

fizikai szemle

A large, circular, metallic structure, possibly a component of a particle accelerator, is being transported through a narrow street. The structure is supported by a red truck and is surrounded by a large crowd of people. A blue and green emergency vehicle is visible in the foreground.

2008/10

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:

**A KATRIN elektronneutrínó
spektrométer fő tartályának érkezése
Karlsruheba.**

A hátsó borítón:

Konvekció a természetben.

TARTALOM

<i>Hraskó Péter:</i> Az antropikus elvről	321
<i>Fényes Tibor:</i> Atommagok a nukleonleszakadási határ közelében	323
<i>Ettore Fiorini:</i> A neutrínó tömege	331
A változatos fizikusélet – Beszélgetés Németh Judittal 75. születésnapja alkalmából (<i>Fái György</i>)	334

ÁLFIZIKAI SZEMLE

<i>Bencze Gyula:</i> Tudomány, áltudomány, tömegtájékoztató	337
---	-----

VÉLEMÉNYEK

<i>Berényi Dénes:</i> Magyar kutatók kutatási stílusa és a nemzetközi együttműködés	342
--	-----

A FIZIKA TANÍTÁSA

<i>Edwin F. Taylor:</i> Csak a diák tudja	345
<i>Juhász Nándor, Ósz György, Vida József:</i> A XVIII. Öveges József Fizikaverseny országos döntője	347
<i>Jónás Katalin:</i> Élménybeszámoló a magyar fizikatanárok 2008. évi továbbképzéséről a CERN-ben	352

KÖNYVESPOLC

HÍREK – ESEMÉNYEK	359
--------------------------	-----

MINDENTUDÁS AZ ISKOLÁBAN

Konvekció égen, földben, vízben és folyadékkristályokban (<i>Buka Ágnes, Éber Nándor</i>)	359
--	-----

P. Hraskó: The anthropic principle

T. Fényes: Atomic nuclei in near-to-nucleon-detachment states

E. Fiorini: The mass of the neutrino

A physicist's variegated life – Professor Judit Németh interviewed at 75 (*G. Fái*)

PSEUDO-PHYSICAL REVIEW

Gy. Bencze: Science, pseudo-science and the duty of correctly informing laymen

TEACHING PHYSICS

E. F. Taylor: Only the students knows

N. Juhász, G. Ósz, J. Vida: The XVIII. Öveges József Physics Contest

K. Jónás: Report on the 2008 CERN Course for Hungarian physics teachers

OPINIONS, BOOKS, EVENTS

SCIENCE IN BITS FOR THE SCHOOL

Convection in the sky, in ground, in water and in liquid crystals (*Á. Buka, N. Éber*)

P. Hraskó: Das anthropische Prinzip

T. Fényes: Atomkerne in Zuständen vor dem Abspalten von Nukleonen

E. Fiorini: Die Masse des Neutrinos

Das bewegte Leben einer Physikerin – Ein Interview mit Frau Judit Németh
an ihrem 75. Geburtstag (*G. Fái*)

ZEITSCHRIFT FÜR PSEUDO-PHYSIK

Gy. Bencze: Wissenschaft, Pseudowissenschaft und die Pflicht, Laien gegebenenfalls aufzuklären

PHYSIKUNTERRICHT

E. F. Taylor: Nur der Student weiß es

N. Juhász, G. Ósz, J. Vida: Der XVIII. Öveges-József Wettbewerb in Physik

K. Jónás: Bericht über den CERN-Kurs 2008 für ungarische Physiklehrer

MEINUNGSÄUSSERUNGEN, BÜCHER, EREIGNISSE

WISSENSWERTES FÜR DIE SCHULE

Konvektion am Himmel, in Erde, in Wasser und in flüssigen Kristallen (*Á. Buka, N. Éber*)

И. Храшко: Антропический принцип

Т. Фенеш: Атомные ядра в условиях способствующих отрыву нуклеонов

Э. Фиорини: Масса нейтрино

Пёстрая жизнь физиков. Разговор с 75-летней Ю. Нэмэт (*Г. Фай*)

ОБЗОРЫ ИЗ ОБЛАСТЕЙ ПСЕВДО-ФИЗИКИ

Д. Бенце: Наука, псевдо-наука, оведомление массового читателя

ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

Э. Ф. Тейлор: Только студент знает

Н. Югас, Д. Ёс, Й. Вуда: XVIII. Констест по физике им Й. Эвэгэш

К. Йонаш: Отчет о курсе (2008 г.) Института CERN для венгерских учителей физики

ЛИЧНЫЕ МНЕНИЯ, КНИГИ, ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ ДЛЯ ШКОЛ

Конвекция в небе, в грунте, в воду и в жидких кристаллах (*А. Бука, Н. Эбер*)

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@mtesz.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 egyzámlán.

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

10. szám

2008. október

AZ ANTROPIKUS ELVRŐL

Hraskó Péter
PTE Elméleti Fizika Tanszék

Az *antropikus elvet* nagyon sok változatban fogalmazták már meg, de a lényegét tekintve ezek mind két alapforma változatai. A *gyenge antropikus elv* abban foglalható össze, hogy az élet létezése feltételeket ró az Univerzum fejlődését leíró modellekre. Az *erős antropikus elv* pedig azt állítja, hogy ezek a feltételek olyan szűk tűréshatárok közé szorítják a különböző fizikai állandók (finomszerkezeti állandó, nukleontömeg stb.) értékét, hogy egy ilyen Univerzum semmiképpen sem lehet a „véletlen” terméke, hanem csakis valamilyen „intelligens tervezés” eredményeként jöhetett létre, amelynek célja az élet feltételeinek a biztosítása volt. Elég nyilvánvaló, hogy a gyenge elv ugyan igaz, de lapos közhely, amellyel nem érdemes foglalkozni. Az erős elv azonban rejtett érvelési hibát (körköröséget) tartalmaz, és ezt érdemes feltárni.¹

Jelöljük \mathbf{H} -val azt a hipotézist, hogy a világ intelligens tervezés eredménye, \mathbf{B} -vel pedig a bizonyítékok halmazát, vagyis a fizikai állandók konkrét értékeit (a mérési hibáikkal együtt). Ezeket ugyan csak erős fenntartással lehet „bizonyítéknak” tekinteni, mert a kozmológiáról és az életről még túl keveset tudunk ahhoz, hogy bizonyosan megállapíthassuk: A fizikai állandóknak csakis a ma ismert értéke mellett lehetséges az élet létrejötte a Világegyetemben. Tegyük azonban félre a fenntartásainkat és tekintsük \mathbf{B} -t a \mathbf{H} bizonyítékának.

