói elkészítéséhez az állványzatot. Gondos volt a kivitelezés is, így minden rendben folyt. Ezzel szemben nemrég meghalt egy magyar művész-restaurátornő azért, mert a templomban összeomlott alatta az állványzat.

*Simonyi Károly* a reneszánsz eredmények közül a következőket emeli ki: *Domenico de Soto* a szabadesést egyenletesen változó mozgásnak tekintette. *Niccolò Fontana Tartaglia* a lövedék pályáját három szakaszra bontotta. *Giovanni Battista Benedetti* a szabadesésre vonatkozó gondolatkísérletet, Stevin és társa tényleges ejtési kísérletet végzett. *Isaac Beeckman* elméleti úton levezette, hogy a szabadon eső test sebessége arányos az idővel. *Juan Bautista Villalpando* a Földre állított test feldőlésével foglalkozott. *Gerhard Kremer (Mercator)* jó térképeket készített. *Albrecht Dürer* megalapozta az ábrázoló geometria szemléletét. Leonardo összekapcsolta az egyenletesen változó mozgást és a szabadesést, vizsgálta a lejtőn való mozgást.

## Simon Stevin

Ő a reneszánsz ember sokoldalúságának kiváló példája. Szűkszavúan matematikusnak és mérnöknek nevezik, de – továbbra is mai fogalmakat használva – fizikus, csillagász, geográfus, nyelvújító, zeneteoretikus, tanár és közgazdász is volt. Születésének évét (1548/49) és halálának helyét (Hága vagy Leiden, 1620) nem ismerjük pontosan. *Maurice van Nassau* herceg tanácsadója volt. A herceg csinált belőle köztisztviselőt: többek közt szállásmestert a spanyolok ellen folytatott függetlenségi háborúban.

Matematikai képességeit számos területen alkalmazta. Kezdjük a zenével! Galilei apjának, *Vincenzo Galileinek* hatására 1585-ben – a kínai *Csu Cai-jüvel*<sup>1</sup> egyidőben, de tőle függetlenül – megalkotta a billentyűs hangszerek egyenlő közű hangolásának elméletét. Igazán csak az énekesek tudnak egy dallamot a harmonikus „hangolásnak” megfelelően megszólaltatni, azaz úgy énekelni, hogy a hangközök hangjaihoz tartozó frekvenciák egész számok hányadosa legyen, például kisszekund esetén  $25/24 = 1,0417$ . A vonós hangszerek hangolása a kvintekre épül. A billentyű-

<sup>1</sup> A különböző latin betűs átírások szerint: Chu Tsai-Yu, illetve Zhu Zaiyu



De Beghinselen der Weeghconst címlapja a gyöngysorábrázolással

sők játszanak összhangzattani hangzás szempontjából a legrosszabbul, mert náluk a kromatikus skálában (ahol az összes félhangot játsszuk le egymás után) bármely két egymásra következő hanghoz tartozó frekvenciák hányadosa azonos: tizenkettedik gyök 2, azaz közelítőleg 1,059. Ezt találta ki Csü Cai-ju és Stevin. Az egyenlő közű hangolás (zenei szakszóval: egyenletes temperálású hangolás) előnye az, hogy egy dallam bármely hangnemben azonosan jól (illetve a „vájtfülűek” számára azonosan rosszul) hangzik. Tudtam én gimnazista koromban, hogy az egyenlő közű hangolást *Jobann Sebastian Bach* (1685–1750) is népszerűsítette, de hogy ezt a temperálást egy fizikus találta ki, azt most olvastam a neten.

Stevin fogalmazta meg azt a hidrosztatikai tény, hogy az edény aljára a benne levő folyadék által kifejtett nyomóerő csak az edény aljának területétől és a felette levő folyadékoszlop magasságától függ, az edény alakjától független. Ezt hidrosztatikai paradoxonnak mondják, megzavarva ezzel a tizenévesek fejét: miért paradoxon, ha ilyen szép a törvény! (Ha kicsit belegondolunk, láthatjuk, hogy a háttérben meghúzódik az erők felbontása és összetevése, amit majd a lejtőre helyezett testeknél is használ.) *Blaise Pascal* (1623–1662) kieszelt egy pompás kísérletet a hidrosztatikai paradoxon szemléltetésére. „100 fontnyi teherre van szükség ahhoz, hogy egy uncia víznek az edény aljára gyakorolt nyomását kiegyensúlyozzák, a kísérlet során a víz megfagy, és ezután elegendő egy uncia teher. Pascal sajátos pedagógiai érzékkel rendelkezett.” Simo-

nyi Károly fizikatörténeti könyvéből tudtam meg, hogy *Kosztolányi Dezső* Pascalnak tulajdonítja a világirodalom legszebb mondatát: „A végtelen tér örök csöndje megrémít.” Ezután elolvastam a *Gondolatokat*, s még néhány más szépirodalmi Pascal-művet.

Visszatérve Stevinre és a folyadékokra: Stevin tervezett vízimalmot is. Az árapály-jelenséget a Hold vonzásával magyarázta. „Földi yachtjával” vízparton is tudott vitorlázni. 1600 körül huszonhárom társával Scheveningen és Petten között a tengerparti főnyenyen, csupán a szélről hajtva gyorsabban haladtak, mintha lovakkal húzták volna magukat.

Stevin 1586-ban megjelent *De Beghinselen der Weeghconst* című könyvében leírta, hogy társával 30 láb magasságból egyszerre ejtettek le két golyót. (Nekünk nehéz ugyan megértenünk a flamand szöveget, de dicséretes, hogy anyanyelvén s nem latinul publikált!) A golyók egy időben koppantak a földre helyezett deszkán. Csupán egy koppanás hallatszott akkor is, amikor a két tömör ólomgolyó egyike tízszer akkora térfogatú volt, mint a másik, és akkor is, amikor két azonos térfogatú golyót ejtettek, de olyanokat, amelyeknek súlya egy a tízhez arányban állt egymással.

Lehet, hogy nem tudjuk megnézni a gyöngysorábrázolást Stevin sírján, de a most említett, 1586-os könyvének címlapjára biztos, hogy ezt a rajzot tette. Megmutatott ezzel sok dolgot. Megmutatta, hogy kiváló tanár. Nincs erővektor, vektorfelbontás (ezt ő vezette be az erők összetevésének megfordításaként), nem ír fel arányokat, trigonometrikus összefüggést, mégis – vagy talán épp ezért – azonnal látjuk, hogy a gyöngyszemek súlyának lejtővel párhuzamos összetevője fordítottan arányos a lejtő hosszával. (Nem szabad szem elől téveszteni, hogy a ma egykedvűen használt vektorfogalom kialakulására még bő 300 évet kellett várni.) Ugyanehhez az ábrához fűzött magyarázatával, a virtuális munka elvének felhasználásával bizonyítja, hogy nem létezhet örökmozgó.

Stevin javaslatára szerveztek mérnöki kart a Leideni Egyetemen. Itt az első professzor az a *Ludolph van Ceulen* (1540–1610) volt, aki 35 tizedesjegyig kiszámította a  $\pi$  értékét. (Ezért is hivatkoznak a kör kerü-

Stevin földi yachtja korabeli ábrázoláson





Ludolph van Ceulen rekonstruált sírja

letének és átmérőjének hányadosára Ludolph-féle számként.) Ezt a 35 jegyet meg is nézhetjük 2000. július 5. óta a Pieterskerkben (a Péter-templomban), ugyanis rekonstruálták a matematikus 19. század elején eltűnt sírkövét.

Stevin emlékét sokoldalúan ápolják a Leideni Műegyetemen. A róla elnevezett egyesület működképesen megépítette s feltalálójáról nevezte el a földi yachtot.

## Niccolò Fontana Tartaglia

Ő, a „dadogós” (tartaglia), alapvetően matematikus, ilyen szemlélettel foglalkozott ballisztikával, így került be a fizikusok látókörébe. Hadmérnöknek és földmérőnek is tekintik; szerkesztett lőtáblákat, foglalkozott a lejtőn álló testek egyensúlyával, a szabadeséssel. Tervezett erődítményeket és könnyebb használhatóságot biztosító tokot az iránytű számára. Az ő születési éve sem ismert pontosan: Bresciában született 1499-ben vagy 1500-ban. Halálának helyét és idejét ismerjük: Velence, 1557. december 13.

*Quesiti et Inventioni diverse* (Különbé feladványok és megoldások) (Velence, 1546) című művének ajánlásában nagyon szépen fogalmazza meg a reneszánsz kor már taglalt lényegét:

Kiket új dolgok égő vágya izgat  
Mikről nem tudtak Plátón sem Plotinosz  
Sem semmi régi görögök s latinok  
S csak Munka, Mérés, Ész hozott világra.<sup>2</sup>

Alapvetően autodidakta volt: egy keveset tanult ott-hon és Páduában. Később viszont matematikát tanított

<sup>2</sup> Forrás: *Ponticulus Hungaricus*, IV. évfolyam 11. szám, 2000. november, © Vekerdi László

Veronában és Velencében. Értetlenül állok az előtt a tény előtt, hogy aki olyan kiváló matematikus, hogy általános eljárást talált a harmad- és a negyedfokú egyenlet megoldására, hogyan tudott a hajtásokkal kapcsolatban megmaradni Arisztotelész és francia követőinek befolyása alatt, az impetuselméletnél. Hogyan állíthatta az 1537-ben megjelent *Nova Scientia* című könyvében azt, hogy a kilőtt ágyúgolyó először egyenes vonalban, majd körpályán, végül függőlegesen lefelé halad? Meglepett, hogy Simonyi Károly is ebből a könyvből vette a három szakaszra osztott ferde hajtás illusztrációját. Ugyanis a fent említett, 1546-os Tartaglia-könyvben már az áll, hogy a pályának egyetlen része sem egyenes. *Pierluigi Pizzamiglio*, az Università Cattolica del Sacro Cuore matematikaprofesszora digitalizálta Tartaglia összes írását. Ha beletekintünk a CD-kbe láthatjuk, hogy Tartaglia nem végzett kísérleteket, matematikai modell alapján dolgozott, azonban így remekül közelítette meg a mozgás elemzését, hisz tudta, hogy 45 fokos kilövés esetén jut legmesszebbre az ágyúgolyó.

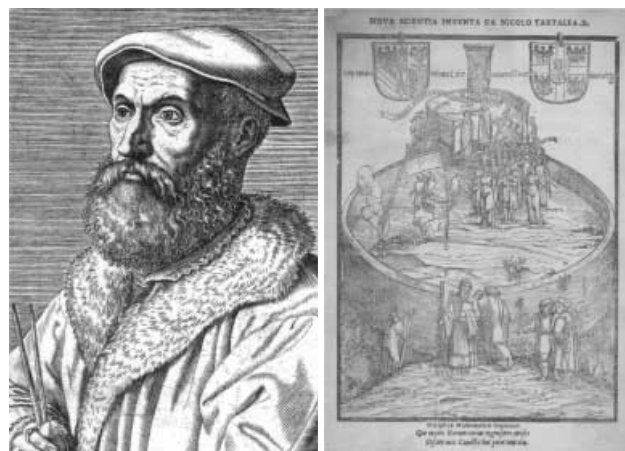
## Giovanni Battista Benedetti

A reneszánsz szellemi kapcsolatainak, tanítványi vonulatának fontos láncszeme Benedetti. Tartaglia tanítványának fő műve az 1585-ben megjelent *Diversarum Speculationum*. Ennek a szabadeséről szóló fejezetei készítették Galileit ilyen jellegű kísérleteinek megtervezésére, illetve elvégzésére. A könyv második kiadása, a *Speculationum liber*, halála után, 1599-ben látott napvilágot. *Stillman Drake* szerint ez a könyv tartalmazza a Galilei előtti legfontosabb itáliai hozzájárulást a fizikai gondolatokhoz.

Benedetti Velencében született 1530. augusztus 14-én. A páрмаi herceg udvarában matematikusként alkalmazták, majd 1567-től haláláig, 1590. január 20-ig Savoya hercegének tanácsadója, udvari filozófusa volt Torinóban.

Matematikai képzettsége segítette abban, hogy nemcsak Galileit előzte meg a szabadeséről vallott gondolataival, hanem hidrosztatikai meglátásaival Stevin, a perspektív ábrázolásban pedig *Guido Ubaldo*

Niccolò Fontana Tartaglia és egy lap a *Nova Scientiából*





*del Monte* előfutára volt. Ha szeretnénk saját tulajdonú könyvünkben megnézni azt az egész oldalas fametszetet, amely a perspektív ábrázoláshoz használható Benedetti-eszközt mutatja, akkor 11500 euróra van szükségünk. Ennyiért kapható a torinói korszakból, 1574-ből származó *De gnomonum umbrarumque solarium usu liber* című Benedetti-mű kézírata. A kevésbé tehetős érdeklődők viszont 15 euróért az internetről letölthetik az egészet.

Abban az időben ez a könyv volt a napórák készítéséről és használatáról szóló legátfogóbb tanulmány. A képalkotással már 1585-ös könyvében is foglalkozott. Leírta például azt, hogy egy 45 fokban állított tükör segítségével a lencse által alkotott képet meg tudjuk fordítani. Figyelemre méltó zenei ismeretei is voltak. 1563-ban egy levelében konszonáns hangzatról, az azokat előállító levegőrezgésekről, hanghullámokról értekezett.

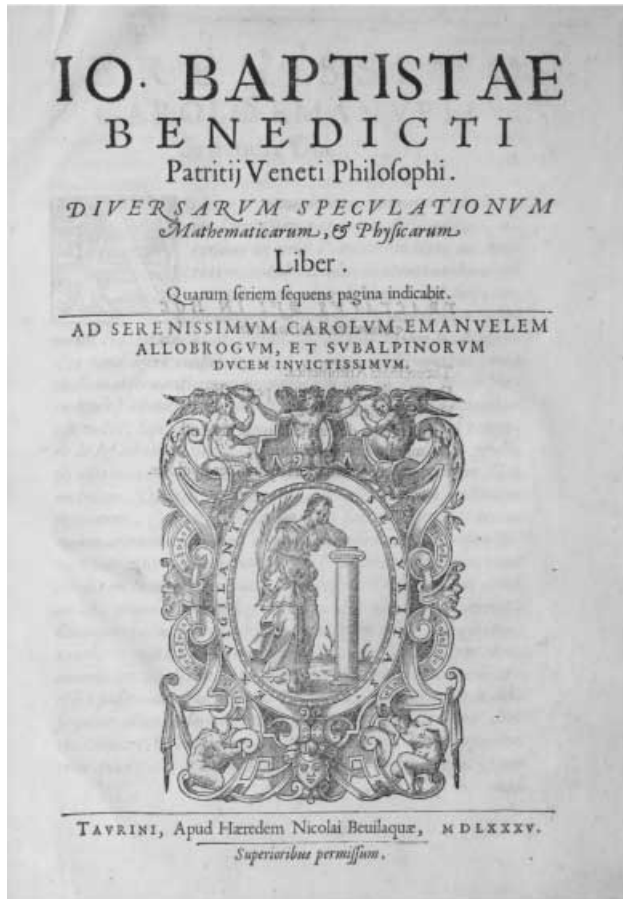
Mechanikai gondolatai közül még megemlíthetjük, hogy Benedetti ismerte az emelőtörvényt, a centrifugális erőt, s vallotta: ha a centrifugális erő megszűnik, akkor az adott test a körpálya érintőjének irányába távozik.

## Giambattista della Porta

1535. november 15-én született Nápolytól 12 mérföldre délre, Vico Equensében. Ez a sokoldalú autodidakta tudós Nápolyban élt, ott is halt meg 1615. február 4-én. Valódi reneszánsz csodabogár volt. Drámaíróként ismerték, ugyanakkor műszaki területen is alkotott: hidraulikával, hadmérnöki munkákkal, gépekkel, és gyógyszerekkel foglalkozott. Ő írta korának legátfogóbb művét a titkosírásokról: *De Furtivis Literarum Notis* (1563) címmel.

Foglalkozott okkult filozófiával, asztrológiával, alkimióval, filozófiával, mezőgazdasággal (*Villa*, 1583–92), s szerencsénkre meteorológiával és matematikával, fizikával is. Érdekeltek az archerendezések, fejformák jellegzetességei (*De humana physiognomonia libri III*, 1586), ő maga is híve volt annak az el-

Giambattista della Porta és a *Magiae Naturalis* angol kiadása



Giovanni Battista Benedetti 1585-ben megjelent *Diversarum Speculationum*ja

képzelésnek, amely szerint az emberi és állati külső hasonlóságokból következtetéseket lehet levonni az ember belső tulajdonságaira. A kötetet különösen érdekesítővé teszik a szerző szerint korrelációt mutató emberi és állati arcomat, fejeket bemutató fametszetek. Volt saját (magán) természettudományi műzeuma, sok ritka tárgyval és egzotikus növényvel.

*William Gilbert* előtt írt a mágnességről. Számon tartják Portát mint a hőmérő, a holland távcső és a gőzerővel történő vízemelés feltalálóját. A vízemelésnél csak ismétli *Heront*, illetve közvetlen elődeit, nem alkotott újat sem az elméleti indoklásnál, sem pedig a kísérleti kivitelezés területén. *Johann Mathesius* említi 1562-ben, hogy a szász bányákban Heron módszerét használják vízemelésre. Heront ismételte V. Károly kapitánya, a tengerészeti találmányairól ismert *Blasco de Garay* is 1543. június 17-én. A kiáramló gőz erejével hajtotta 200 tonnás *Trinity* nevű hajóját, gabonát szállítván Colibre-ből Barcelonába.

Porta foglalkozott a színszórás elméletével és a sötétkamra képének megjavításával. Ez utóbbit úgy érte el, hogy gyűjtőlencsét tett a kamra nyílásához.

1580 táján ő alapította Európa első tudományos társaságát, az *Accademia dei Segretit*, közismertebb nevén az *Otisit*. Porta inspirálta a Római Akadémia (*Accademia dei Lincei*) 1603-as megalakulását is. Ő maga 1610-ben, Galilei 1611-ben lett a „Hiúzok Akadémiájának” tagja.

A reneszánsz közvetlen hatásként jött létre az *Accademia del Cimento*. Eötvös Loránd a Magyar Tudományos Akadémia 1899. május 7-i ünnepi közgyűlésén tartott elnöki megnyitó beszédében méltó módon emlékezett meg az Accademiáról: „Egy rövid évtizedben egymást követve született meg az Accademia del Cimento Florenczben, a Royal Society Londonban és a párizsi akadémia. Az első, a fejedelmi kegy védelme alatt gyorsan felvirágzó, elmúltával pedig már tíz-éves fennállás után elenyésző Accademia del Cimento, a közös cél elérésére irányított összetartó munkálkodásnak oly eszményi példáját adta, melyhez fogható az emberi törekvések történetében csak ritkán, a tudományok történetében pedig egyáltalában nem találunk. Tagjai mintegy kivetkőzve saját egyéniségökből, egy tudományos egyénné forrtak össze s munkálkodásuk eredménye úgy áll ma előttünk, mint egy egyetlen hatalmas szellem alkotása. Az az értékes kötet, mely ez eredményeket magába foglalva 1667-ben jelent meg, szerzőjéül csak az akadémiát nevezi, elhallgatva azok neveit, kik hozzájárultak, úgy hogy ma a tudomány történetírója alig tudja megállapítani, kinek mi része volt benne. A tudományos feladatokat tekintve, melyeket ez a tudós testület magának kitűzött, figyelemreméltó, hogy javarészők a hőmérséklet, a nyomás és a sűrűség mérésére, azaz olyan kérdé-

sekre vonatkozik, melyeknek megoldása a tudósok munkásságának tervszerű egyesítését napjainkig újra meg újra szükségessé tette.”

Most már több forrásból is tudhatjuk, hogy a patrónus, *Frederico Cesi* halálával az 1603-ban Rómában alapított Accademia dei Lincei 1630-as felbomlása után a tudományos élet központja Nápolyba (*Accademia degli Investiganti*, 1650) és Firenzébe került. A firenzei akadémiát két Medici testvér: Leopold herceg és II. Ferdinánd toszkánai nagyherceg hívta életre. Galilei kísérleti módszerére alapoztak, azaz a természetfilozófiai elvek szigorú kísérleti ellenőrzése volt kitűzött fő céljuk. A címerükben megfogalmazott jelmondatuk: „Provando e riprovando”, azaz „Próbálkozás és ismételt próbálkozás”. Összejöveleiket a csodálatos Palazzo Pitti épületében tartották. Nem volt hivatalos tagfelvétel. Az ülések kilenc állandó tagjáról tudunk. Megállapíthatjuk, hogy az Accademia hidat képezett a reneszánsz és a modern tudomány között.

#### Irodalom:

- Dugas R.: *A History of Mechanics*. Courier Dover Publ., 1988.  
 Gingyik S. G.: *Történetek fizikusokról és matematikusokról*. Typotex, Budapest, 2003.  
 Hoppe E.: *Geschichte der Physik*. Vieweg, Braunschweig, 1926.  
 Simonyi K.: *A fizika kultúrtörténete*. 2., bővített kiadás, Gondolat, Budapest, 1981.

## A HANGGAL TÖRTÉNŐ ELEKTROMOS TÁVKAPCSOLÁS ÖTLETE

– Klupathy Jenőre emlékezve

Kis Domokos Dániel  
 Országos Széchényi Könyvtár

A fizikus *Klupathy Jenő* a hazai tudományos élet egyik érdekes alakja volt: kiváló tanár, fogékony a kor minden új vívmányára, számos újítása és szabadalma is volt. Alighanem az egyik legizgalmasabb, sajnos, azóta elfeledett ötlete a hanggal történő elektromos távkapcsolás, amelynek szabadalmát 100 éve, 1908-ban nyújtotta be *Berger Krisztiánnal*<sup>1</sup> együtt. Ennek gyakorlati kiaknázására alakult meg New Yorkban a *Submarine Wireless Company*, melyről a *New York Times* 1912. augusztus 28-i száma is beszámolt.

A találmány alapelve, hogy a vizet, mint rugalmas közeget és jó hangvezetőt használja fel a hatás tovább-



bítására. Itt jegyezzük meg, hogy a tudomány mai állása szerint a legjobb ilyen réteg az úgynevezett mélyvízi hangvezető csatorna, amely az óceánban mintegy 1 200 méter mélyen található. „Berger–Klupathy berendezése a feladó állomáson víz alatti hangfejlesztőből, a fogadó állomáson hangfelfogóból áll. A Berger–Klupathy-féle hangfejlesztő több alakja ismeretes, melyek közül különösen figyelemreméltó az, amely szapora víz alatti robbanások segélyével állítja elő a hangot, továbbá egy tiszta zenei hangokat adó berendezés, amely főleg a víz alatti naszádok közötti telegráfózás dolgában nagy haladás. A találmány továbbfejlesztését egy kísérleti társaság végzi s az osztrák–magyar haditengerészet is támogatja.” – olvashatjuk a korabeli összefoglalóban.<sup>2</sup> A találmány további sorsáról sajnos nincs tudásunk.



Klupathy Jenő Kassán született 1861. október 21-én, *Klupathy Antal* építésszermérnök, volt 1848/49-es őrnagy és *Janik Mária* negyedik gyermekeként. Bátyja,

<sup>1</sup> Berger Budapesten született 1878-ban, 1908-ban Klupathy adjunktusa lett, korábban Münchenben *W. C. Röntgen* laboratóriumában dolgozott. Berger – professzorával végzett kísérletei alapján – Magyarországon először számolt be arról, hogyan lehetséges fotográfiaik továbbítása elektromos úton (*Természettudományi Közlöny*, 1907. 684–690.).

<sup>2</sup> *Révai Nagy Lexikona* 3. kötet Budapest, 1911. 153.

ifjabb Klupathy Antal, a majdani híres jogtudor, egyetemi tanár. Klupathy Jenő alsóbb iskoláit szülővárosában járta ki, majd egyetemi tanulmányait Budapesten, Würzburgban, Berlinben végezte, közben tanulmányutakat tett Olaszországban, Franciaországban és Angliában. Főgimnáziumi tanár volt a VII. kerületben, a mai Madách Imre Gimnáziumban (1888–1894-ig), közben a budapesti Tudományegyetemen a Kísérleti Fizikai Intézetben báró Eötvös Loránd asszisztense lett.

De a fiatal házsnak – felesége Kőlcsey Hedvig – nem volt könnyű a helyzete, mint egyetemi adjunktusnak sem. 1902-ben szeretne volna elnyerni a kolozsvári Ferencz József Tudományegyetemen a megüresedett Kísérleti Fizikai Tanszéket. Apáthy István kolozsvári egyetemi tanár támogatását kérte ehhez: „Nekem itt annyira szétforgácsolódik az erőm, a többféle elfoglaltság folytán, hogy nagyon szeretném ezt az alkalmat megragadni a nyugodt, koncentrált munkálkodásra. Jelenlegi laboratóriumom olyan primitív, hogy egy jobb mérő eszközt sem állíthatok fel benne, ez az oka, hogy az utóbbi években csak vázlatos dolgozatokat készíthettem, a végleges kidolgozást arra az időre tartom fenn, a mikor módomban lesz azt elvégezni. A ministerium éppen most bízott meg Eötvös báró ajánlatára a Kísérleti fizika tudományos kézikönyvének – egyetemi hallgatók igényeinek megfelelő – megírásával, erre is nyugalomra van szükségem.”<sup>3</sup>

Az állást végül nem nyerte el, de a következő évben, 1903-ban Budapesten az újonnan szervezett Gyakorlati Fizika tanszékre kapott rendkívüli, 1908-ban pedig nyilvános rendes tanári kinevezést. 1910-ben a II. számú Fizikai Intézet megszervezőjeként lett annak igazgatója.

Kutatásai közül kiemelkednek azok, amelyek a katód sugarak vizsgálatára irányultak. A folyadékok szilárdságáról akadémiai értekezéseiben számolt be. Tökéletesítette a vetítési célokat szolgáló ívlámpát. Az egyetemi oktatás egyik fő céljaként kitűzött kutató-, illetve tanárképzés feladatát remekül látta el. Professzorával, Eötvös Loránddal együtt az oktatásba bevont egyre több kísérlet és kísérleti eszköz révén a felismerés élményét adó gondolkodásra tanítást egyik kezdeményezője, egyúttal az egyetemisták spor-

## SZECHENYI COMPANY USES HIS INVENTION

The Count's Submarine Wireless  
Tried Out by Torpedo Boat  
at Newport.

### SECY MEYER INTERESTED

Tests, Carried on Secretly with Assistance of Naval Authorities, Gave Much Promise of Success.

Count Laszlo Szechenyi, who married Gladys Vanderbilt, is the inventor of the submarine wireless telegraph, which the Submarine Wireless Company was formed to exploit, according to David C. Watts of 123 East Fifty-seventh Street, one of the incorporators.

The company was incorporated on Monday at Albany after a telegram announcing a successful test of the invention had been received from Newport, where experiments have been made.

Count Szechenyi tried to arrange several months ago to experiment with his submarine wireless apparatus in New York Harbor, Mr. Watts said last night, but the attempt was given up because a vessel suitable for the tests could not be found. Later Count Szechenyi laid his plans before Secretary of the Navy Meyer. Seeing the possibility that the invention might become of value in communication at sea, Secretary Meyer became interested at once and placed a torpedo boat in Newport Harbor at the disposal of the inventor.

A series of experiments was conducted between the torpedo boat and an experiment station which was constructed in Newport Harbor and equipped with the submarine wireless apparatus.

The invention is said to be an application of the principle of the wireless telegraph. The instruments invented by Count Szechenyi are for sending and receiving sound-wave vibrations under water.

The tests have been conducted with great secrecy by naval officers and Count Szechenyi and his representatives. The knowledge that the experiments were taking place was confined to those interested in the invention and a few members of the Navy Department. The first public announcement of new submarine wireless telegraph came on Monday when the company was incorporated.

The trials, it is said, were most thorough, and it was not until the Navy Department was satisfied that the invention was promising that Count Szechenyi and his associates decided to take the step of forming a company and making public their work in a new field of communication. The dispatching of the success in sending messages through water was received in this city last week.

Count Szechenyi left Newport while the series of tests was in progress, leaving a representative to keep him informed as to the results. He spent much of his time in Newport before sailing for Liverpool a few weeks ago on his way to his home in Hungary.

John M. Russell and Eugene V. Robinson, law partners at 111 Broadway, who are among the incorporators, both left the city yesterday morning. Mr. Russell went to Newport to be present at a demonstration of the submarine wireless, and Mr. Robinson went to Washington, where, it is said, he will interview the naval authorities who have been following the tests at Newport.

Mr. Watts, the only one of the incorporators in the city last night, was not able to tell the distance that sound waves could be sent under water by the submarine wireless. He said that Count Szechenyi had been experimenting with his invention for several years, and was also working on several other electrical devices at the present time.

Count Szechenyi is 52 years old. His marriage to Gladys Vanderbilt took place in 1908. His father, Count Emerick Szechenyi, was at one time Austrian Minister at the Court of Berlin. His grand-uncle, Istvan Szechenyi, was a famous patriot of Hungary. Countess Szechenyi did not go to Europe with her husband on his last trip, and is now staying at the home of her mother in Newport.

A New York Times cikke

tolásba történő bevonásának egyik legfőbb szorgalmazója volt.



A Magyar Tudományos Akadémia Matematikai és Természettudományi Osztálya kezdeményezésére 1899-ben létrejövő Uránia Magyar Tudományos Egyesület tiszteletbeli társelnökének választották Eötvös Lorándot. Eötvös javaslatára Klupathy tartotta az első mintegy 30 perces, diaképekkel kísért előadást *Mikor a levegő cseppfolyóssá válik* címmel az Uránia Magyar Tudományos Színházban, azaz a mai Uránia mozi épületében. 1900-ban, a társaság folyóiratának egyik szerkesztője, egyben az egyesület főtársa lett.

Klupathy tanári lelkiismeretességét és széles látókörét is bizonyítja egy, 1906. október 13-án szerkesztőtársának, legifjabb *Szász Károlynak* írt levele: „Gondolkodni kell a Washington és a Semmelweis emlékekből közlendő képekhez a szövegről, továbbá a Rákóczy-ünnepséget is méltatni kellene s különösen megfelelő képeket hozni. Azt hallottam tegnap Viktortól [Molnár Viktor], hogy a szépművészeti múzeumban van két új gyermek-képe Rákóczynak, valaki pedig említette, hogy b. Forsternél ereklye-képek vannak. Te talán hozzájuthatnál ezekhez. Nálam több apró czikken kívül van a b. Eötvös előadása, a melyet a fokmérő-congressuson tartott. Ezt le kell fordítanom németből és bevezetést írok hozzá, hogy olvasóink tájékozva legyenek. Ezt szeretném első cikknek tenni, annyi- val inkább, mert a Rákóczy-czikk, képei miatt, ugyanis csak a végére jöhet technikai okokból.”<sup>4</sup>

Az *Uránia* novemberi számában a megvalósulást tetten is érhetjük: mindjárt az elején Eötvös előadása, *Báró Eötvös Loránd Föld-kutatásai* címmel,<sup>5</sup> számos képpel illusztrálva. Rákócziról pedig *Békefi Remig* egyetemi tanárnak a budapesti Tudományegyetem Rákóczi-ünnepélyén tartott emlékbeszéde volt olvasható.<sup>6</sup> A tervezett képek ezúttal valahogy elmaradtak.