Az erős antropikus elv két premisszából indul ki. Az első az, hogy ha a Világegyetem nem intelligens tervezettség következményeként jött létre, akkor nagyon valószínűtlen, hogy a fizikai paraméterek pont olyanok, amilyeneknek megismertük őket. Matematikailag ezt a $val(\mathbf{B}|\bar{\mathbf{H}}) \ll 1$ függvény segítségével fejezhetjük ki, amely X valószínűségével egyenlő az Y feltétel teljesülése mellett:

$$val(\mathbf{B}|\bar{\mathbf{H}}) \ll 1. \quad (1)$$

A $\bar{\mathbf{H}}$ szimbólum itt a \mathbf{H} ellentétét jelenti, vagyis azt a hipotézist, hogy a világ nem valamilyen intelligens tervezettség eredménye.

A második premissza az, hogy intelligens tervezettség esetén viszont szükségképpen a ma ismert paraméterekkel rendelkező világ jött létre, hiszen a tervezés célja az élet feltételeinek a biztosítása volt. Matematikailag ezt a

$$val(\mathbf{B}|\mathbf{H}) = 1 \quad (2)$$

képlet fejezi hűen ki. Alább a képleteinkben az (1) és a (2) valószínűségnek csak a hányadosa lép majd fel, ezért a két premisszát egyetlen premisszába tömöríthetjük:

$$b \equiv \frac{val(\mathbf{B}|\bar{\mathbf{H}})}{val(\mathbf{B}|\mathbf{H})} \ll 1 \quad (\text{PREMISSZA}). \quad (3)$$

Ilyen típusú hányados gyakran fordul elő a matematikai statisztikában, ahol *Bayes-faktornak* vagy *likelihood-aránynak* hívják.

Az elv konklúziója az, hogy a bizonyítékok alapján az intelligens tervezettség szinte bizonyos, a valószínűsége gyakorlatilag 1-gyel egyenlő:

$$val(\mathbf{H}|\mathbf{B}) \approx 1 \quad (\text{KONKLÚZIÓ?}). \quad (4)$$

A kérdés az, hogy következik-e ez a konklúzió a premisszából. Ha összehasonlítjuk a matematikai alakjukat azt látjuk, hogy a premisszában szereplő feltételes valószínűségeknek az első argumentuma a bizonyíték, a második a hipotézis, a konklúzióban

¹ Az alább következő gondolatmenettel kapcsolatban nyomatékosan az olvasó figyelmébe ajánlom Pólya György *A plauzibilis következtetés elmélete. A matematikai gondolkodás művészete II.* (Gondolat, 1989) könyvének XV. fejezetét.



Codex Vindobonensis (Franciaország, 1250 körül), az Osztrák Nemzeti Könyvtár tulajdona.

szereplő valószínűségben pedig a sorrend fordított. Ezért ha a konklúziót matematikailag ki akarjuk fejezni a premisszán keresztül, a *Bayes-formulát*² kell használnunk, amely a következő:

$$val(X|Y) = \frac{val(Y|X) \cdot val(X)}{val(Y)}. \quad (5)$$

Az X és az Y lehet bármilyen esemény vagy kijelentés. Ennek alapján

$$val(\mathbf{H}|\mathbf{B}) = \frac{val(\mathbf{B}|\mathbf{H}) \cdot val(\mathbf{H})}{val(\mathbf{B})}. \quad (6)$$

A képletben szereplő egyargumentumú $val(X)$ az X feltétel nélküli (abszolút) valószínűsége, speciálisan $val(\mathbf{B})$ a bizonyítékoknak (a fizikai állandók megfigyelt értékének) az abszolút valószínűsége. A teljes valószínűség tételének felhasználásával ez felírható a következő formában is:

$$val(\mathbf{B}) = val(\mathbf{B}|\mathbf{H}) \cdot val(\mathbf{H}) + val(\mathbf{B}|\bar{\mathbf{H}}) \cdot val(\bar{\mathbf{H}}), \quad (7)$$

ahol $val(\mathbf{H})$ annak valószínűsége, hogy a világ intelligens tervezés eredménye, a $val(\bar{\mathbf{H}})$ pedig annak valószínűsége, hogy nem az. Ez a két lehetőség egymást kizárja, több lehetőség pedig nincs, ezért

$val(\mathbf{H}) + val(\bar{\mathbf{H}}) = 1$. A (7) a \mathbf{B} valószínűségét a két lehetőségre vonatkozó valószínűségek súlyozott összegeként állítja elő.

Helyettesítsük (7)-et (6) nevezőjébe:

$$val(\mathbf{H}|\mathbf{B}) = \frac{val(\mathbf{B}|\mathbf{H}) \cdot val(\mathbf{H})}{val(\mathbf{B}|\mathbf{H}) \cdot val(\mathbf{H}) + val(\mathbf{B}|\bar{\mathbf{H}}) \cdot val(\bar{\mathbf{H}})}, \quad (8)$$

és ezután a tört számlálóját és nevezőjét osszuk el a $val(\mathbf{B}|\mathbf{H}) \cdot val(\mathbf{H})$ szorzattal:

$$val(\mathbf{H}|\mathbf{B}) = \frac{1}{1 + b \cdot r}, \quad (9)$$

ahol

$$r \equiv \frac{val(\bar{\mathbf{H}})}{val(\mathbf{H})} = \frac{1 - val(\mathbf{H})}{val(\mathbf{H})} \quad (10)$$

az úgynevezett *bázisarány*.

A (9) képlet bal oldalán a (4) konklúzióban szereplő feltételes valószínűség áll, míg a jobb oldalon a Bayes-faktor a (3) premisszában szerepel. Ez a képlet tehát alkalmas arra, hogy megállapíthassuk, következ-e a premisszából a konklúzió.

Először feledkezzünk el a (9) nevezőjében r -ről. A tört ekkor $1/(1+b)$. A premissza szerint $b \ll 1$, ezért $val(\mathbf{H}|\mathbf{B}) \approx 1$. Ez valóban azonos az erős antropikus elv konklúziójával. Az r jelenléte azonban drámaian megváltoztatja a helyzetet: ahhoz, hogy kiszámíthassuk a bennünket érdeklő $val(\mathbf{H}|\mathbf{B})$ -t, a (10) következtében *már előzetesen ismernünk kell* annak $val(\mathbf{H})$ valószínűségét, hogy a világ intelligens tervezés eredménye. Ebből nyilvánvaló, hogy az erős antropikus elv valóban körkörös érvelésen alapul.