Az *Urániától* annak egyik főszerkesztőjeként 1912-ben mondott búcsút az általa vezetett II. számú Fizikai Intézetben végzett fárasztó munkájára hivatkozva, hogy alig tíz évre rá, elhatalmasodó betegsége miatt

<sup>4</sup> OSZKK Leveléstár.

<sup>5</sup> *Uránia*, 1906. 421–432.

<sup>6</sup> Uo. 432–437.

<sup>3</sup> Klupathy Jenő Apáthy Istvánnak. 1902. ápr. 3. OSZKK Leveléstár.

ezt is feladni kényszerüljön, majd 1931. március 2-án végleg eltávozzék, szinte már életében elfeledve.



Klupathy Jenő hosszú ideig volt Eötvös Loránd adjunktusa, tehát egyik legközelebbi munkatársa a Tudományegyetemen. Több kísérletet együtt végeztek. *A fizikusok közül Klupathy készítette Magyarországon az első röntgenfelvételeket.* Ezek közül az egyik leghíresebb felvétel Eötvös kezéről készült, amely több korabeli folyóiratban is napvilágot látott és szenzációt keltett.<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Eötvös Loránd[!] tudományos kísérlete. *Nemzeti Ujság*, 1896. január 11.; Wartha Vince: A Röntgen-féle új fajta fotografiákról. *Természettudományi Közlöny*, 1896. 53–54.; a képet a *Vasárnapi Ujság* is közzétette, és több monográfia is átvette. Megtalálható a folyóiratunkban is, Radnai Gyula: Az Eötvös-korszak. *Fizikai Szemle* 41 (1991) 341. (Megtekinthető a [www.fizikaiszemle.hu](http://www.fizikaiszemle.hu) honlapon.)

A geofizikus *Pekár Dezső*, Eötvös tanítványa és geofizikai kutatásainak folytatója így emlékezik vissza: „Az 1895 év végén megjelent bizonytalan újsághírek alapján Eötvös buzdítására végeztük Klupathy Jenővel együtt azokat a kísérleteket, amelyekkel Magyarországon az első Röntgen képeket előállítottuk.”<sup>8</sup>

Klupathy Jenőről szólva ne csak a kiváló tanárra, kísérletezőre, újítóra, tudósra, hanem a magyar ismeretterjesztésen túl a sportos élet jeles szervezőjére is emlékezzünk, hiszen 1898. november 5-én az ő szorgalmazására és közreműködésével jött létre a *Budapesti Egyetemi Athletikai Club*, azaz a *BEAC*, amelynek Eötvös Loránd tiszteletbeli elnöksége mellett Klupathy hosszú éveken át, 1912-ig volt tanárelnöke.

<sup>8</sup> Pekár Dezső: *Báró Eötvös Loránd. A torziós inga ötven éves jubileumára.* Budapest, 1941. 12–13.

## A FIZIKA TANÍTÁSA

# MITŐL PEZSEG A PEZSGÓ?

– Hogyan mozognak a buborékok a pezsgőben?

Nagy Anett

Radnóti Miklós Gimnázium, Szeged

A fizika a körülöttünk levő világról szól, így még a legegyszerűbbnek tűnő jelenség alaposabb megvizsgálásához is nélkülözhetetlen. A pezsgős pohárban látható gyönyörű buborékláncok kialakulását és a buborékok mozgását is a fizika törvényeivel érthetjük csak meg. A következőkben megmutatjuk, hogy egy egyszerű fényképezőgép, egy számítógép, egy jó (!) pezsgőspohár és néhány üveg pezsgő segítségével hogyan mélyedhetünk el a buborékok mozgásának rejtjeleiben.

## A táncoló mazsola, avagy a pezsgő ördöge

A hétköznapi eszközökkel végzett kísérletek nemcsak az iskolában használhatók fel a diákok tanítására, hanem az iskolán kívül is segíthetnek a fizika népszerűsítésében. Ezt már sokan és régen felismerték, amire jó példa lehet a következő kísérlet, amely egy 1903-ban kiadott könyvből származik. A kor hangulatát és beszédstílusát felelevenítve eredeti szövegezéssel is bemutatható és magyarázható a kísérlet. A kísérletet a leírás szerint „vidám lakoma végén kell elvégezni és magyarázatát a csodálkozó közönségnek azonnal meg kell adni” (1. ábra) [1].

Az írás témája már felbukkant egy előző cikkben, mint az egyszerű eszközökkel végezhető kísérletek egyik lehetősége: Papp Katalin, Nagy Anett: Public relation és a fizikatanítás. *Fizikai Szemle* 57/1 (2007) 18.

„Vidám lakoma végén, mikor a pezsgős palackok szaporán ürülnek és szítják a jókedvet, ajánlkozzál, hogy földézed a társaság megrettentésére magát a Sátánt, mégpedig anélkül, hogy a középkorban dívott hókuszpókuszhoz folyamodnál. A csemegés táblól

1. ábra. A pezsgőben fel-le mozgó szőlőszem egy léchez köthető, melynek másik végére kis tárgyak helyezhetők.





keress ki egy nagyobb szem jó száraz malaga-szőlőt, töltsd egy poharat tele pezsgóval és ejtsd bele a malaga-szőlő szemet. Csakhamar megindul a produkció. A pezsgőborból kifejlődő szén-sav apró buborékokban lepi el a szőlőszemet s olyan hatással van rá, mintha valamely tárgyat léggömbök emelnének föl. Néhány másodperc alatt a szén-sav-buborékok fölemelik a szőlőszemet a pohár felszínére. A szőlőszemről azonban, mielőtt a pohár felszínére ér, elillannak a szén-sav-buborékok, a szőlőszem visszanyeri súlyát és lemerül a pohár fenekére. A pohár mélyén a szén-sav-buborékok aztán újra megkönnyítik a szőlőszemet, az újra felemelkedik, aztán megint lemerül s ez a hintázás eltart vagy tíz percig, amíg tudniillik a pohárban levő pezsgóból a szén-sav mind el nem szállt.”

## A CO<sub>2</sub> buborékok mérete és mozgása

Ez a látszólag egyszerű jelenség számos kérdést vet fel. Mitől „pezseg” a pezsgó? Mitől alakulnak ki a buborékok a pezsgóban és miért alkotnak hosszú láncot miközben a felszínre jönnek? Milyen törvények írják le a buborékok mozgását?

Az első kérdésre az a válasz, hogy a pezsgó oldott szén-dioxidot tartalmaz, még hozzá magasabb koncentrációban, mint a folyadék feletti levegő. A gyártás során a 200–500 kPa nyomáson megtöltik szén-dioxiddal az üveget, majd beletöltik a folyadékot (pezsgő, ásványvíz, üdítő). A gázok oldódási képessége növekszik a felette levő gáz nyomásának növelésével. A zárt, feltöltött üvegben a folyadék felszíne felett dinamikus egyensúlyi állapot alakul ki a folyadékban oldott és a gáz állapotú CO<sub>2</sub> között. Minél hidegebb az üdítő vagy a sör, annál nagyobb az oldott állapotú CO<sub>2</sub> mennyisége. Amint felnyitjuk az üdítő üveget, az egyensúly felborul és az oldott állapotú gáz buborék formájában fokozatosan elhagyja a folyadékot.

Érdeemes megvizsgálni, hogy arányában átlagosan mennyi szén-dioxid szabadul fel a szénsavas üdítők-ből. Az üvegek címkéjén található adatok szerint a legtöbb üdítőital legalább 4,9 g CO<sub>2</sub>-t tartalmaz literenként. A periódusos rendszer szerint a CO<sub>2</sub> moláris tömege 44 g. Egy mol gáz térfogata normál légköri nyomáson és szobahőmérsékleten 25 dm<sup>3</sup>. Ezek alapján az ideális gáztörvény segítségével megbecsülhető egy 0,5 literes üdítőben található oldott CO<sub>2</sub> térfogata:

$$V_{\text{CO}_2} = \frac{4,9 \frac{\text{g}}{\text{l}} \cdot 0,5 \text{ l}}{44 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \cdot 25 \frac{\text{l}}{\text{mol}} \approx 1,4 \text{ l} \quad (1)$$

Vagyis a kapott térfogat majdnem háromszor akkora, mint az üdítőital térfogata! A meglepő eredményt értelmezve a diákok egy része felvetheti, hogy az oldott gáz egy része nem tudja elhagyni a folyadékot, hiszen a körülöttünk levő normál légköri nyomás 100 kPa. Vegyük figyelembe tehát azt, hogy az üdítő üvegekben túlnyomás uralkodik, átlagos esetben ez a normál

légköri nyomás kétszerese. Ezek alapján a 0,5 literes üdítő üvegből felszabadult CO<sub>2</sub> térfogata 0,7 dm<sup>3</sup>. Tehát a szénsavas üdítőitalban oldott gáz térfogata nagyobb mint a folyadék térfogata [2].

A második kérdés megválaszolásához figyeljük meg a buborékképződés mechanizmusát. A folyadék belsejében a gáz apró buborékokban gyűlik össze, amelyek elérve egy bizonyos kritikus méretet feljönnek a felszínre. A buborékok azonban nem a folyadék belsejében keletkeznek, hanem a pohár belső felületén bizonyos pontokban. A felszín mikroszkopikusan kicsiny sérüléseiben megfelelőek a feltételek a buborékképződésekhez. A mazsola, földimogyoró vagy más tárgyak nem szabályos felszínük miatt szintén jó lehetőséget biztosítanak a buborékok kialakulására. A keletkező buborékok akkor szakadnak le a pohár felszínéről, amikor már elérték egy kritikus méretet. Ekkor a rájuk ható felhajtóerő meghaladja a buborék és az üveg között fellépő adhéziós kölcsönhatás nagyságát. Ez azonban nagyon rövid idő alatt bekövetkezik, mivel *Ucke* szerint [5] a felhajtóerő a buborék térfogatával, vagyis a sugár harmadik hatványával arányosan nő, míg az adhéziós erő legfeljebb a buborék felületével, így a sugár négyzetével arányos. Ez azt jelenti, hogy az adhéziós erő a buborék sugarának növekedésével lassabban nő mint a felhajtóerő. Miután a buborék elhagyja keletkezési helyét, ott egy újabb keletkezik, ami szintén elérve a kritikus tömeget követi az előző buborékot egészen a felszínig. A buborékok mozgását alaposabban megfigyelve látható, hogy a buborékok mérete egyre növekszik miközben feljutnak a folyadék felszínére. A vizsgált folyadékban a pohár faláról levált buborékok mérete legalább a kétszeresére nő, amíg a felszínre jutnak. Ha ez a növekedés a hidrosztatikai nyomás csökkenésével lenne magyarázható, akkor a pohár alján a nyomásnak kétszer nagyobbna kellene lennie a normál légköri nyomásnál. Ez azt jelentené, hogy a buboréknak legalább 10 m-t kellene emelkednie a folyadékban. Egy átlagos pohár magassága 15–20 cm. Tehát a buborékok méretének növekedése nem magyarázható a hidrosztatikai nyomás csökkenésével. A buborékok mérete azért növekszik a felszínre jutás során, mert nemcsak a keletkezéskor, hanem a mozgás során is CO<sub>2</sub> molekulák jutnak a buborékokba.

Érdeemes néhány számítást elvégezni a széndioxid-buborékok mozgásával kapcsolatban. Amint az üdítő üveget kinyitjuk, az oldott szén-dioxid parciális nyomása a folyadékban nagyobb, mint a buborékokban levő szén-dioxid nyomása, ezért az oldott szén-dioxid a buborékba áramlik. Mivel ez a nyomáskülönbség megközelítőleg állandó a felnyitás után bizonyos ideig, feltételezhetjük, hogy a buborék méretének növekedése arányos a buborék felszínének változásával [3].

Ha feltételezzük, hogy a buborék megközelítőleg gömb alakú, és  $N$  a buborékon belüli a széndioxid-molekulák száma,  $\gamma$  pedig az arányossági tényező, akkor jó közelítéssel

$$\frac{dN}{dt} = \gamma 4 \pi r^2. \quad (2)$$

Ez az összefüggés azért írható fel ilyen egyszerű formában, mert az üdítő ital állandó hőmérsékletet, a légkör pedig állandó nyomást biztosít. Tegyük fel azt is, hogy a pezsgőben, vagy az üdítőben található szénsav eleget tesz az ideális gázok állapotegyenletének, ahol tehát a nyomás és a hőmérséklet állandónak tekinthető a megfigyelés idejére:

$$pV = NkT, \quad (3)$$

ahol  $p$ ,  $T$  és  $V$  a buborék nyomása, hőmérséklete és térfogata. Mivel  $p$  és  $T$  állandó, az idő szerinti differenciálva az egyenlet mindkét oldalát a következő eredményre juthatunk:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{p}{kT} \frac{dV}{dt} = \frac{p}{kT} 4\pi r^2 \frac{dr}{dt}. \quad (4)$$

A 2. egyenlet felhasználásával:

$$\frac{\gamma kT}{p} = \frac{dr}{dt}. \quad (5)$$

A differenciálegyenlet megoldása:  $r = r_0 + ut$ , ahol  $r_0$  a kezdeti sugár és  $u = \gamma kT/p$ , a buborék sugarának növekedési sebessége. A buborékok növekedésével kapcsolatos elméleti modell helyességének igazolására érdemes kísérleti eljárást kidolgozni. Mivel a pezsgőben vagy a sörben a buborékok gyönyörű láncot alkotva (2. ábra) jutnak a felszínre, lehetőségünk van néhány egyszerű mérés elvégzésére [3].

Az előbbieket szerint a pohár felszínén, bizonyos pontokban keletkeznek a buborékok, majd egy kritikus méretet elérve elhagyják keletkezési helyüket. Amint elváltak a pohár felszínétől, az adott pontban újabb buborék keletkezik. Mivel minden buborék ugyanazon a folyamaton megy keresztül, feltételezhetjük, hogy megközelítőleg egyenlő idők telnek el a buborékoknak a pohár felszínéről való leválása között. Így ha megszámoljuk, hogy a buborékláncban adott idő alatt hány buborék jut el a felszínre, következtethetünk a buborékok felszínről való leválásának sebességére. A kísérletet sörrel elvégezve azt tapasztaltuk, hogy átlagosan 112 buborék ért az adott láncból a folyadék felszínére 1 perc alatt. Ez azt jelenti, hogy 0,53 másodpercenként hagyja el egy-egy buborék a pohár felszínének adott pontját. A kísérletet száraz pezsgővel végezve 20 s alatt átlagosan 70 buborékot számoltunk meg, amely azt jelenti, hogy egy buborék keletkezéséhez és elszakadásához átlagosan 0,28 másodpercre van szükség.