A $val(\mathbf{H})$ valószínűségnek kétféle értelmezése lehetséges, egy objektív és egy szubjektív. Az objektív felfogás szerint a \mathbf{H} vagy igaz vagy hamis, ezért $val(\mathbf{H})$ vagy 1 vagy 0. Az első esetben (10) szerint $r = 0$, (9) alapján pedig $val(\mathbf{H}|\mathbf{B}) = 1$, ahogy azt az erős antropikus elv sugallja. Azonban ebből egyáltalán nem vonható le az a következtetés, hogy akkor tehát a világ intelligens tervezés eredménye, mert ezt a bizonyításban már kihasználtuk azzal, hogy $val(\mathbf{H})$ -t 1-nek tekintettük – ezért körkörös ez az elv. A második esetben teljesen hasonlóan a $val(\mathbf{H}|\mathbf{B}) = 0$ eredményre jutunk, de a körköröség miatt ebből szintén nem következik, hogy a világ intelligens tervezés *nélkül* jött létre.

A másik lehetőség az, hogy a $val(\mathbf{H})$ -n azt értjük, hogy valaki szubjektíven mennyire tartja valószínűnek az intelligens tervezettséget: ha egyáltalán nem hisz benne, akkor 0-nak választja, ha biztos benne, akkor 1-nek, ha pedig nem tud dönteni, akkor a bizonytalanságának a mértékét a (0,1) intervallumba eső megfelelő számmal fejezi ki. Minél jobban hisz valaki abban, hogy a világ intelligens tervezettség következtében jött létre, annál nagyobbak választja $val(\mathbf{H})$ -t, annál kisebb lesz az r ; a (9) szerint annál nagyobb $val(\mathbf{H}|\mathbf{B})$ értékre jut, ezért (ha logikusan gondolkodik) annál inkább vallja, hogy a fizikai állandók tapasztalt értékei az intelligens tervezettséget bizonyítják. Ennyi következik az erős antropikus elv premisszáiból, semmivel se több.

² Ezt a képletet úgy lehet megkapni, hogy a feltételes valószínűségek $val(X|Y) = val(X, Y)/val(Y)$ és $val(Y|X) = val(X, Y)/val(X)$ kifejezéseiből kizárjuk $val(X, Y)$ -t, amely az X és az Y együttes előfordulási valószínűsége.

ATOMMAGOK A NUKLEONLESZAKADÁSI HATÁR KÖZELÉBEN

Fényes Tibor
MTA ATOMKI, Debrecen

Az atommagfizika számára kulcsfontosságú annak tisztázása, hogy a protonok és neutronok milyen kombinációi alkothatnak atommagot. Közeledve a nukleonleszakadási határokhoz, az atommagokban lényeges változások zajlanak le. Kialakulnak meglehetősen tiszta proton- vagy neutron-maganyagok, új egzotikus bomlásmódok lépnek fel (pl. két proton vagy két neutron kibocsátása), a magreakciókban a folytonos gerjesztett állapotok nagyobb szerephez jutnak. A gyengén kötött atommagoknak csak kevés vagy egyáltalán nincs részecskestabil gerjesztett állapota, már kis gerjesztés is a kontinuumba vezet. A stabilitási sávtól távol eső atommagok sajátosságainak, szerkezetének, bomlásának, reakcióinak felderítése fontos a nukleáris asztronfizika, az elemek kialakulása szempontjából is.

A nukleonleszakadási határok

Az 1. ábrán feltüntettük az atommagok térképét, ami a stabil, ismert radioaktív és várhatóan kötött állapotban lévő atommagokat mutatja a rendszám (Z) és neutronszám (N) függvényében. A könnyű, stabil

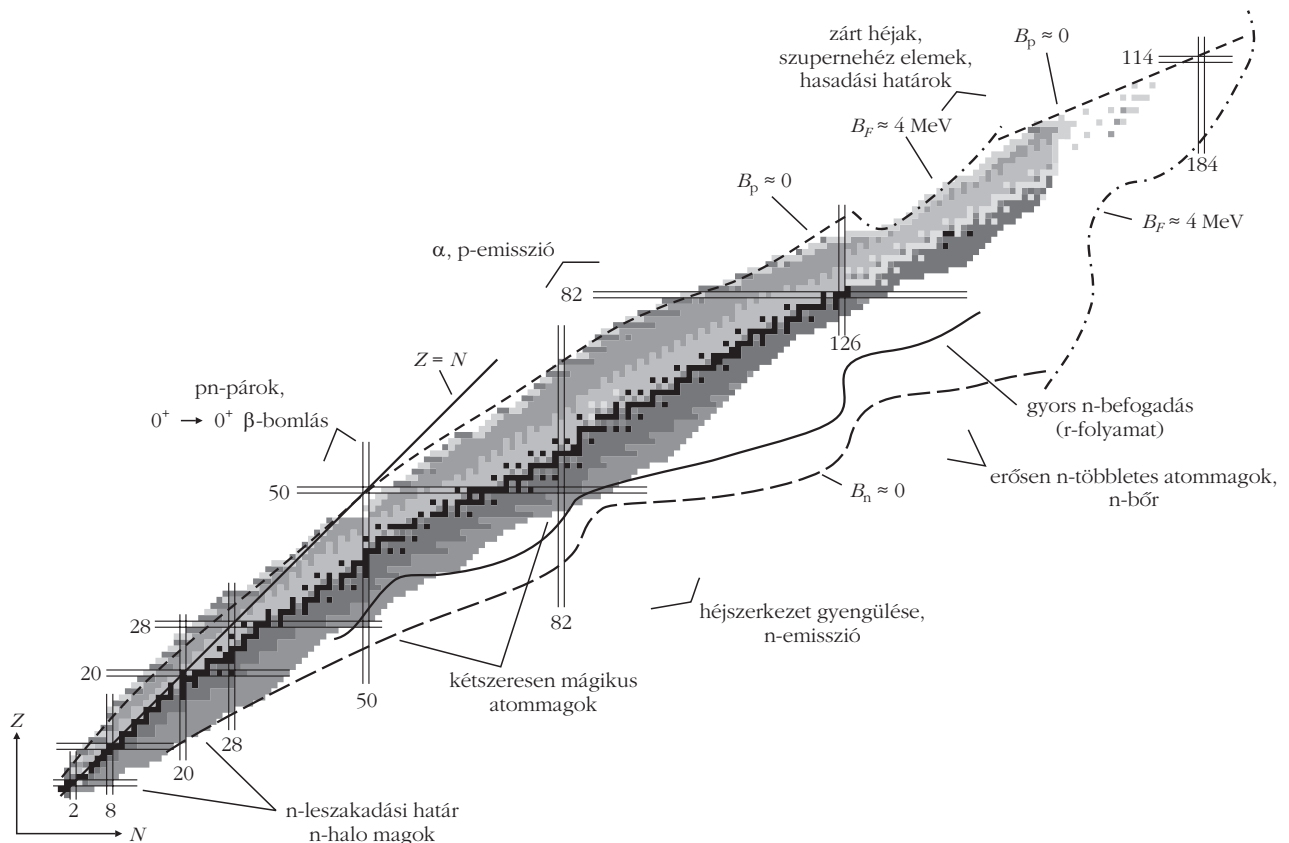
atommagokban körülbelül egyenlő számú proton, illetve neutron van, a nehezebbeknél a neutronszám túlsúlyba jut.

Az atommagtérkép ilyen alakulásában kiemelt szerepet játszik a protonok és neutronok közötti erős kölcsönhatás. Ennek közvetlen bizonyítékát adta nemrégiben a Jefferson Laboratórium (Virginia, USA) egy kísérlete. 4,627 GeV energiájú elektronokkal bombáztak ^{12}C céltárgyat, és az elektron rugalmatlan ütközésében kiütött részecskéket nagy felbontóképességű spektrométerekkel vizsgálták, koincidiációban a szóródott elektronokkal. Azt találták, hogy 80%-ban egyes nukleonok, 18%-ban pn-párok, és 1-1%-ban nn-, illetve pp-párok jelennek meg a kilépő reakciótermékek között. Ez azt jelenti, hogy a ^{12}C nukleonjainak 18%-a rövid hatótávolságú erős pn-kölcsönhatásban vesz részt [1].

Távolodván a stabilitási sávtól a proton, illetve a sáv másik oldalán a neutron szeparációs energiák csökkennek (kisebb ingadozásoktól eltekintve).

A nukleonleszakadási határokat úgy definiálhatjuk a Z - N síkban, hogy a szeparációs energiák (S_p , S_n) itt szelik át a zéró értéket.

1. ábra. Atommagok a rendszám (Z) és neutronszám (N) síkban. A stabil magokat fekete négyzetek jelölik. A lépcsőzetes vonalakkal határolt és besatírozott terület az ismert izotópok tartományát mutatja. A $B_p = S_p \approx 0$ és $B_n = S_n \approx 0$ görbék a proton-, illetve neutronleszakadási határok. B_f a hasadáshoz szükséges gerjesztési energiát jelöli.



A szeparációs energiák a két szomszédos atommag E_B kötési energiáiból számíthatók:

$$S_p = E_B(Z, N) - E_B(Z - 1, N),$$

$$S_n = E_B(Z, N) - E_B(Z, N - 1).$$

A szeparációs energia nem kötött rendszerekre definíció szerint negatív. A bomlásenergia a szeparációs energia abszolút értékével egyenlő $E_{bomlás} = |S_{p,n}|$.

A proton szeparációs energiája a tömegekből is származtatható,

$$S_p = M(Z - 1, N) + M_H - M(Z, N),$$

ahol M_H a hidrogén atom tömege. Ez azt jelenti, hogy a proton- (vagy neutron-) leszakadási határ megállapításához négy mag tömegét is ismernünk kell.

Megjegyezzük, hogy a nukleonleszakadási határ fenti definíciója és a tényleges nukleonemisszió kapcsolata nem egyszerű. Ugyanis a protonemissziót késlelteti a fellépő Coulomb-, illetve centrifugális gát, és ez utóbbi a neutronkibocsátásnál is felléphet. Ezért a leszakadási határt egyesek úgy definiálják, hogy ennél az utolsó nukleon nem kötött (a legkönnyebb vagy legnehezebb izotópra), és az atommag az erős kölcsönhatásra jellemző 10^{-22} s nagyságrendben bomlik. Ezt tekinthetjük jellemző nukleáris időnek. Az új atommagtáblázatok tartalmazznak olyan nem kötött atommagokat, amelyek élettartama $\sim 10^{-22}$ s nagyságrendben van (2. ábra). Ez egyúttal szolgálhat az atommag definíciójához: ha az atommag élettartama hosszabb, mint $\sim 10^{-22}$ s, a nukleon-együttes atommagnak tekinthető. Ma már számos olyan atommag ismert, amelyik alapállapotban nem kötött, de magreakciókban (pl. a ${}^7\text{Li}({}^3\text{H}, {}^3\text{He}){}^7\text{He}$ reakcióval) gerjesztett állapotait előállították. A hidrogénnél és héliumnál 4-4, a lítiumnál 3 ilyen atommagról tudunk.

Nukleonleszakadási határok. Az 1. ábrán láthatjuk, hogy a protonleszakadási határt a legnehezebb atommagoktól eltekintve már majdnem mindenütt elérték, sőt a határon túl is ismerünk atommagokat $\leq \mu\text{s}$ nagyságrendű felezési időekkel. Más a helyzet a neutrontöbbletes magoknál, itt csak $Z \sim 20$ -ig (calcium) sikerült előállítani a határon lévő atommagokat, egyébként messze vagyunk tőle. A nukleonleszakadási határra vonatkozó előrejelzések meglehe-

2. ábra. A legkönnyebb atommagok a rendszám (Z) – neutronszám (N) síkban [3] alapján.

Z	$N=1$	$N=2$	$N=3$	$N=4$	$N=5$	$N=6$	$N=7$	$N=8$
3	Li 4 5,0 MeV $91 \cdot 10^{-24}$ s p	Li 5 1,23 MeV $370 \cdot 10^{-24}$ s p	Li 6 $7,59$ $700 \cdot 10^{-21}$ s n	Li 7 92,41 $806,7$ ms β^- β^-	Li 8 840,3 ms $2,9 \cdot 10^{-21}$ s n	Li 9 178,5 ms β^- β^-	Li 10 230 keV $2 \cdot 10^{-21}$ s n	Li 11 8,5 ms β^- β^- β^- β^-
2	He 3 0,000134 $0,000134$ s p	He 4 99,999866 $99,999866$ s p	He 5 648 keV $700 \cdot 10^{-21}$ s n	He 6 806,7 ms $806,7$ ms β^- β^-	He 7 159 keV $2,9 \cdot 10^{-21}$ s n	He 8 119 ms β^- β^-	He 9 65 keV $7 \cdot 10^{-21}$ s n	He 10 0,17 MeV $2,7 \cdot 10^{-21}$ s 2n
1	H 1 99,9885 $99,9885$ s p	H 2 0,0115 $0,0115$ s p	H 3 12,323 a $12,323$ a n	H 4 3,28 MeV $139 \cdot 10^{-21}$ s n	H 5 1,9 MeV? $240 \cdot 10^{-21}$ s 2n	H 6 1,6 MeV $290 \cdot 10^{-21}$ s n 2 3n 2	H 7 20 MeV $23 \cdot 10^{-21}$ s 2n 2	

tösen bizonytalanok, akár 15 neutron is lehet az eltérés a különböző számítások között [2]. Jelenleg ~ 300 stabil (élettartam $> 10^9$ év), továbbá ~ 2700 radioaktív atommag ismeretes és még ~ 4000 atommag vár felfedezésre.