A buborékok méretének vizsgálatakor nem szabad figyelmen kívül hagynunk, hogy mind a folyadék, mind a pohár fala megváltoztatja a buborék látszólagos méretét. A buborékok nagyobbak látszanak, mint amilyenek valójában. A buborékok tényleges sugarát és a közöttük levő távolságot például egy ismert



2. ábra. A pezsgőben kialakuló buboréklánc

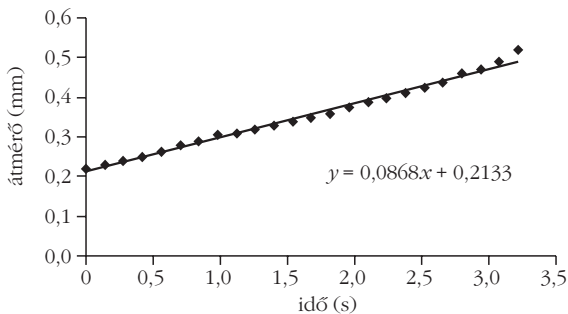
1. táblázat

**A buborékok mozgását jellemző mennyiségek**

a buborék korrigált átmérője (mm)	a buborékok keletkezése közötti idő (s)	távolság a buborékok között (mm)	a buborék által megtett út (mm)
0,220	0,00	0,00	0,00
0,230	0,14	0,52	0,52
0,240	0,28	0,66	1,18
0,250	0,42	0,79	1,97
0,265	0,56	0,87	2,84
0,280	0,70	1,05	3,89
0,290	0,84	1,15	5,04
0,305	0,98	1,36	6,40
0,310	1,12	1,40	7,80
0,320	1,26	1,70	9,50
0,330	1,40	1,81	11,31
0,340	1,54	2,01	13,32
0,350	1,68	2,49	15,81
0,360	1,82	2,48	18,29
0,376	1,96	2,79	21,08
0,390	2,10	2,93	24,01
0,400	2,24	3,20	27,21
0,411	2,38	3,92	31,13
0,425	2,52	4,02	35,15
0,440	2,66	4,31	39,46
0,460	2,80	4,52	43,98
0,470	2,94	4,47	48,45
0,490	3,08	4,63	53,08
0,520	3,22	4,40	57,48

átmérőjű, azonos távolságokban megjelölt drót segítségével mérhetjük meg. Helyezzük a drótot a folyadékba a buboréklánc mellé. Fényképezzük le a buborékokat a dróttal együtt. A képet kinagyítva a drót valódi átmérőjének és a beosztások közötti távolságnak az ismeretében meghatározható a buborék sugarának változása a felszínre jutás során. Kísérletünkben a függőleges mozgás miatti esetleges torzulás elkerülése végett a buborékok horizontális átmérőjét hasonlítottuk össze a drót vastagságával, amiből meghatároztuk a nagyítás mértékét a pohár aljától való távolság függvényében.

Meg kell jegyeznünk azonban, hogy a fényképek felbontóképességének határa miatt a buborékok átmérőjének leolvasása kis bizonytalanságot rejt magában. A minél pontosabb eredmények érdekében a nagyon kis expozíciós idővel (1/800 s) készített fényképeket az AUTOCAD program segítségével elemeztük ki, amellyel a buborékok átmérőjét a fénykép igen nagy nagyíthatóságának köszönhetően viszonylag pontosan le tudtuk olvasni ( $\pm 0,01$  mm). A pontosabb mérés érdekében a kísérletet megismételtük egy kis méretű, párhuzamos falú üveggáddal is, amely esetben a nagyítás miatti korrekció értéke a párhuzamos falak következtében állandó. A mérési eredményeket az 1. táblázat tartalmazza.



3. ábra. A buborék átmérője az idő függvényében

Vizsgáljuk meg, hogy a buborék átmérője hogyan változik az idő függvényében. Feltételezhetjük, hogy a buborék mérete az eltelt idővel arányosan nő a diffúzió miatt. A buborékok átmérőjét az idő függvényében ábrázolva lineáris függvényt kapunk (3. ábra), amelynek meredeksége a buborék növekedési sebességét adja számértékben, míg tengelymetszete a buborék kezdeti méretét a leválás pillanatában.

A buborék kezdeti átmérőjére 0,2133 mm-t kapunk, míg a növekedés sebességére 0,0868 mm/s adódott.

Mivel a buborék mérete növekszik, a felemelkedési sebessége is egyre nagyobb lesz. Ez a fényképeken is jól látszik, mert a buborékok közötti távolság a pohár aljától távolodva nő. Feltételezhetjük, hogy a buborék keletkezése és elszakadása a felszíntől egyenlő időközönként történik. Tehát a buborékok által egységnyi idő alatt a keletkezési ponttól megtett utakat ábrázolva az idő függvényében egy gyorsuló mozgás grafikonját kaphatjuk (2. táblázat, 4. ábra).

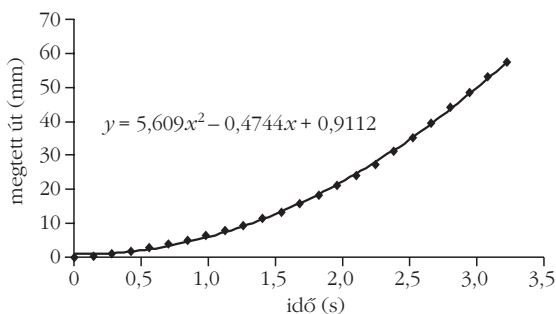
A grafikonra egy másodfokú függvényt illesztünk, amelyről a gyorsulás értéke meghatározható. Mivel az egyenletesen változó mozgás úttörvénye:

$$s = \frac{a}{2} t^2 + v_0 t + y_0$$

alakú, ezért a gyorsulás értéke  $a = 11,218 \text{ mm/s}^2$ .

A buborékok gyors mozgása miatt a hosszabb expozíciós idejű felvételeken a buborék éles körvonala helyett egy kis csík látható, amelynek hossza arányos a buborék pillanatnyi sebességével (5. ábra). Ezek a felvételek ezért alkalmasak arra, hogy másik módszerrel is meghatározzuk a buborékok gyorsulását. Ha az expozíció ideje 1/15 s, akkor ez azt jelenti, hogy a buborék 1/15 s alatt az adott csíknak megfelelő, azzal azonos hosszúságú utat tett meg. Így a vonalak hosszának ismeretében a buborék sebessége

4. ábra. A buborék által megtett út az idő függvényében



2. táblázat

**A buborékok nyomképének hossza és az emelkedés sebessége 1/15 s záridő esetén**

a buborékok keletkezése közötti idő (s)	a nyomkép vonal hossza (mm)	emelkedési sebesség (mm/s)
0,00	0,34	5,10
0,14	0,40	6,00
0,28	0,43	6,45
0,42	0,49	7,35
0,56	0,54	8,10
0,70	0,66	9,90
0,84	0,75	11,25
0,98	0,87	13,05
1,12	0,94	14,10
1,26	1,04	15,60
1,40	1,14	17,10
1,54	1,33	19,95
1,68	1,44	21,60
1,82	1,50	22,50
1,96	1,59	23,85
2,10	1,71	25,65
2,24	1,88	28,20
2,38	2,01	30,15
2,52	2,12	31,80
2,66	2,25	33,75
2,80	2,34	35,10
2,94	2,45	36,75
3,08	2,55	38,25
3,22	2,79	41,85

számolható. A mérési eredményeket a 2. táblázat tartalmazza.

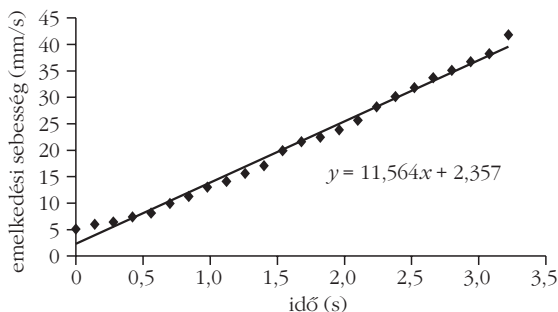
Ha a buborékok sebességét az idő függvényében ábrázoljuk (6. ábra), akkor egy lineáris függvényt kapunk, melynek meredeksége a buborék gyorsulása. A kísérletben a gyorsulás értékére 11,564 mm/s<sup>2</sup>-t

5. ábra. A buborékok mozgását jellemző nyomvonal

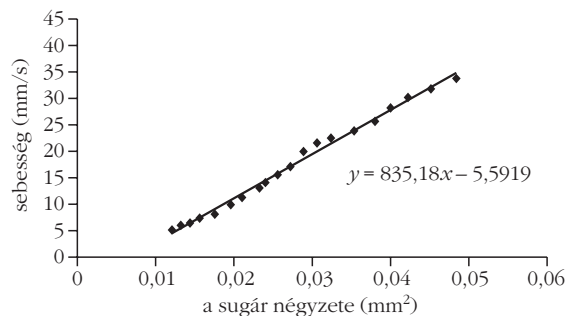


kaptunk, ami jól egyezik a másik eljárással meghatározott gyorsulás értékével.

A buborék mérete és felemelkedési sebessége közötti kvantitatív összefüggés nagyon bonyolultan adható meg. Egy adott méretű buborék esetén azonban könnyen megbecsülhető. Most vizsgáljuk meg, hogy mi miatt és hogyan emelkednek a buborékok a folyadékban. Mivel a CO<sub>2</sub> sűrűsége kisebb, mint az őt körülvevő folyadék sűrűsége, ezért a buborék a pohárban felfelé mozdul el. Mozgását a felhajtóerő, a gravitációs erő és a közegellenállási erő együttesen határozza meg.



6. ábra. A felemelkedés sebessége az idő függvényében



7. ábra. Az emelkedés sebessége a sugár négyzetének függvényében

A felhajtóerő Arkhimédész törvénye szerint arányos a gömb alakú buborék által kiszorított folyadék térfogatával. Tételizzük fel, hogy a gáz sűrűsége jóval kisebb mint a folyadék sűrűsége:

$$F \approx V \rho_f g, \quad (6)$$

ahol  $V$  a buborék térfogata,  $\rho_f$  a folyadék sűrűsége,  $g$  pedig a gravitációs gyorsulás. Tételizzük fel azt is, hogy a buborék olyan kicsi és annyira lassan halad, hogy mozgása során mindvégig megőrzi gömb alakját. Ekkor a felhajtóerő a buborék sugarának köbével arányos:

$$F_b \approx \frac{4 \pi r^3}{3} \rho_f g. \quad (7)$$

A buborékot mozgása során a közegellenállási erő lassítja. Általánosságban az emelkedő buboréokra ható közegellenállási erő a sugár, az emelkedési sebesség, a viszkozitás, a sűrűség és a folyadék felületi feszültségének összetett függvénye [4].

Ha feltesszük, hogy az emelkedő buborék adott méretű, akkor egy bizonyos idő után sebessége elér egy állandó értéket, amikor is a felhajtóerő kiegyenlíti a közegellenállási erőt. Azonban a diffúzió miatt a buborék sugara folyamatosan nő, a felhajtóerő a sugár köbével arányosan nő, amivel a közegellenállási erő nem tud egyensúlyt tartani, hiszen az a sugár négyzetével, azaz kevésbé növekszik. Tehát a felfelé mutató felhajtóerő gyorsabban nő, mint a lefelé mutató közegellenállási erő, a buborék ezért gyorsuló mozgást végez. Ez magyarázza azt, hogy a buborékláncban a buborékok a pohár alján kisebbek és közelebb vannak egymáshoz, mint a felszín közelében.

A buborék mozgásának jellemzéséhez írjuk fel a dinamika alapegyenletét:

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = F_{felb} + F_{közeg} \left( \frac{dz}{dt}, r \right), \quad (8)$$

ahol  $m$  a buboréknak és annak a folyadéknak az együttes tömege, melyet a buborék mozgása során magával visz,  $dz/dt$  a buborék emelkedési sebessége. Ha feltesszük, hogy a buborékra ható gravitációs erő jóval kisebb, mint a közegellenállási és a felhajtóerő, az egyenlet a következő alakot veszi fel:

$$F_{közeg} \left( \frac{dz}{dt}, r_0 + ut \right) = \frac{-4 \pi (r_0 + ut)^3}{3} \rho_{foly} g. \quad (9)$$

Az egyenlet megoldása független a buborék kezdeti sebességétől. A közegellenállási erő meghatározása igen összetett feladat viszkózus közegben mozgó buborék esetére, ezért empirikusan meghatározott korrelációk segítségével jósolhatjuk meg a mozgást.

Ha a Stokes-törvény segítségével írjuk fel a közegellenállási erőt, akkor

$$F_s = 6 \pi \eta r v,$$

ahol például  $\eta(20 \text{ }^\circ\text{C}) = 0,001 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  a víz (a folyadék) viszkozitása,  $r = 0,1 \text{ mm}$  egy átlagos buborékméret röviddel az elszakadás után,  $v$  pedig a felfelé mozgás sebessége [5, 6]. Ezen összefüggések felhasználásával a következő eredményt kapjuk, ami összhangban van a megfigyelés tapasztalataival:

$$v = \frac{2 g \rho_L r^2}{9 \eta} = 2 \frac{\text{cm}}{\text{s}}. \quad (10)$$

Az összefüggés alapján tehát az várható, hogy a buborék emelkedési sebessége a sugár négyzetével arányosan változik. Ha tehát a sebességet a sugár második hatványának függvényében ábrázoljuk, akkor jó közelítéssel lineáris grafikont (7. ábra) kell kapnunk [7].

Az egyes meredeksége  $835,18 \text{ mm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ , ami – a megfelelő adatok behelyettesítése után – durva közelítésben megegyezik az előbbi levezetésben kapott együttható értékével.

## Irodalom

1. Good A.: *Tom Tit második száz legújabb kísérlete*. Atheneum, Budapest, 1893.
2. Planinsic G.: Fizziology. *Physics Education* 39/1 (2004) 65–68.
3. Shafer N., Zare R.: Through a beer glass darkly. *Physics Today* (1991) October, 48–52.
4. Krishna R., Baten J. M.: Simulating the motion of gas bubbles in a liquid. *Nature* 398 (1999) March, 208.
5. Ucke Ch. Schlichting H. J.: Why does champagne bubble? *Physics and Technology Quest* 2/1 (1997) 105–108.
6. Litz J.: *Hőtan*. Dialóg Campus Kiadó, Pécs–Budapest, (2001) 504.
7. Vermillion R. E.: A look at some rising bubbles. *American Journal of Physics* 43/2 (1975) 177–179.

# DIÁKOK AZ EURÓPAI FIZIKAI TÁRSULAT SZÜLETÉSNAJÁN

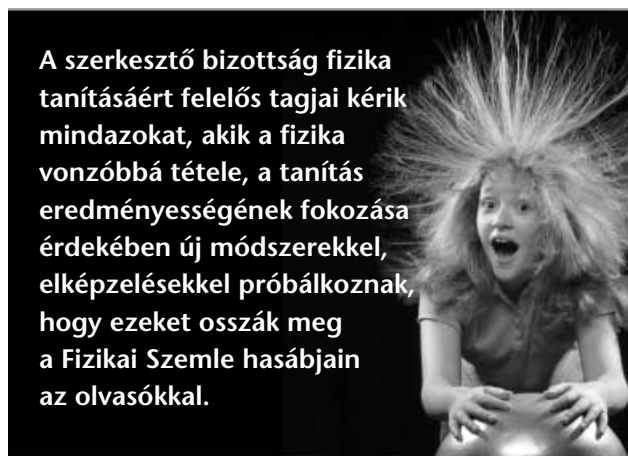
Az Európai Fizikai Társulat (European Physical Society – EPS) vezetősége *Rajkovits Zsuzsannát*, az ELTE Anyagfizikai Tanszékének hosszú évek óta tehetség-gondozással foglalkozó docensét arra kérte, hogy a korábban fizikaversenyeken szereplő sikeres diákjai közül kettőt delegáljon Genfben, az *EPS 40. születésnapjára* rendezett ünnepségre. A választás *Máté-Horváth Nóra* egyetemi hallgatóra – aki korábban az International Young Physicists Tournamenten (IYPT) két ízben szerepelt – és *Pipek Orsolya* középiskolai diákra – aki az IYPT-n már eddig 3 alkalommal volt a magyar csapat kapitánya, s az International Conference of Young Scientists versenyen is díjazott résztvevő volt 2007-ben – esett. Alábbiakban Pipek Orsolya beszámolóját közöljük:

Ez év szeptemberében az Európai Fizikai Társulat jóvoltából lehetőségünk nyílt ellátogatni a Genfben található CERN-be.