Reakciók, a termékek szeparálása és azonosítása

Reakciók

A nukleonleszakadási határ közelében lévő atommagok előállítására az elmúlt évek során számos reakciót használtak.

A nagyenergiájú részecskékkel létrehozott *spallációs reakciók* igen bő választékát adják a neutronhiányos izotópoknak, de felhasználhatók neutrontöbbletes izotópok előállítására is. Kombinálva on-line tömegszeparálással számos új izotóp előállítását tették lehetővé. Mindazonáltal ma már az extrém neutronhiányos vagy -többletes magok előállítására a fúziós-párolgási, vagy bombázó részecske fragmentációs reakciók alkalmasabbak.

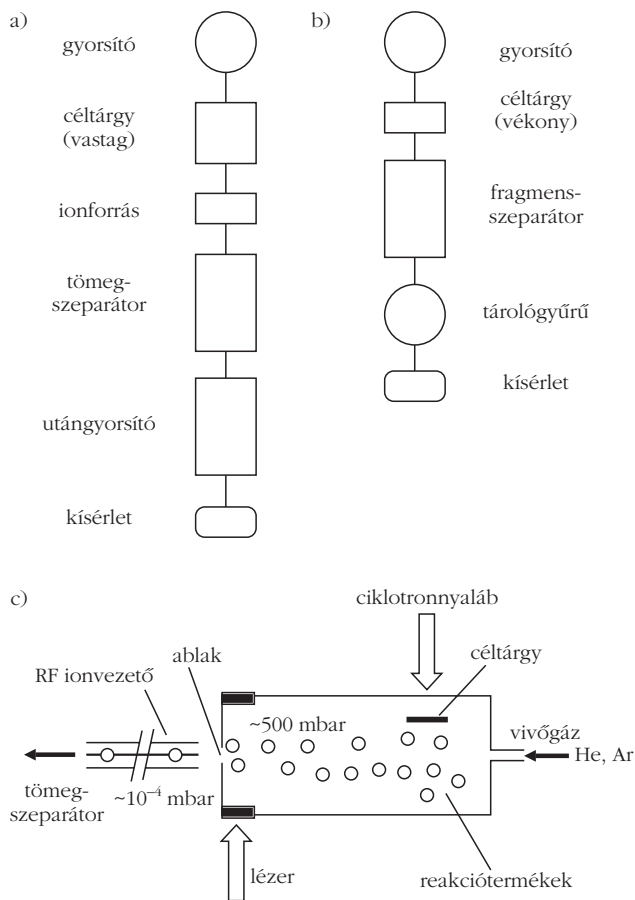
A nehéz ionokkal létrehozott összeolvadási-párolgási reakciók nagyon sikeresnek bizonyultak a neutronhiányos izotópok előállítására. Jelenleg ez a leggyakoribb módszer a protonleszakadási határon (vagy azon túl) lévő atommagok előállítására $Z = 50$ rendszám felett. Kiválóan alkalmasak transzurán elemek szintézisére is, megfelelő stabil céltárgy – bombázó részecske kombinációban.

Néhány nukleonátadással járó reakciók tipikusan 5–10 MeV/nukleon, míg fragmentációs reakciók > 35 MeV/nukleon energiáknál jönnek létre. *Mélyen rugalmatlan (neutronátadó) reakciókat* sikeresen alkalmaztak neutrontöbbletes atommagok előállítására a $6 \leq Z \leq 17$ tartományban. A módszer azon alapszik, hogy ha viszonylag könnyű bombázó ionok (pl. ${}^{22}\text{Ne}$, ${}^{40}\text{Ar}$) kölcsönhatásba lépnek nehéz (és így neutronokban gazdag) céltárgymagokkal, nagy valószínűséggel ragadnak magukhoz neutronokat.

Bombázó részecske fragmentációs reakciók létrehozható például úgy, hogy ≥ 35 MeV/nukleon energiájú nehéz ionokkal (pl. erősen neutrontöbbletes ${}^{48}\text{Ca}$ ionokkal) bombáznak könnyű (pl. ${}^9\text{Be}$) atommagokat. Így nagyon erősen neutrontöbbletes izotópok állíthatók elő. A vizsgálni kívánt atommagok azonosíthatók röptükben a céltárgy mögé tett mágneses szeparátorral. Jelenleg a nehéz bombázó részecske fragmentációs (vagy hasadásos) reakciói szolgáltatják az egyik leghatékonyabb módszert mind a neutrontöbbletes, mind a neutronhiányos új atommagok előállítására.

Nagyenergiájú nehéz részecskékkel (pl. ${}^{238}\text{U}$ -nal) bombázva céltárgyakat létrehozható a *bombázó részecskék hasadása*. A módszer különösen hatékony neutrontöbbletes atommagok előállítására a $20 \leq Z \leq 47$ tartományban.

Reakciók radioaktív nyalábokkal. Magreakciókban előállított, szeparált és utángyorsított másodla-



3. ábra. Radioaktív ionnyalábok szeparálási technikái. Az ISOL (a), röntében való (b) és IGISOL (c) szeparálási módszerek működési elvei.

gos nyalábok is felhasználhatók egzotikus izotópok előállítására és vizsgálatára. Jelenleg azonban a radioaktív nyalábok intenzitása nem elegendő ahhoz, hogy ezekkel részleteiben tanulmányozni lehessen a nukleonleszakadási határok közelében lévő atommagok sajátosságait (a legkönnyebb elemek kivételével). Precíziós tömegmérést különböző csapdákból akár néhány atommagon is lehet végezni. A bomlás-sajátságok, első gerjesztési szintek, transzfer reakciók vizsgálatához azonban már 2–3, a nivósémák, rezonanciák vizsgálatához ~5 nagyságrenddel erősebb radioaktív nyalábbintenzitások szükségesek. Ezért a következő generációs berendezéseknél az egyik legfontosabb célkitűzés a radioaktív nyalábbintenzitások növelése.