A meghívás a Társulat megalapításának negyvenedik évfordulója alkalmából tartott sajtótájékoztatóra szólt, amelyen velünk együtt az említett nemzetközi versenyeken szereplő két lengyel diák is részt vett.

Három napot tölthettünk el a gyönyörű, hosszú történelmi múltra visszatekintő városban. Mivel a Fizikai Társaság az utazás és az ott-tartózkodás megszervezését teljes mértékben magára vállalta, így jutott idő a városnézésre is. Genf nem hiába tartják a világ diplomáciai központjának, hiszen a számos érdekesség és turistalátványosság mellett több nemzetközi szervezet otthonául is szolgál.

Érkezésünk napján *H. Chen* professzor tartott érdekes előadást, a másnapi sajtókonferencián pedig megismerhettük a Társulat történelmét, alapításának körülményeit és főbb céljait. Szó esett emellett a fizika jelentőségéről is napjaink tudományos kutatásaiban. Mivel a két lengyel diák, valamint mi is részt vettünk különböző fizikaversenyeken, továbbá némelyikünk a jövőben is fizikával kíván foglalkozni, így rendkívül hasznos volt betekintést nyerni az ezen a területen adódó lehetőségek közé.



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



Felső sor: *Maciej Kolwas*, az EPS jövőbeni elnöke, *Christophe Russe*, a Svájci Fizikai Társulat elnöke, *Máté-Horváth Nóra* és *Pipek Orsolya* magyar diákok valamint *Martin Huber* az EPS előző elnöke. Az alsó sor: *David Lee*, az EPS főtitkára a két lengyel diák, *Piotr Sobacki* és *Jakub Polewka* között.

A sajtókonferencia után egy fiatal fizikus körbevezetett minket a CERN-nek a látogatók által is megtekinthető részein. Minden kérdésünkre részletes és kimerítő választ tudott adni, ezzel felejtethetlenné tette a kirándulást. Bejutottunk az ATLAS Vezérlőszobába, ahol a kísérletek eredményeinek grafikus elemzésére kerül sor a nap huszonnégy órájában. Fiatal fizikusok számos csoportja dolgozik az egyes részfeladatokon. Ezután a Computer Központot látogattuk meg, ahol több ezernyi számítógép működik megállás nélkül, hogy a kísérletek informatikai háttere biztosítva legyen.

Az idegenvezetőnk továbbá nagy vonalakban elmondta az új LHC (Nagy Hadronütköztető) működésének elvét, és rámutatott azokra a kérdésekre, amelyek megválaszolását az új kísérletektől remélik. Megjegyezte emellett, hogy a szeptember 18-i meghibásodás nem szegte a kutatók kedvét, tulajdonképpen jobban meglepődtek volna, ha minden ideálisan alakul.

A teljes CERN területe egy kisebb város méreteivel vetekszik. Utcák egész tömege hálózza be, amelyeken CERN feliratú autók és kerékpárok közlekednek. Európa minden tájáról gyűlnek ide fizikusok, hogy közösen keressék a választ a részecskefizika eddig megválaszolatlan kérdéseire.

Ezúton is köszönetet mondunk az Európai Fizikai Társulatnak az anyagi támogatásért és a nagylelkű meghívásért. A CERN-ben tett látogatás életünk felejthetetlen és talán egyszeri élménye volt, amiért rendkívül hálásak vagyunk.

*Pipek Orsolya*

Kempelen Farkas Gimnázium, Budapest  
*Rajkovits Zsuzsanna*  
ELTE Anyagfizikai Tanszék



# KUTATÓ LESZEK EGY NAPRA

Részecskefizikai Diákműhely 2009

2009 tavaszán immár ötödször kerül megrendezésre a középiskolás diákok számára szervezett nemzetközi részecskefizikai diákműhely. Az esemény rendezője az európai részecskefizikai ismeretterjesztő csoport (European Particle Physics Outreach Group, EPPOG). A rendezvények keretében több tucat ország mintegy száz egyeteme és kutató intézete fogadja egy-egy napra a sok ezer 16–18 éves középiskolás diákot, hogy megismertessék őket a modern részecskefizika legújabb eredményeivel.

A foglalkozás egy egész napot vesz igénybe: a tanulók délelőtt előadásokat hallgatnak, majd ebéd után számítógépek segítségével szemügyre veszik és elemzik a nagyenergiájú elektron-pozitron ütközések kiválasztott eseményeket, amelyeket a CERN 27 km-es gyorsítógyűrűjében az OPAL- és DELPHI-kísérletek észleltek. A nap végén internetes videokonferencián hasonlítják össze és vitatják meg eredményeiket az adott napon

szereplő 5-6 ország diákjaival, ugyanúgy, mint a nagy nemzetközi együttműködések részecskefizikusai.

A hazai események színhelye a Debreceni Egyetem Kísérleti Fizikai Intézete (március 20.), a Budapesti Műszaki Főiskola székesfehérvári tagozata (március 26.) és a budapesti KFKI Részecske és Magfizikai Kutató Intézete (március 30.). Intézményenként húsz-húsz, iskolánként kettő (esetleg négy) diákot tudunk fogadni. A diákok kiválasztását a jelentkező iskolák tanáraitra bízuk. Érdeklődő, aktív gyerekeket várunk, részecskefizikai előismeretek nem szükségesek, de minimális angol nyelvtudás kívánatos.

A jelentkezéseket február 20.-ig kérjük a rendezők e-mail címére elküldeni (Budapest: *Jancsó Gábor*, jancso@rmki.kfki.hu; Debrecen: *Trócsányi Zoltán*, Zoltan.Trocsanyi@cern.ch; Székesfehérváron pedig: *Horváth Árpád*, horvath.arpad@roik.bmf.hu).

*Horváth Árpád, Jancsó Gábor, Trócsányi Zoltán*

## ÁLFIZIKAI SZEMLE

# GONDOLATOK A TUDOMÁNY HATÁRAIRÓL

Bíró Tamás Sándor

KFKI Részecske és Magfizikai Kutató Intézet

*Igyekezzünk tebát helyesen gondolkodni,  
ez minden erkölcs alapja.*

Blaise Pascal: *Pensées*, 1662

Az úgynevezett demarkációs probléma, azaz a tudomány és áltudomány közötti különbségtétel megoldását segítő ebben a cikkben megfogalmazok néhány fontos kritériumot a tudományos elméletekkel szemben: 1. *logikai ellentmondásmentesség*, 2. *tapasztalati cáfolhatóság* és 3. *tudományos rendszerkonformitás*. Ehhez társul nulladik főtételként a nyelvi, matematikai, vagy más formájú gondolati *szimbolizálhatóság*. A tudományos elméletek mind a négy kritériumot kielégítik.

## A határ

A határ magyarul területet is jelenthet (pl. fel lehet szántani), de a népesség többsége – miután nem végez agrárius tevékenységet – áthághatatlan drótkerítésként, az ismerős és megszokott, kiszámítható világ végződésékként fogja fel. Persze közismert a „mozgó határ” fo-

galma is. Nemzetközi szak kifejezéssel élve, a határ egyrészt *limit*, amin nem lehet túllépni, másrészt *frontonál*, amelyen túllépni éppen erőfeszítéseink célja.

A tudomány határait azok is hivatkoznak, akik a nem-tudományos tevékenységek egyen- vagy magasabbrendűségét igyekeznek hangsúlyozni a tudománnyal szemben, s azok is, akik ezeket a határokat belülről, a tudomány eszközeivel gondolják feszegetni, eltolni, újra kijelölni. Mindkét esetben a szókép geometriai, legyen szó álló (abszolút) vagy mozgó (relatív) határról. Erre hivatkozik az a felületes analógia is, amely szerint a mindenkorai tudomány csak a felületet látja, s ez szükségképpen elenyésző a meghódítani vágyott külső tér nagyságához képest. Minél többet tudunk, annál kevesebbet tudunk (legalábbis ahhoz képest, amit még tudhatnánk). Kézenfekvő ellentét az, hogy többet tudunk, mint azelőtt. Ezen túlmenően, szigorúan és keményen gondolkodó egyének hozzáteszik ehhez a gondolathoz a fraktális

dimenzió fogalmát, amely éppen egy elképzelt  $R$  sugarú gömbön belüli megszámlálás eredményének  $R^d$  szerinti növekedési törvényére alapoz. Itt  $d$  nem egész szám, hanem tört (fraktális) is lehet. Például  $d = 2,5$  a felületre jellemző  $d = 2$  és a térfogatra jellemző  $d = 3$  közé esik, s ekkor az  $R^{2,5}:R^3$  arány javít ez eredeti  $R^2:R^3$  arányon (s a tudós önbizalmán is). Továbbá azt a képet sugallja, hogy a tudomány fejlődése diffúziószerű, sőt turbulenciákkal terhelt is lehet, mintha tudásunk a vízbe injektált tintacseppehez hasonlóan növekedne. Ez a kép tanulságokat rejt a tudományt irányítani kívánók számára is.

## A három követelmény

A termodinamika három főtételehez, illetve a robotika három asimovi törvényéhez hasonlóan az alábbiakban pontokba szedem a tudományosság (szerintem, egy gyakorló elméleti fizikus szerint, legfontosabb) három fő aspektusát:

1. Az INDUKCIÓS módszer a *tapasztalat* (érzékelés, megfigyelés, mérés) által felismert tényekből vezet egy-egy *elmélet* megfogalmazásához. A folyamat eredményével szemben alkalmazzuk a logikai ellentmondásmentesség követelményét. Ez a követelmény visszavetül magára a folyamatra is: úgy tartjuk, hogy csak logikus lépések sora biztosítja a végeredmény fenti tulajdonságát. A tapasztalatra nem visszavezethető elméleti („metafizikai”) kijelentéseket a pozitivisták üresnek (tautologikusnak) s ezért elvetendőnek tartják. (A pozitívista jelző abból származik, hogy a nem üres kijelentések a pozitívák, s ilyenekre kell törekednünk.)

2. A DEDUKCIÓ adott *elméletből* kiindulva *tapasztalatilag* ellenőrizhető tényekre vonatkozó, cáfolható, („falszifikálható”) kijelentésekhez jut el. Ez főleg a „minden holló fekete” típusú általánosítások számára jelent veszélyes aknamezőt, hiszen egyetlen fehér holló észlelése is megcáfolhatja az elméletet. Ez a popperista felfogás, úgy tűnik, ajtót nyitott az elméleti relativizmusnak is: bármely elmélet csak ideiglenesen lehet igaz („érvényes”) a szigorú tudományban. Ezt a tényt a tudományt nem szerető, sőt néhol egyenesen ellenséges vélemények – persze csúsztatással – a „tudósok sem tudnak semmit” maximává fogalmazzák át. Az „alternatíva” ennek alapján éppen annyira igaz lenne, mint a „hivatalos” tudomány. Mintha némi önös érdekből figyelmen kívül hagynák azt az apró, de fontos különbséget, ami a *cáfolható* és a *megcáfolt* között fennáll.

3. A pozitívizmus és a relativizmus Szkhülláját és Karübdiszét elkerülendő szükség van egy további kritériumra. Ez lehet a RENDSZERKONFORMITÁS, a létező kortárs tudomány rendszerébe történő beilleszkedés. Minden új elmélettel szemben követelmény, hogy ez a rendszerbe illesztési folyamat végbemenjen, míg a tapasztalattal szemben természetesen nincs ilyen követelmény, sőt egyes kollégák kifejezetten kívánatosnak vélik, hogy – legalább időnként – legyenek ilyen új tapasztalatok, mert csak ezekből tanulhatunk „iga-

zán”. Arról, hogy ez az első hallásra megalkuvónak ható illeszkedés, amit kiterjedt viták és tesztek sora igazol vagy nem igazol, ne automatizálja a skolasztikus merevséget, a modern élet rohanó tempója és a tudósok szociálpszichológiája, a kellő létszámú, intenzitású és színvonalú tudományos közélet gondoskodhat csupán. Hasonló folyamat ez az immunreakcióhoz: a kívülről érkező elemeket a tudomány vagy kiveti, vagy tápanyagként elfogyasztja és beépíti a saját rendszerébe. Könnyen lehet azonban, hogy ez a beépítés csak ideiglenes, amíg ‘jobb’ megoldás nem adódik. Mint tudjuk az immunrendszerek emlékeznek is: bizonyos jellegű ideákra allergiássá válhat a tudományos közvélemény. Egy ilyen híres, allergiás reakciót kiváltó eset az örökmozgó. Nézzük meg másrészt, mi történhet, ha a tudomány keretein belül születik egy nem konform elmélet (s ebből a szempontból mindegy, hogy hogyan; meglepő matematikai eredményként vagy álom útján):

a) Az „új” elmélet alkalmazkodik a már meglévő rendszerhez. Ez a leggyakoribb eset, sőt a mindennapi tudományos gyakorlat preferálja ezeket az „epszilon-elméleteket”; sokkal könnyebb például publikálni ilyen eredményeket a szakma legnívósabb (legtöbbit idézett) folyóirataiban. A dolog természeténél fogva ebben az esetben könnyebb előhívni a letisztázottság, egyértelműség és a haladás képzetét. Az egyetlen probléma az, hogy esetleg nem minden helyes ismeret alkotható meg a világról kis lépések egymásutánjával (még ha ez is a standard módszer).

b) A „rég” konstrukció (elméletrendszer) alkalmazkodik az új ismerethez. Ezek a látványos esetek, ezeket annyit elemzik, hogy a laikus közvéleményben érthető módon olyan a benyomás alakul ki, mintha ez lenne a „normális” a tudományban. Neveztek már ezt a folyamatot *revolúciónak* (amikor *Kant Kopernikusz* művére, a *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, *Az égi pályák fordulatairól* című munkára, mint kopernikuszi fordulatra utalt), de neveztek újabban *paradigmaváltásnak* is (*Kuhn*), vagy a huszadik század elején a kvantummechanika kapcsán „új fizikának” (*Sommerfeld*).

c) Az is előfordul, hogy egynél több, egyaránt ellentmondásmentes és rendszerkonform elmélet is ad a tapasztalattal egyező jóslatokat. Az egységesség igényével fellépő „össztudomány” (amit művelőinek koherens világkép utáni lelki vágya hajt) ezt nem tűri. S ezért ahol a logika és a tapasztalat alapján sem lehet választani, s nem is várható hamarosan olyan tapasztalat, ami ebben az ügyben döntő lehet, a modern tudomány az úgynevezett „Occam-elvet” tette a magáévá: az egyszerűbb (mások szerint gazdaságosabb) változatot fogadjuk el (elvében csak ideiglenesen, de ez több évszázadot is jelenthet). Ennek kapcsán megjegyzem, hogy gyakran igyekeznek tudós kollégák egy tudománytalannak vélt nézetet pusztán az Occam-elv alapján elvetni. Ez önmagában természetesen nem elégséges alap; sokkal inkább a rendszerkonformitás az a követelmény, aminek mentén az áltudomány – a tudósok immunreakciója folytán – kicsapódik.

A fenti gondolatokat talán jól megvilágítja az alábbi egyszerű matematikai játék. Valaki mond néhány számot (az egyszerűség kedvéért természetes számot), s a másik játékos feladata ráhibáznai a következőre. Például folytatandó az alábbi sorozat: 2, 4, 6. Az Occam-elveket követő indukciós gondolkodás pillanatok alatt kialakít egy egyszerű elméletet (képletet) a fenti tapasztalatból:  $a_n = 2n$ , ( $n = 1, 2, \dots$ ) s ebből dedukálja (levezeti) a jóslatát:  $a_4 = 8$ . Aki nem 8-cal folytatja a fenti sorozatot, legalábbis elsőre, annak biztosan az átlagostól eltérő agya van. Ami nem zárja ki, hogy azok között is van nem átlagos agyú, akik nyolccal folytatták.

A matematikailag kicsit is műveltek tudják, hogy persze ez az eredmény nem egyértelmű. Ha legalább harmadfokú polinom, vagy annál bonyolultabb a képlet, amit a feladvány készítője használt, akkor végtelenül sokféle folytatás lehetséges. Például az  $a_n = 2n$  mod 7 elmélet alapján 1-gyel kell folytatni a sort. Igazából minden negyedik elemre, ami kiderül első megoldási kísérletünk után, található egy megfelelő képletet, s ebből megintcsak végtelen sokféle ötödik elem következhet, s így tovább. Egy számsorozat folytatása a reménytelen feladatok közé tartozik, bár a lehetséges elméletek között sokszor van legegyszerűbb. Viszont bármilyen tippet is mondunk, ha előre felírták a feladványt vagy annak képletét, az falszifikálható. Ennek alapján úgy tűnik bármit jósolhatunk, mindegyik elmélet egyaránt tudományos. Csak éppen inkább tudatlannak, semmint tudósnek érezzük magunkat ebben a helyzetben.

Ezért is van szükség a harmadik kritériumra, a rendszerkonformitásra, az eddigi tudás rendszerébe való beépíthetőségre. A hetvenes évek egyik, az ELTE fizikus hallgatói számára rendezett vetélkedőjén elhangzott egy hasonló feladvány, ahol a megoldás az volt, hogy a számsorozat a Móricz Zsigmond körteret érintő villamosok számait jelöli. A feladványból egy szám hiányzott. Ebben az esetben a helyes válasz egyértelmű volt, de paradigmaváltás kellett a megoldás megtalálásához: az új elméletnek figyelembe kellett venni, hogy nem egy matematikai képlet, hanem a tárgyi világ által produkált számok soráról volt szó. A helyes nézőpontból nézve a lehetőségek száma egyetlenegy változatra redukálódott és természettudományos értelmezést kapott.

## A nulladik követelmény

Ahhoz, hogy valamit a tudomány művelői áltudományának tartsanak, elegendő, ha a fenti követelmények egyike sérül. Azonban, ha mindhárom követelmény teljesül, még akkor sem sima az út az elismerés felé. Egy-egy eredmény megítélésében tudományosságának elfogadása csak az alapvető, első lépés. Az eredmény értékességét, láthatóságát, elterjedését (a tudós hírnevét) még sok egyéb tényező befolyásolja. Például a „kis lépés az emberiségnek de nagy lépés a tudósoknak” jellegű eredmények csupán sokaságuk révén viszik előre a

tudományt, mozdítják el az ismeretlen és az ismert határát. Ugyanakkor a nagy lépések lelki és szociológiai megrázkódtatásokat (régebben politikai, sőt inkvizíciós reakciót is) kiváltó, földrengésszerű hatását is efféle, kisebb lépésekből álló „rekreációs” folyamatok követik. A tudomány ünnepi köntöse akkor tündöklöklik, ha minden szálat elvarrtak benne. Erre eddig még igazából nem volt példa, bár már jónéhányszor mondatta ezt jóhírű tudósokkal az amúgy egészséges önbizalom. *Planck*nak is azt tanácsolták fiatalkorában, hogy keressen más területet magának, mert a fizikában már minden felfedezhető felfedeztek.

Szükség van még egy „nulladik” elvre is, amely a tudományosság megállapíthatóságát fogalmazza meg. Javaslatom szerint ez a *szimbolizálhatóság*. A szimbólumok rendszerében való megfogalmazhatóság persze nemcsak a tudományra érvényes, viszont ha ez hiányzik, akkor a vita az „érvényességről”, „igazságról” vagy „hamisságról” mindig kisiklik az emberi gondolkodás kereteiből.

A szimbolizálhatóság egy leíró nyelv alkalmazását jelenti; a szimbólumok rendszere és összekapcsolásai szabályokat követnek (vagyis van a nyelvnek szintaxisa, nyelvtana). Ezen belül egy különleges nyelv a *matematika*, különleges szigorúságával és tömörségével kitűnik a természetes nyelvek vagy gesztusnyelvek közül. Sokan eszerint felosztják a tudományt „lágy” és „kemény” tudományra; a latin „scientia” s ennek nyomán az angol „science” szó eredetileg mesterséget, gyakorlati képességet jelent, szemben a „sapientia”, a bölcsesség tisztán szellemi keretekben mozgó teljesítményeivel. Ennyiben jelentett mást a „dr. rer. nat.”, *doctor rerum naturalium*, a „természet dolgaiban művelt”-et jelentő korábbi tudományos fokozat, mint a manapság divatos „PhD”, *philosophiae doctor*, a „bölcsesség szeretetére tanított” cím.

Nagy kérdés, hogy jogosult-e ez a felosztás, vagy legalábbis termékeny valamilyen, a szűkebb szakterületek érdekein túlmutató szempontból. Ma már a matematikát nemcsak a természettudományok használják, s annak alterületei sem egyenlő intenzitással. Fontos tehát, hogy egy tudományterület „matematizáltsága”, bár a megtanulhatóságát annyiban korlátozhatja, hogy a közvélemény által különlegesnek tartott matematikai képesség kell hozzá, vajon egyben magasabb tudományos rangot is ad-e neki. Ebben az elképzelt rangsorban a legtudományabb tudomány maga a matematika lenne, míg a jelenkor fizikája nagyjából a második, a vegyészet ágazatai pedig a harmadik helyet foglalnák el. A kortárs biológia, szociológia és közgazdaságtan már nem alkotna egyértelmű rangsort ebből a szempontból, bár kvantitatíven – a megjelent publikációkban szereplő matematikai képletek s egyéb szövegek és ábrák arányát tekintve – valószínűleg a biológia kerül a negyedik helyre. Ezen túlmenően esetenként, illetve szakterülettől függően nyelvtudományi, pszichológiai vagy régészeti művek is közölnek matematikai képleteket, orvosi, pénzügyi vagy politológiai tanulmányok gyakran hitvatkoznak statisztikai elemzésekre.

A legtöbb, matematikát nem használó tudós természetesen elutasítja az effajta rangsorolást, nem fogadja el a matematizáltságot a tudományosság kritériumának. De saját szakmai nyelvezet, szimbólumok és szintaxis nélkül egyetlen szakterület sem lenne képes vitákat folytatni és felismeréseit egy megfelelő közösségi asszociációs hálózatban elrendezni. Viszont amennyire egy ilyen rendszer használata következetességében és részletes szigorúságában felér a matematika használatával, annyiban ekvivalens s ezért helyettesíthető is azzal.

A hasznosság és ennek alapján az utilitárius jogosultság megállapításához foglalkozni kell a kérdéssel, hogy mi a matematika szerepe a tudományban, legalábbis ott, ahol már elterjedt a használata. A fizikusok közül többen ugyanis arra használják a matematikát, hogy „automatikusan” elkerüljenek filozófiai és metafizikai kérdéseket, s ezzel a szakmai kérdésekre koncentrálnak. Ugyanakkor magánemberként izgalmas és hosszantartó vitákat folytatnak például a kvantummechanika értelmezési kérdéseiről, amelyek, mint a Schrödinger macskájának a paradoxona, az eredeti elmélet határait elérve vagy túllépve fogalmazódnak meg ugyan, de a felelősség az esetleges hamis válaszok esetén a fizikusok számára mégis jelenvaló.

A matematizáltsági rangsor alkalmazhatóságának kérdése összefügg a matematika szerepéről alkotott nézetekkel. Háromféle véleménnyel találkoztam ez ügyben:

1. A matematika szerepe a *gyorsítás*, a formulák nyelvén hamarabb jutunk helyes eredményekhez, de ezekhez az eredményekhez matematika nélkül is eljutnánk. (Kevésbé vagy egyáltalán nem matematizált tudományágak mesterei vélhetően szimpatikusnak találják ezt a nézetet, de például a mai fizikában esélye sincs a komolyan vételre egy, a matematikai képleteket teljesen nélkülöző tanulmánynak. Még a pusztán kísérleti technológiai jellegű publikációk is közölnek képleteket, ha máshol nem, a motivációs részben.)

2. A matematika azért fontos, mert *ellenőrzi* a logika szigorúságát. Ez egyfajta automatizmus, amire a matematikát alkalmazó szakterületek tudósai egyszerűen büszkék. Ez ellen nincs hatékony érv, van viszont figyelmeztetés. Az egyik az, hogy a matematikai levezetések – éppen mert automatizálják a logikát – el is rejtethetnek apró repedéseket (többnyire implicit kiinduló feltevéseket) az érvelés szilárdnak tűnő falán, amelyek később szélesen tátongó szakadékká válhatnak. A másik figyelmeztetés szerint a matematika kellően meg nem értett és meg nem érlelt alkalmazása csupán feltüpirozza az egyébként érdektelen gondolatokat, de ettől azok nem válnak tartalmasabbá.

3. Végül a matematikát optimizmussal és lelkesedéssel alkalmazó tudósok szerint a matematika a világ lényegi tulajdonságát fejezi ki, s ezért minden tudományos elméletben *hozzáadott értéket képvisel*. Ez rímel arra a nézetre, amely szerint a matematikus nemcsak konstruál, hanem fel is fedez – persze szellemi téren.

A matematizáltsági kemény – lágy tudomány megkülönböztetés hasonló demarkációs probléma, mint a tudomány – áltudomány megkülönböztetés, bár kevésbé áll a közérdeklődés homlokterében.

## Tudós vagyok – mit érdekelne engem a tudomány maga?

A fejezet címe egy József Attila-idézet<sup>1</sup> mintájára készült nyelvi képlet-behelyettesítés. Híven tükrözi számos gyakorló tudós viszonyát a tudomány-szociológiához, tudománytörténethez, tudományfilozófiához. Sőt a szcientometriához („tudomány-mértanhoz”) is. A jelenlegi társadalmi (hatalmi, pénz- és közvélemény-alkotási) viszonyok azonban ezt a hozzáállást nem teszik célszerűségében is racionális magatartássá.

A tudomány határaitól kialakított közvéleményben – amelynek a tudósok csak egy részét alkotják, mégha fontos, szakértő részét is – nemcsak a kortárs tudományok helyzete, ígéretei és teljesítményei tükröződnek, hanem a tudomány gondolkodásmódjának, s az ezt megalapozó évszázados tapasztalatoknak a közvetítésében elkövetett hibák, hiányosságok hatása is. Gondolhatunk néha nosztalgikusan arra, hogy egy színvonalasabb közoktatás megértőbbé tenné az adófizető állampolgárokat a tudomány, s elutasítóbbá az áltudomány iránt, de nem bizonyított, hogy az összefüggés ilyen egyszerű lenne. Amikor ugyanis divat elfordulni magától a *racionális* (a szó eredeti jelentése szerint: *arányos*) gondolkodástól, akkor mozaikszerű ismeretek nem segítenek hozzá a szellemi egészség immunrendszerének karbantartásához. Ehhez az is kell, hogy a védekezni kívánóknak legyen képük a tudomány egészéről, mint rendszerről is. Más kérdés, hogy ennek nem elégséges módszere szintetizáló – vagy pusztán ilyen nevű – tantárgyak bevezetése a már beváltak helyett; legfeljebb mellettük, az általuk tanítottakra reflektálva, építve.

Maguk a tudósok, s a tudománnyal mint társadalmi jelenséggel hivatásszerűen foglalkozók között is többféle kép él arról, hogy milyen ez a „nagy egész”. A hivatalos világnézet korszakán épp túljutottunk, de az emberi-lelki igény a koherens világméretre nem tűnt el. Talán nehéz elfogadni, de el kell fogadni, hogy nemcsak a diffúz körvonal, hanem időnként maga az építmény is változik. Az épület és a kis téglaviszonya egy gyakran hangoztatott metafora a tudomány és a tudós feladatát illetően. A paradigmaváltás nagyobb átépítéseket jelent. Az, hogy egy épületről van szó, az egységes normatívák szerepét hangsúlyozza. Ha az egész összedőlne, mindent kezdhetnénk elől, s ki tudja mi lenne az eredmény. Az alapokat körülményesebb (sőt riasztóan nehezebb) átépíteni, mint a tetőt vagy egy erkélyt. Az építésztervek nem alapulhatnak csak a pusztá fantázián, a már meglévő és az építhetőség szabályait is figyelembe kell venniük. Ezeket mind az épület valós állapota,

<sup>1</sup> Költő vagyok – mit érdekelne engem a költészet maga?

mind a hatósági (tudós testületek által megfogalmazott) előírások együttesen szabják meg. S végül az épület egészének hatását igazából csak kívülről nézve lehet felmérni; a rogyadozás vagy stabilitás látszatát éppúgy, mint az égbeívelést vagy éppen a stílusteréseket, a hányaveti vagy gondos munka, netán korábbi katasztrófák nyomait.

A „tudomány épülete” kép erősen szuggesztív, ugyanakkor nehezen kvantifikálható. Tekintsük ezt a hiányosságot az önmagunkról való jelenlegi tudásunk átmeneti korlátjának. S új lakó csak az lehessen, akit a szomszédai elfogadnak, mert betartja a civilizált lakás

normáit. Évekig vándorolni az inaskodás után, majd mesterművet készíteni csak azoknak kelljen, akik egy-egy céh mesterei kívánnak lenni. Másoknak elég, ha megértik, hogy mit művel ez a társaság. A kontárok pedig maradjanak kívül: ott tágasabb. Aki az ő portékájukat veszi, még ha olcsóbbnak is tűnik, előbb-utóbb megbánja majd. S akkor magára vessen.

Irodalom

Füstöss László: Könyvespolc rovat. *Fizikai Szemle* 58/6 (2008) 235–237.

Kutrovácz Gábor, Láng Benedek, Zemplén Gábor: *A tudomány határai*. Typotex, Budapest, 2008.

## HÍREK – ESEMÉNYEK

# AZ AKADÉMIAI ÉLET HÍREI

## Ünnepi tudományos ülés Berényi Dénes tiszteletére

A Magyar Tudományos Akadémia Fizikai Tudományok Osztálya és az MTA Atommagkutató Intézete 2008. november 26-án Ünnepi Tudományos Ülést rendezett Berényi Dénes akadémikus közelgő 80. születésnapja alkalmából. Az ülést Faigel Gyula osztályelnök vezette. Elsőként Lovas István elevenítette fel tudományos pályájának azon mozzanatait, amelyekre Berényi Dénes hatással volt, majd volt tanítványa, Pálincás József, az MTA elnöke köszöntötte az ünnepeltet. Ezután három előadás hangzott el a Berényi Dénes alapította Atomfizikai Főosztály kutatói által elért új tudományos eredményekről. Elsőként Jubász Zoltán beszélt a vékony, szigetelő kapillárisok lassú ionokat terelő és fókuszáló képességéről, egy önszervező mechanizmusról, amely

számos technikai és orvosi alkalmazással kecsegtet, majd Orbán Andrea ismertette az elektron-elektron kölcsönhatás jelentőségét a küszöb környéki ionizációs folyamatokban. Végül Tőkési Károly a szilárd testekben rugalmasan szórt elektronok Monte Carlo szimulációjáról beszélt, ami a vékonyrétegek vizsgálatához ad hasznos információt. Az ünnepelt köszönő szavaival záruló ülést állófogadás követte Fülöp Zsoltnak az ATOMKI igazgatójának pohárköszöntőjével. Ezután kétnapos Szinkrotron Iskola kezdődött a Berényi Dénes által alapított Magyar Szinkrotron Bizottság és az ATOMKI rendezésében.