A reakciótermékek szeparálása, azonosítása

A stabilitási sávától távol eső atommagok vizsgálata szempontjából nemcsak az előállító magreakció, hanem a szeparálási és azonosítási módszer is lényeges. Ez utóbbiaknak két főbb típusa alakult ki, nevezetesen az *izotóp szeparálása egyidejűleg a céltergő bombázásával (on-line, ISOL)*, valamint a *röntében való szeparálás (in flight, IF)*. Hídat alkot a kétféle típus között az IGISOL (*ion guide isotope separator on-line*) módszer.

A 3. ábrán feltüntettük a háromféle szeparálás működési elvét.

Az ISOL-módszernél a felgyorsított stabil részecskével vastag céltergőben létrehozzák a vizsgálni kívánt izotópokat. A céltergőből magas hőmérsékleten való hevítéssel elpárologtatják a reakciótermékeket, majd ionforrásban ionizálják és tömegszeparátorral szétválasztják. A szeparált izotópokat – kívánság szerint – utángyorsíthatják magreakció-vizsgálatok céljaira. A céltergőanyag (vegyület) megfelelő megválasztásával bizonyos elemekre szelektív kiválasztás is elérhető, ha ezek könnyebben párolognak el. Továbbá megvan a lehetőség, hogy lézernyalábbal szelektíven ionizáljanak. A módszer előnye, hogy a nagy bombázó nyalábbintenzitás és vastag céltergő miatt jó hozammal, kiváló minőségű radioaktív ionnyalábok állíthatók elő. Hátránya, hogy a vastag céltergőből való elpárologás viszonylag hosszú időt vesz igénybe (≥ 1 ms), így csak a hosszabb felezési idejű izotópokra alkalmazható. Nehezen elpárologtatható anyagok (Ta, W stb.) vizsgálata is nehézséggé ütközik.

A röntében való szeparálás módszernél vékony céltergőt alkalmaznak, amelyből a magreakció termékei kirepülnek. Ezeket fragmenszeparátorral rendszám és tömegszám szerint szétválasztják. A mag-spektroszkópiai (vagy reakció-) vizsgálatok elvégezhetőek tárológyűrű közbeiktatásával vagy anélkül is. Relativisztikus energiáig felgyorsított elsődleges nehézionnyalábok nagy hatásfokkal lökik ki a reakciótermékeket a vékony céltergőből. A módszer gyors, tiszta és kémiai független szeparálást tesz lehetővé. Segítségével ~ μ s (vagy némileg kisebb) felezési idejű izotópok is vizsgálhatók.

Az IGISOL technikában a bombázó nyalábbal vékony céltergőből kilökik a reakciótermékeket, majd hélium gázban lefékeznek. Körülbelül 100 mbar vivőgáznyomás mellett elérhető, hogy a reakciótermékek fokozatosan +1 e töltésű állapotba kerüljenek. Az ionokat megfelelő ionoptikai rendszerrel kivonják a kamrából, majd felgyorsítják és on-line tömegszeparátorral szétválasztják. A vivőgázt nagy szívósebességű szivattyúkkal több lépcsőben távolítják el a rendszerből. A módszer alkalmas rövid felezési idejű izotópok ($T_{1/2} \geq 0,1$ ms) vizsgálatára, és nehezen párologó anyagokra (pl. Nb, Mo, Tc, Ru, Rh) is hatékony.

Nagyobb vivőgáznyomás (~500 mbar) mellett elérhető, hogy a reakciótermékek semlegesítődjének. Ekkor lézernyalábbal szelektív ionizáció hozható létre (3.c ábra).

A céltergőből kilökött reakciótermékeket *gáztöltésű szeparátorban* is el lehet választani egymástól. Ezekkel nagy transzmisszió és mérsékelt tömegfeloldás érhető el. Különösen alacsony hozamokkal előálló radioaktív atommagok (pl. a szupernehéz elemek) vizsgálatára alkalmas.

A Michigan Állami Egyetem Nemzeti Szupravezető Ciklotron Laboratóriumában (MSU, NSCL, East Lansing) kifejlesztés alatt áll egy rendszer, ami a *röntében szeparált nagyenergiájú ionnyalábot megállítja (start-stop)*, például egy hélium gázzal töltött cső-

ben vagy más módon. A megállított ionok aztán egy keskeny elektronnyalábos csapdában (EBIS, elektronnyaláb-ionforrás [14]) erősen ionizálhatók, majd szupravezető lineáris gyorsítóval ~ 3 MeV/A energiára utángyorsíthatók. Így remélhetőleg igen jó minőségű nyalábot lehet nyerni, többek között nehezen elpárolgó elemekre.

Hozamok

Az előzőekben láttuk, hogy a stabilitási sávtól távol eső neutrontöbbletes, illetve -hiányos atommagok előállítására az egyik leghatékonyabb mechanizmus a nagyenergiájú bombázó részecskék fragmentációja, illetve hasadása. Nagyenergiájú nehéz atommaggal (pl. uránnal) bombázva alacsony rendszámú céltárgyat (pl. berilliumot) a reakciótermékek főleg a bombázó részecskék irányába repülnek, így röptükben jó hatásokkal szeparálhatók. Ez nagy előny a nehézion-neutronátadó (pl. ^{22}Ne (174 MeV) + ^{232}Th) reakciókhoz képest, ahol a reakciótermékek zömmel kúpszögben repülnek ki a bombázó nyaláb irányához képest.