Boldog születésnapot Dénes!

Gulyás László, Sulik Béla

## Nemzetközi konferencia Debrecenben az ATOMKI rendezésében

2008. július 20–25. között Debrecenben, a Kölcsey Központban a Magyar Tudományos Akadémia Atommagkutató Intézet munkatársai rendezték meg a *Nukleáris mikroszonda technológia és alkalmazásai* (11th International Conference on Nuclear Microprobe Technology and Applications & 3rd International Workshop on Proton Beam Writing, ICNMTA2008) című nemzetközi konferenciát.

A konferencia a fókuszált ionnyalábokkal végzett kutatások két évente megrendezett nemzetközi sereg-szemléje, a sorozat 11. konferenciája volt. A közel 150 résztvevő 26 országból érkezett. Előző helyszínek: Szingapúr 2006, Dubrovnik, Horvátország 2004, Takasaki, Japán 2002, Bordeaux, Franciaország 2000, Fokváros, Dél-Afrika 1998, Santa Fe, USA 1996, Sanghaj,

Kína 1994, Uppsala, Svédország 1992, Melbourne, Ausztrália 1990, Oxford, Nagy-Britannia 1987.

Az MTA Atommagkutató Intézetének Ionnyaláb Alkalmazások Laboratóriuma 1994-ben helyezett üzembe egy ilyen berendezést. Az azóta eltelt 14 évben elért eredményei elismerésképpen kapta meg a rendezés jogát. A konferencia szervezését az ATOMKI a Nemzetközi Atomenergia Ügynökséggel együttműködésben végezte.

A pásztázó ionmikroszondák különlegesen hatékony eszközök, amelyekkel különböző ionnyaláb-analitikai módszerek – mint mikroszkópos leképezési technikák – használhatók a mikro- és nanométeres mérettartományban, a legkülönbözőbb tudományokban, a mikroelektronikától az orvosi-biológiai alkalmazásokon át a környe-



zetvédelemig és muzeológiáig. Az analitikai alkalmazásokon és a berendezésfejlesztésen túl jelentős előrelépés történik napjainkban az anyagtudomány és -módosítás sokszínű területein is.

A legaktuálisabb és legnagyobb érdeklődésre számot tartó kutatási területekről műhelyek (workshopok) is voltak a következő témákban: 3-dimenziós tomográfia (3D tomography), Szoftverek és adatbázisok (Software & Database), és – a konferencia címeiben is megjelenő – Protonnyalábos mikromegmunkálás (3rd International Workshop on Proton Beam Writing). Itt a tudományág világhírű szakembereitől sajátíthattak el a résztvevők hasznos gyakorlati tudnivalókat.

A résztvevők között örvendetes módon igen jelentős volt a fiatalok aránya. Végül, de nem utolsó sorban a Debrecenben megrendezett konferencia a magyar szervezők és Magyarország nemzetközi ismertségét és elismertségét is növeli.

A szponzorok támogatását ezúton is köszönjük: ATOMKI, International Atomic Energy Agency (IAEA), High Voltage Engineering, National Electrostatics Corp., Oxford Microbeams Ltd., ORTEC, Spektrum Méréstechnika Kft., National Instruments, NKTH (Mecenatúra), MTA, Paksi Atomerőmű Zrt., Spektrum-3D Kft., Carl Zeiss Technika Kft., DKV Zrt., Molcomp System Kft.

*Rajta István, Kiss Árpád Zoltán*  
társelnökök, MTA ATOMKI

## HÍREK ITTHONRÓL

### Dézi Zoltán 80 éves

*Dézi Zoltán* 1928. december 13-án született az erdélyi Magyarbikalon. Hajdúböszörményben, a Bocskai Gimnáziumban érettségizett 1947-ben. Ezután költözött a család Debrecenbe. Dézi Zoltán itt kezdte egyetemi éveit, matematika-fizika középiskolai tanár szakon. Diplomáját 1951-ben szerezte meg, és ezt követően a Kísérleti Fizika Tanszéken dolgozott.

A DOTE-n 1963-ban újjászervezték a Radiológiai Klinikát, ennek során ide telepítették az ország második kobaltágyúját, a klinika fizikusa Dézi Zoltán lett. A mért mélydózisgörbékből és profilokból megszerkesztette az izodózisgörbéket, amely a besugárzástervezés alapja. Javaslatára új, sugárirányú tubusokat gyártottak, amelyekhez tartozó izodózisgörbék platóval rendelkeznek, így alkalmasak nagy térfogatú elváltozások homogén besugárzására.

Már a kezdetekkor is igény volt az egyedi besugárzási tervek elkészítésére, ehhez testkeresztmetszet felvétele és „kézi” tervezés volt szükséges. A homogén dóziseloszlás kialakításához Dézi adjunktus rendszeresen használt éket, elsőként az országban. Méréssel meghatározta a takarások szükséges minimális távolságát a test felszínétől, hogy a Compton-szórásból származó elektronok a test felszínét már ne terheljék. A besugárzások helyének pontosságát direkt kobaltnyalábbal készített felvételekkel ellenőrizte.

Dézi Zoltán munkája elismerést váltott ki az egész országban, sőt a határokon túl is. Ezért 1978-ban az IAEA megbízásából a kabuli egyetemi kórházba telepített Gravicert kobaltágyú bemérésére, és az ottani fizikusok betanítására fél évre Afganisztánba utazott. Hazatérése után védte meg kandidátusi disszertációját, majd egyetemi docensi kinevezést kapott.

A KLTE-n és a DOTE-n egyaránt nagy lelkesedéssel oktatta az egyetemistákat, emellett szakorvosjelölteket, szakorvosokat, asszisztenseket is tanított. A Radiológiai Klinikáról 1994-ben vonult nyugdíjba.

A Magyar Biofizikai Társaság elnökségi tagja, az Orvosfizikai Társaság titkára volt. E társaságoknak jelenleg is tagja, ezenkívül tagja az Eötvös Loránd Fizikai Társulatnak (ELFT), a Magyar Onkológusok Társaságának és a Magyar Sugárterápiás Társaságnak. Az ELFT Sugárvédelmi Szakcsoportja 1998-ban Bozóky emlékéremmel tüntette ki.

A Magyar Orvosfizikai Társaság 2008-ban *A magyar orvosfizikáért* emlékérmel alapított, melynek előlapján Bozóky akadémikus mellképe, a hátlapon pedig az 1958-ban üzembe állított Gravicert kobaltágyú sematikus ábrája látható. A Társaság az érmet elsőként Dézi Zoltánnak adományozta, köszönetképpen egész eddigi tevékenységéért, 80. születésnapja alkalmából.

*Pintye Éva*  
DE OEC Sugárterápia Tanszék

## Magyary Zoltán Posztdoktori Ösztöndíjpályázat 2008

Magyary Zoltán Felsőoktatási Közalapítvány (MZFK) az EGT/Norvég Finanszírozási Mechanizmus támogatásával hirdeti meg a posztdoktori ösztöndíját azon kiemelkedő tudományos teljesítményt nyújtó, nemzetközi tapasztalattal rendelkező fiatal posztdoktorok számára, akik a

kiírás évében nem töltik be a 40. életévüket. A pályázati dokumentáció elérhető az Oktatási és Kulturális Minisztérium ([www.okm.gov.hu](http://www.okm.gov.hu)) felsőoktatási pályázatait közzét, illetve a Közalapítvány honlapján ([www.mzfk.hu](http://www.mzfk.hu)). A pályázat beadási határideje 2008. december 31.

# A FIZIKAI SZEMLE LVIII. ÉVFOLYAMÁNAK TARTALOMJEGYZÉKE

<p>A változatos fizikusélet – Beszélgetés Németh Judittal 75. születésnapja alkalmából (<i>Fái György</i>) . . . . . 334</p> <p><i>Ákos Zsuzsa, Nagy Máté, Vicsek Tamás</i>: Kinek jobb a siklórepülési stratégiája, a madaraknak vagy nekünk? . . . 396</p> <p><i>Bakonyi Imre, Simon Eszter, Péter László</i>: Az óriás mágneses ellenállás felfedezése (1988) – a spintronika nyitánya . . . . . 41</p> <p><i>Bakonyi Imre, Simon Eszter, Péter László</i>: Mágneses ellenállás ferromágneses fémekben és mágneses nanoszerkezetekben . . . . . 93</p> <p><i>Barnaföldi Gergely Gábor, Varga Dezső</i>: GEM, avagy új trend a részecskedetektorok világában . . . . . 292</p> <p><i>Bencze Gyula</i>: a kvantummechanika kiteljesedése: a kvantum- szóráselmélet megszületése . . . . . 172</p> <p><i>Bencze Gyula</i>: Egy marslakó, de nem a Földön kívülről! . . . . . 11</p> <p><i>Berényi Dénes</i>: Alapvető fontosságú eredmények az atomfizikában . . . . . 304</p> <p><i>Czirók András, Kósa Edina</i>: Az érhálózat önszerveződése . . . . . 362</p> <p><i>Elekes Zoltán</i>: Mágikus számok, nemes atommagok . . . . . 98</p> <p><i>Farkas Illés</i>: Komplex hálózatok a molekuláris biológiában . . . 366</p> <p><i>Fényes Tibor</i>: Atommagok a nukleonleszakadási határ közelében . . . . . 323</p> <p><i>Fényes Tibor</i>: Az Univerzum uralkodó anyagfajtája, a „sötét anyag” . . . . . 81</p> <p><i>Fényes Tibor</i>: Szupernehéz elemek . . . . . 412</p> <p><i>Fiorini Ettore</i>: a neutrínó tömege . . . . . 331</p> <p><i>Garab Győző, Papp Elemér</i>: Makro-organizált molekuláris rendszerek szervezethez és szerkezeti flexibilitása . . . . . 370</p> <p><i>Gazda István</i>: Fizikortörténeti irodalmunk a 19. században . . . . . 184</p> <p><i>Geszti Tamás</i>: Kvantum és klasszikus határán . . . . . 209</p> <p><i>Hajdu János</i>: Korrespondencia-elv, diszperzióelmélet és egy pár kézenfekvő ötlet . . . . . 121</p> <p><i>Hargittai István</i>: Furkósbót és szürkemedve – Teller Ede a Szabad Világ védelmében . . . . . 2</p> <p><i>Hargittai Magdolna, Hargittai István</i>: Az elméleti fizika csúcsein – tragédiák között (Lev Davidovics Landau centenárium) . . . . . 161</p> <p><i>Hargittai Magdolna</i>: Maghasadás, fekete lyukak – emlékezés John Archibald Wheelerre . . . . . 140</p> <p><i>Hegedűs Balázs</i>: Variációk daganatsejtek mozgására . . . . . 376</p> <p><i>Horváth Dezső</i>: a részecskefizika anyagelmélete: a Standard modell . . . . . 246</p> <p><i>Horváth Gábor, Barta András, Hegedűs Ramón, Pomozi István, Subai Bence, Ákesson Susanne, Meyer-Rochow Benno, Webner Rüdiger</i>: Sarkított fényvel a vikingek nyomában az Északi-sarkvidéken . . . . . 131</p> <p><i>Horváth István, Karcsai Balázs</i>: Az év űrtávcsöve, a GLAST . . . 178</p> <p><i>Hraskó Péter</i>: Az antropikus elvről . . . . . 321</p> <p><i>Hraskó Péter</i>: Valószínűség . . . . . 241</p> <p><i>Király Péter</i>: a kozmikus háttérsugárzás kutatásának története és kilátásai . . . . . 254</p> <p><i>Kis Domokos Dániel</i>: a hanggal történő elektromos távkapcsolás ötlete . . . . . 429</p> <p><i>Klencsár Zoltán</i>: a Mössbauer-effektus . . . . . 406</p> <p><i>Kovács László</i>: Reneszánsz fizikusok . . . . . 424</p> <p><i>Kun Ferenc</i>: Fragmentációs folyamatok univerzalitási osztályai . 221</p> <p><i>Laczkó Bálint</i>: a cometaryum-mechanizmus . . . . . 50</p> <p><i>Lovas István</i>: Berényi Dénes 80 éves . . . . . 405</p> <p><i>Malik Péter, Horváth Gábor, Kriska György, Robertson Bruce</i>: Poláros fényszennyezés . . . . . 379</p> <p><i>Martinás Katalin</i>: Az energiamegmaradás történetéhez . . . . . 261</p> <p><i>Meszéna Géza</i>: Ökológia és evolúció fizikus szemmel . . . . . 391</p> <p><i>Nagy Imre</i>: Tarnóczy Tivadar, 1929–2007 . . . . . 225</p>	<p><i>Nagy Károly</i>: a kvantumelmélet kialakulása Plancktól Diracig . . 201</p> <p><i>Nagy Zoltán, Buday Gábor</i>: Radioaktív hulladékok föld alatti elhelyezésének „vizes” kérdéseiről . . . . . 108</p> <p><i>Oláb-Gál Róbert</i>: Bolyai János egyik leghosszabb fizika tárgyú kézirataról . . . . . 302</p> <p><i>Palla Gergely, Kertész János</i>: Szociofizika: humán kapcsolatok hálózata nagy skálán . . . . . 217</p> <p><i>Paparó Margit</i>: Asztroszeizmológia és exobolygó-kutatás . . . . . 46</p> <p><i>Papp Elemér, Vicsek Tamás, Kürti Jenő, Horváth Gábor</i>: Beköszöntő a biológiai fizika tematikus számhoz . . . . . 361</p> <p><i>Patkós András</i>: a részecskefizika rejtőzködő szimmetriái . . . . . 126</p> <p><i>Patkós András</i>: Entrópia, Planck, Univerzum . . . . . 281</p> <p><i>Rusznayk Ádám, Koltai János, Zólyomi Viktor, Kürti Jenő</i>: Szén nanoszerkezetek elméleti vizsgálata . . . . . 386</p> <p><i>Sólyom Jenő, Tosatti Erio</i>: Fazekas Patrik, 1945–2007 . . . . . 22</p> <p><i>Sólyom Jenő</i>: Landau, az iskolateremtő . . . . . 167</p> <p><i>Sós Katalin</i>: a talaj és az útburkolatok radioaktív sugárzása . . . 296</p> <p><i>Sütő András</i>: Bose–Einstein-kondenzáció és kristályosodás: a folytonos szimmetria sérülésének két esete . . . . . 214</p> <p><i>Szatmáry Zoltán</i>: Teller Ede és az atomenergia . . . . . 17</p> <p><i>Szemeyei István</i>: Tíz év múltán Teller Edével . . . . . 21</p> <p><i>Teller Ede</i>: Hazajöttem . . . . . 1</p> <p><i>Trampus Péter</i>: a reaktortartály biztonságának elemzése . . . . . 287</p> <p><i>Trampus Péter</i>: Atomerőművek üzemidő-hosszabbítása . . . . . 103</p> <p><i>Trócsányi Zoltán</i>: Az eltűnt szimmetria nyomában . . . . . 417</p> <p><i>Varjú Katalin</i>: Attoszekundumos impulzusok . . . . . 87</p> <p><i>Veres Árpád</i>: Találkozásom Teller Edével . . . . . 20</p> <p><i>Veszely Gyula</i>: Áramvezetőhöz kapcsolódó felületi töltés és külső villamos tér . . . . . 300</p> <p><i>Závodszy Péter, Gál Péter</i>: Proteázok az immunrendszerben . . 400</p> <p><i>Zawadowski Alfréd, Bakonyi Imre</i>: Hargitai Csaba (1939–2007) . 111</p>
<b>A FIZIKA TANÍTÁSA</b>	
A fizika oktatását és kutatását közelről érintő állásfoglalások . . 154	
A fizika tanítása érdekében – ELFT–OKM levélváltás	
a kerettantervről . . . . . 28	
<i>Bérczi Szaniszló, Hegyi Sándor, Hudoba György</i> : a Hunveyor gyakorló űrszondamodell sokoldalú fölhasználása a fizika tanításában és a tantárgyi kapcsolatokban . . . . . 55	
<i>Bokor Nándor</i> : Az elektromágneses és az akusztikai Doppler-effektus elemzése geometriai diagramokkal . . . . . 142	
<i>Csiszár Imre, H. Fazekas Erika, Keszöcze László</i> : Az ötvenedik középszolai ankét Szegeden . . . . . 70	
Diákok az Európai Fizikai Társulat születésnapján ( <i>Pipek Orsolya, Rajkovits Zsuzsanna</i> ) . . . . . 436	
<i>Edwin F. Taylor</i> : Csak a diák tudja . . . . . 345	
<i>Eichhardt Iván, Jaloveczki József</i> : Fizikázunk egyszerűen, számítógéppel . . . . . 311	
<i>Füstöss László</i> : a 2007. évi Eötvös-verseny eredményhirdetése . . 34	
<i>Horváth Dezső</i> : Gimnazistából részecskefizikus – egy nap alatt . 192	
<i>Horváth Gábor</i> : a mesebeli égig érő paszuly: az űrkábel suhánó űrlift . . . . . 229	
<i>Horváth Gábor</i> : Hogyan fogódzkodik az oposszum a farkával a faágba? . . . . . 62	
<i>Jaloveczki József</i> : Kétnapos „fizika-show” az iskolában . . . . . 309	
<i>Jónás Katalin</i> : Élménybeszámoló a magyar fizikatanárook 2008. évi továbbképzéséről a CERN-ben . . . . . 352	
<i>Jubász Nándor, Ósz György, Vida József</i> : a XVIII. Öveges József Fizikaverseny országos döntője . . . . . 347	
<i>Keszöcze László</i> : Békési + csabai + fizika + ankét . . . . . 147	
<i>Kissné Császár Erzsébet, Kiss Miklós</i> : Mikola-döntő Gyöngyösön . . . . . 189	

<i>Kopasz Katalin, Gingl Zoltán, Makra Péter, Papp Katalin:</i> a virtuális mérés technika kísérleti lehetőségei a közoktatásban .....	267
Kugler Sándorné 100. születésnapjára ( <i>Szabados László, szerk.</i> ) ..	226
Kutatók lesznek egy napra ( <i>Horváth Árpád, Jancsó Gábor,</i> <i>Trócsányi Zoltán</i> ) .....	437
Látogatások az egri Varázstoronyban .....	73
Nagy Anett: Mitől pezseg a pezsgő? .....	431
<i>Patkós András:</i> Pillantás PISA-ra .....	25
<i>Radnóti Katalin:</i> a magfizikai kutatások hőskora, női szemmel – I–III. ....	113, 150, 193
<i>Simon Péter:</i> Most jön a tizedik .....	234
<i>Vannay László, Fülöp Ferenc, Máté József, Nagy Tamás:</i> a Fizika Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny harmadik fordulója a harmadik kategória részére – 2007 ....	65

## MINDENTUDÁS AZ ISKOLÁBAN

A szénhidrogének szerepe a jövő energiaellátásában ( <i>Bárdossy</i> <i>György</i> ) .....	197
Konvekció égen, földben, vízben és folyadékkristályokban ( <i>Buka Ágnes, Éber Nándor</i> ) .....	359
Napjaink korszerű anyagai: a fémhabok ( <i>Kádár Csilla, Kenesei</i> <i>Péter</i> ) .....	279

## VÉLEMÉNYEK

<i>Bencze Gyula:</i> Tudásalapú társadalom? .....	307
<i>Berényi Dénes:</i> Magyar kutatók kutatási stílusa és a nemzetközi együttműködés .....	342
<i>Lovas István:</i> Miért nem kapott Nobel-díjat Teller Ede? .....	37
<i>Papp Zoltán:</i> Mit értsünk környezetfizikán? .....	271

## ÁLFIZIKAI SZEMLE

<i>Bencze Gyula:</i> Tudomány, áltudomány, tömegtájékozatlanság .....	337
<i>Bíró Tamás Sándor:</i> Gondolatok a tudomány hatáiról .....	437

## KÖNYVESPOLC

Feynman Richard P.: „Mit érdekel a mások véleménye?” ( <i>Abonyi</i> <i>Iván</i> ) .....	358
Kovács László, Szabados László (szerk.): „Az együtt eltöltött idők emlékére” ( <i>Füstöss László</i> ) .....	320
Kutrovácz Gábor, Láng Benedek, Zemplén Gábor: a tudomány határai ( <i>Füstöss László</i> ) .....	235
Lacza Tihamér: Bűvös táblázat ( <i>Berényi Dénes</i> ) .....	200
Mit üzen egy marslakó? ( <i>Bencze Gyula</i> ) .....	40
Szabó Árpád: Magyar természettudósok – fizikusok ( <i>Berényi</i> <i>Dénes</i> ) .....	155
Szentgyörgyi Zsuzsa (szerk.): Mérnök – tudós – iskolateremtő, Michelberger Pál és kora ( <i>Berényi Dénes</i> ) .....	275

## HÍREK – ESEMÉNYEK

2008: a Föld Bolygó Nemzetközi Éve .....	74
2009 a csillagászat nemzetközi éve .....	78
A Belle Együttműködés új mezont fedezett fel .....	40
A buborékfúzó profétája perli a kételkedő kutatókat .....	158
A Nomad nevű mágnes a CERN-ből Japánba költözik .....	120
A Pentagon legalább 520 millió dollárt költ űrfegyverek kutatásra .....	120
A Phoenix-szonda .....	200
A ráncosodás fizikája .....	159
A Szaturnusz holdjának gyűrűje van .....	80
A Szaturnusz holdjának porlóiraja van .....	158
A szupernóvák utáni vadászat során furcsa égitesteket találtak ..	240
A tudomány tanítása – a tanítás tudománya .....	318
Aggodalmak a fegyverlaboratóriumok elbocsátott munkatársai miatt .....	240
Akadémiai Ifjúsági Díj 2008. ....	157

Amerikai segély orosz atomfegyver-kutatóknak .....	79
Amikor a tudás és a tőke összefog .....	74
Az amerikai elnökjelöltek álláspontja a 2008/09 évi tudományos költésgetésről .....	158
Az amerikai kábeltévé-csatornák híreiben a tudományra öt óránként csak egy perc jut .....	120
Az atomoktól a csillagokig – előadásorozat az ELTE Természettudományi Kar Fizikai Intézetében .....	318
Az egri Varázstorony bemutatkozása a budapesti Művészetek Palotájában ( <i>Ujfaludi László, Vida József, Zoller Gábor</i> ) ...	442
Az ELTE Fizikai Doktori Iskolájának hirdetménye ( <i>Kürti Jenő</i> ) ..	278
Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2008. évi Küldöttközgyűlése .....	119, 276
Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Közhasznúsági jelentése a 2007. évről .....	237
Az indiai kormány javítani igyekszik a női tudósok helyzetét ..	120
Az MTA 178. közgyűlése .....	76
Az MTA beszámolója az Országgyűlésnek .....	74
Az MTA Elnökségének állásfoglalása a darwini evolúciós elmélet védelmében .....	76
Az Országgyűlés elfogadta a Magyar Tudományos Akadémia elnökének jelentéseit a magyar tudomány helyzetéről ....	157
Az ötödik Budapesti Szkeptikus Konferencia ( <i>Füstöss László</i> ) ...	119
Csillogó szilícium .....	80
Délkoreai kutatót csalás gyanúja miatt felfüggesztettek .....	80
Dézsi Zoltán 80 éves ( <i>Pintye Éva</i> ) .....	442
Eötvös Loránd-szobrot avattak Szombathelyen .....	79
Eötvös-verseny – 2008 .....	317
Felhívás javaslatételre ( <i>Kádár György</i> ) .....	77
Fizibusz program .....	76
Franciaország csökkenti a nukleáris robbanófejek számát .....	120
Gamma-sugár teleszkópot neveztek el Fermiről .....	320
Helyére tették a CERN-ben a CMS-detektor utolsó elemét .....	40
Ismét a Casimir-effektus .....	80
Ki lesz a befutó? .....	278
Kipukkadt a buborék – a „buborékfúzó” felfedezője elvesztette professzori állását .....	320
Kitüntetések a nemzeti ünnepen .....	156
Lefényképezték a két-proton bomlást .....	40
Mágneses gáz .....	80
Magyary Zoltán Posztdoktori Ösztöndíjpályázat 2008 .....	442
Mi robbanhatott az NGC 6946-ban? .....	240
Mire jó a szamárium? .....	120
Műholdak segítenek fényt deríteni a grönlandi jég fogyásának rejtélyére .....	320
Nagy-Britannia és Franciaország atomenergiával fogja ellátni a világot .....	120
Nano Törzsasztal ( <i>Mojzes Imre</i> ) .....	277
Nemzetközi konferencia Debrecenben az ATOMKI rendezésében ( <i>Rajta István, Kiss Árpád Zoltán</i> ) .....	441
Nemzetközi tudományos konferencia atomi rendszerekben lejátszó elemi folyamatokról Kolozsváron ( <i>Tőkési Károly</i> ) ..	316
Neves kozmológus hagyja ott Nagy-Britanniát .....	159
Rátz Tanár Úr Életműdíj 2008 .....	442
Rekordpénzek K+F-re .....	157
Simonyi Károly Tudományos Emlékülés – 2008 .....	316
Szexizmus a fizikában? .....	159
Teller Ede centenáriumi eseményei .....	40
Új kísérleti adatok négy kvarkból álló mezon létezésére utalnak ..	240
Ünnepi tudományos ülés Berényi Dénes tiszteletére ( <i>Gulyás</i> <i>László, Sulik Béla</i> ) .....	441

## MELLÉKLET

Az elemi részecskék és alapvető kölcsönhatások Standard modellje ( <i>Horváth Dezső, Kármán Tamás, Somogyi Gábor</i> ) Falnaptár ( <i>Kármán Tamás</i> )
--

## Rátz Tanár Úr Életműdíj 2008

Az Alapítvány a Magyar Természettudományos Oktatásért kuratóriuma 2008. november 18-án a Magyar Tudományos Akadémia Dísztermében immár nyolcadik alkalommal adta át két-két fizika-, matematika-, kémia- és biológiatanárnak a Rátz Tanár Úr Életműdíjat. Fizikatanárok közül idén *Kugler Sándorné* és *Vastagh György* részesült e magas kitüntetésben.

Az 1908-ban született Kugler Sándorné Kovács Györgyi 1931-ben, a nagykanizsai Notre Dame Leánylíceumban kezdte pedagógusi pályáját, 1948-tól a nagykanizsai Irányi Dániel, jelenleg Batthyány Lajos Gimnázium tanára, majd 1961-től nyugdíjba vonulásáig a Radnóti Miklós Gyakorlóiskolában dolgozott vezetőtanárként. Diákjai kiváló eredményeket értek el a KöMaL fizikai feladatmegoldó versenyein és az Eötvös versenyeken egyaránt. Szerzője a *Fizikai képletek és táblázatok*, majd később a *Négyjegyű függvénytáblázatok* című, általánosan forgatott gyűjteményeknek. Vezetőtanárként közel 100 fizika szakos tanárjelöltet indított útjára. Több száz volt tanítványa vallja, hogy számára meghatározó volt Kugler Sándorné egykori fizikatanári tevékenysége, emberi tartása.

Vastagh György 1963-tól napjainkig a balatonfüredi Lóczy Lajos Gimnázium munkatársa. 1976 óta nemzetközi szinten is foglalkozik a fizikatanítás módszertanával és problémáival, valamint az atomenergia és a



Fotó: Kármán Tamás

A két kitüntetett a Magyar Tudományos Akadémián

környezet kapcsolatával, számos publikáció szerzője. 1991-től 2000-ig a Magyar Nukleáris Társaság Tanári Tagozatának elnöke. Feladatkitűző elnöke a Bródy Imre fizikaversenynek. Az országos Szilárd Leó fizikaverseny zsűrijének a kezdetektől feladatkitűző és értékelő tagja. Tanítványai sikerrel szerepeltek az OKTV, Diákolimpia, KöMaL, Vermes- és Mikola-versenyeken.

Gratulálunk a kitüntetetteknek.

## Az egri Varázstorony bemutatkozása a budapesti Művészetek Palotájában

A *Fizikai Szemle* olvasói közül bizonyára kevesen tudják, mi az a Cifra Palota. Eláruljuk: a budapesti Művészetek Palotája vasárnap délelőttökenti gyermekprogramjait hívják így. A sorozat része a *Hetedhét ország* program, amelynek keretében minden hónap utolsó vasárnapján egy-egy magyarországi város kultúrája is bemutatkozik.

November utolsó vasárnapja Eger város napja volt, amikor művészeti együttesek és kézművesek mellett az EKF-Líceum Varázsterme is bemutatkozott. Háromfős csapatunk (*Vida József*, *Ujfaludi László* és *Zoller Gábor*) interaktív fizikai kísérleteket mutatott be. A Vida tanár úr vezényletével bemutatott program sikere minden várakozásunkat felülmúlta. Utólagos becslésünk szerint 300-400 látogatónk volt, főleg általános iskolások, de óvodások is szép számmal jöttek. A gyerekek és az őket kísérő szülők lelkesedése határtalan volt. A fiúk és a lányok nagy érdeklődéssel próbálták működtetni a hőlégballont, a magdeburgi féltékét, a (borlopásra is alkalmas) lopó-palackot, a szupererős mágneset, a léggömb-rakétahajtású autót és

a többi izgalmas kísérleti eszközt. A legnagyobb sláger itt is – mint Egerben – a távirányítású gyertyaoltogató volt. Némelyik fiúcska (főleg a 6–8 évesek közül) született tehetségnek bizonyult a gyertyaoltogatásban. (Kár, hogy zsenyei koruk miatt még nem tudjuk őket Egerben demonstrátorként alkalmazni!) Sok felnőtt is lelkesen kísérletezett együtt a kicsikkel. Az egyik apuka azt mondta: „ez a bemutató felidézti a látogatóknak a régi szép időköt, amikor az egész ország visszafajtott lélegzettel figyelte Öveges professzor televíziós kísérleteit”.

A nap végén elégedetten dörzsöltük össze tenyerünket: jól sikerült a bemutatkozásunk, érdemes volt eljönni. Közben azért – mint egy ünnepontó kisördög fintora – felbukkant az elkerülhetetlen kérdés: vajon hová tűnik az ifjú emberkének fizika iránti határtalan lelkesedése 18 éves korukra? Lesz-e méltó utódja a valaha jobb időköt megért, de már lassan kiöregedő fizika- (kémia-, biológia-) tanárok generációjának?

Fotók: *Vida József*, *Zoller Gábor*

Szöveg: *Ujfaludi László*

**Fizikai Szemle**  
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:



**nka**  
Nemzeti Kulturális Alap

**mym**  
paksi atomerőmű

**NCA**  
Nemzeti Civil Alapprogram





# Cifra Palota