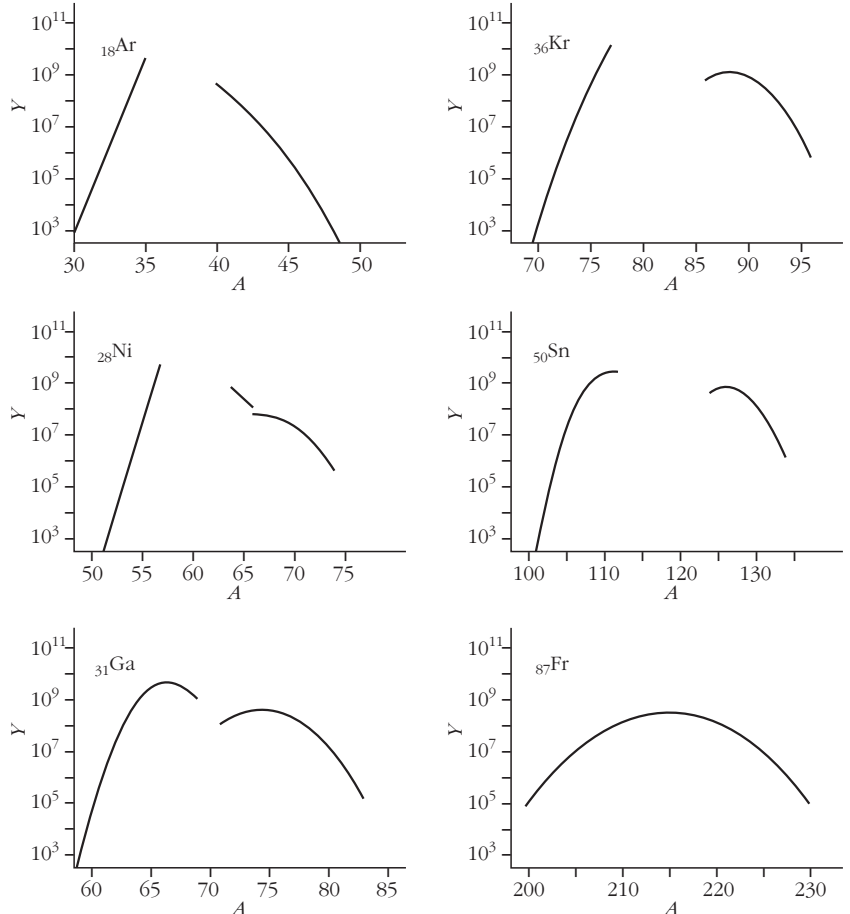
Az $\text{U}(1 \text{ GeV}/A) + \text{Be}$ reakció hozamai különböző elemek izotópjaira a 4. ábrán láthatók.

Egy adott radioaktív izotóp hozama (Y) az első szeparátor (analizáló mágnes) után a következő képpel írható le:

$$Y = \sigma \Phi N \epsilon_1 \epsilon_2 \epsilon_3,$$

ahol σ az illető magreakció hatáskeresztmetszete, Φ az elsődleges bombázó részecske árama, N az effektív céltárgyvastagság, ϵ_1 a kiszabadulási és átviteli hatékonyság, ϵ_2 az ionizációs hatékonyság, ϵ_3 a tömegszeparálás hatékonysága. Az említett $\text{U}(1 \text{ GeV}/A) + \text{Be}$ és hasonló reakcióknál a σ hatáskeresztmetszet, az effektív céltárgyvastagság (a nagy bombázó energia miatt), továbbá az ϵ_1 és ϵ_2 hatékonyságok igen kedvezőek lehetnek. Ha az energia $> 400\text{--}800$ MeV/nukleon, az elektronok majdnem teljesen lefosztódnak az ionokról az anyagon való áthaladásuk során, mivel a sebességük hasonló vagy éppen nagyobb mint a keringő elektronoké (lásd később a 7. ábrát). Így csupasz (vagy majdnem csupasz) atommagok nyerhetők. A töltéseloszlás az energia függvénye, és jól leírható különböző fekező anyagokra és anyagvastagságokra.

Egy adott (egzotikus) izotóp maximális hozammal való előállítása szempontjából mérlegelni kell a bombázó részecske – céltárgy kombinációt, a céltárgy vastagságát és a bombázó részecske energiáját.



4. ábra. A $^{92}\text{U}(1 \text{ GeV}/A) + ^9\text{Be}$ reakció hozamai (Y) az adott elem tömegszámának (A) függvényében. A bombázó részecskék intenzitása $2 \times 10^{12}/\text{s}$, a Be-céltárgy vastagsága $4 \text{ g}/\text{cm}^2$ volt a fragmentációs, illetve $2 \text{ g}/\text{cm}^2$ a hasadási reakcióknál. Az adatokat röptében való szeparálási módszerrel nyerték. A stabil izotópok tartományát ki lett zárva. [4] alapján.

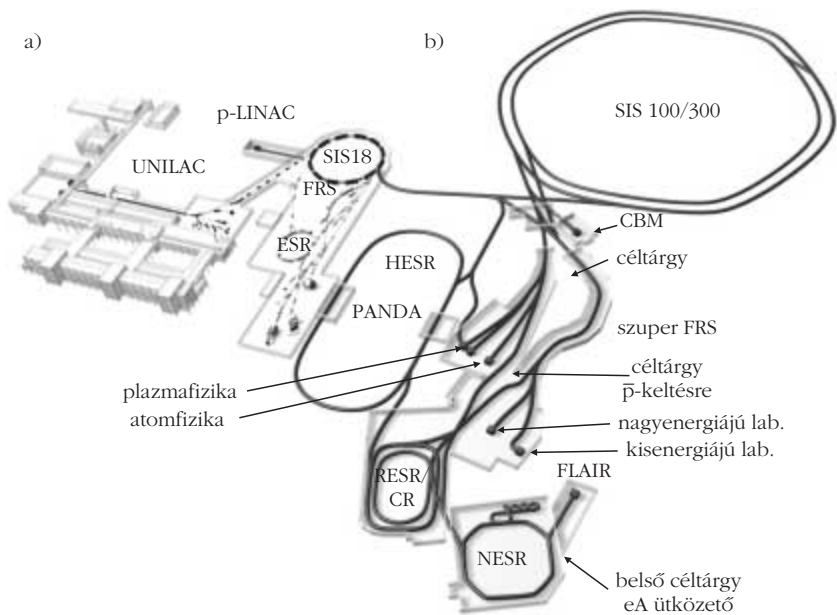
A GSI FAIR és más programok

A nukleonleszakadási határ közelében levő atommagokat több nagyszabású programban is vizsgálják. Különösen jelentős a darmstadti (Németország) GSI FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research) – német részről jóváhagyott – program, amelyben nagyarányú fejlesztés folyik.

Több fázisban 2015-ig a következő szinkrotronokat és tárológyűrűket – a megfelelő nyalábenergiákkal – kívánják üzembe helyezni (5. ábra):¹

- SIS 100 szinkrotron: 2,7 GeV/A U^{28+} -ra; 29 GeV protonokra
- SIS 300 szinkrotron: 34 GeV/A U^{92+} -ra
- CR gyűjtőgyűrű: 740 MeV/A, $A/q = 2,7$; 3 GeV antiprotonokra
- NESR új kísérleti tárológyűrű: 740 MeV/A U^{92+} -ra, $A/q = 2,7$; 3 GeV antiprotonokra
- HERS nagyenergiájú tárológyűrű: 0,8–14,5 GeV antiprotonokra
- Elsődleges nyalábok a következő területekre:
 - Radioaktív nyalábok: 0,4–1,5 GeV/A ionok minden elemre uránig

¹ Részletesebben lásd: *Nucl. Phys. News* vol. 16, No. 1 (2006)



5. ábra. a) A GSI működő nehézion-gyorsító komplexumának vázlatos képe. UNILAC: lineáris nehézion-gyorsító (2–14 MeV/A), SIS18: nehézion-szinkrotron (1–2 GeV/A), ESR: kísérleti tárológyűrű ($\leq 0,8$ GeV/A H-tól U-ig), FRS: fragmensszeparátor (lásd részletesebben a 6.a ábrán), p-LINAC: újonnan telepítendő nagyáramú proton lineáris gyorsító.

b) A tervezett FAIR gyorsítókomplexum. SIS 100 és SIS 300: szupravezető szinkrotronok, CR: gyűjtő gyűrű, RESR: tárológyűrű, NESR: új kísérleti tárológyűrű és átmetsző elektron ütköztető (eA), HESR: nagyenergiájú antiproton tárológyűrű, rajta a PANDA detektor, Super-FRS: szupravezető, röptében szeparáló berendezés radioaktív nyalábokra, FLAIR: alacsony energiájú antiproton és ion fizikai vizsgálatok. [5] alapján.

– Kvantumszindinamika antiprotonokkal: $\leq 14,5$ GeV

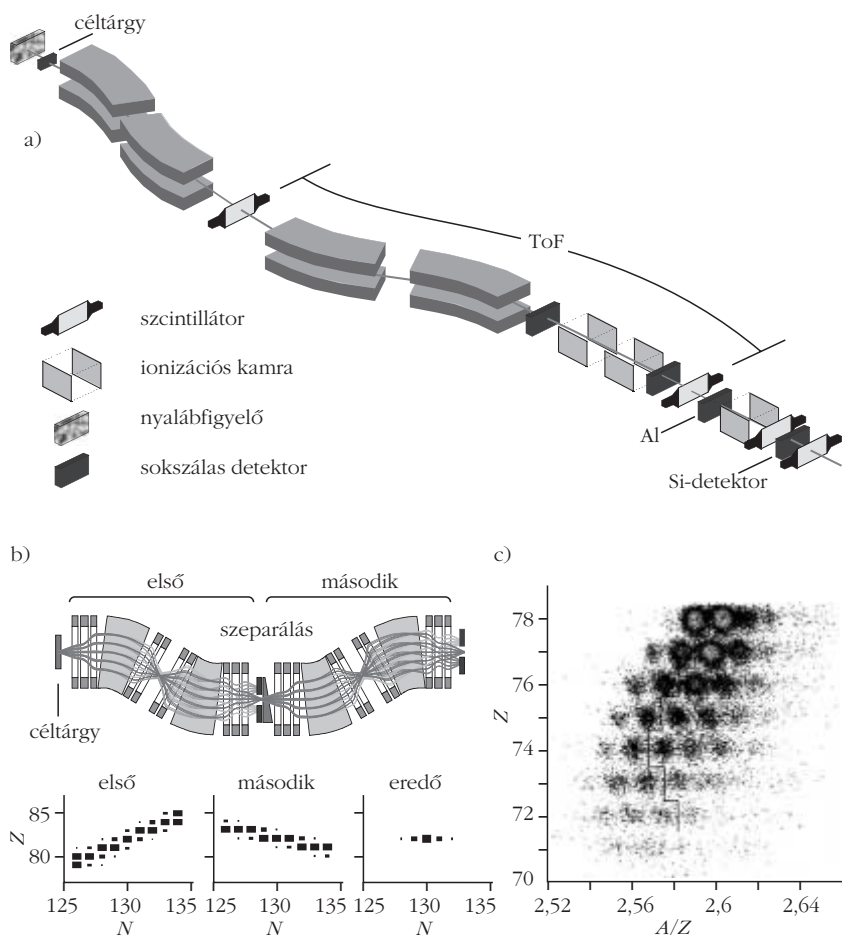
– A radioaktív ionok csúcsintenzitása: 5×10^{11} ion/pulzus U-ionokra, tárológyűrűs kísérletekre. Átlagintenzitás $3 \times 10^{11}/s$ rögzített céltárgyas kísérletekre. Tárológyűrűbe való bevitelnél a pulzus ~ 60 ns-os.

Az FRS jelű fragmensszeparátor (6.a ábra) lehetővé teszi a céltárgyból kirepülő reakciótermékek röptében való szeparálását. Mágneses eltérítő rendszerrel méri a részecske mágneses merevségét ($Br = mv/q$), továbbá repülési idejéből a sebességét, így meghatározható az m/q hányados. (Itt B a mágneses indukciót, r az eltérítési sugarat, m a részecske tömegét, q az ion töltését, v a sebességét jelenti.) 1 GeV/A energiájú bombázó ólomnyaláb esetén a fragmens

6. ábra. a) Fragmensszeparátor (FRS) a GSI-ben; a szeparált ionok implantálása Si-detektorokba. Az azonosításon kívül meghatározhatók a felezési idők is.

b) A fragmensszeparátor ionoptikája és a szeparálás elve. [6] alapján.

c) Beütések a fragmensszeparátor detektorrendszerén. A rendszám (Z) és tömegszám/rendszám (A/Z) arány összefüggése. Adott rendszámkapuban megjeleníthetők a különböző izotópokhoz tartozó jelek.



lényegében a héjelektronjaitól lefosztva lép ki a céltárgyból (lásd később a 7. ábrát). Méri a specifikus energiaveszteséget (dE/dx) is ionizációs kamrákkal (vagy Si-detektorokkal). A nehéz töltött részecskék specifikus energiavesztesége töltésük négyzetétől függ; így meghatározható a részecske rendszáma.

A mágneses spektrométer két részből áll, amelyek között egy megfelelően formázott Be-éket alkalmaznak. A két szelektáló rendszer együttesen egyértelmű, a fragmensek sebességétől független rendszám–tömegszám meghatározást tesz lehetővé. A rendszer térben is elkülöníti a reakciótermékeket (6.c ábra), így lehetővé válik bomlásuk vizsgálata is. Az ionoptikai és detektorrendszerben minden részecske nyomát végigkövetik.

A Si-detektorok előtti Al-fólia a fragmensek fékezésére szolgál, hogy a detektorba implantálódjanak. Az Al-fólia utáni ionizációs kamra a fóliában létrehozott másodlagos reakciótermékeket szűri ki.

A fragmenseket kétoldalas Si-sávdetektorrendszerbe implantálják és mérik az implantálás és a β -szecske megjelenése közötti időkorrrelációt. A Si-detektorrendszer előtt és után alkalmazott szcintillációs detektorokkal tiltó jelet adnak a zavaró háttérbeütésekre. A több generációs anya–leány bomlások végkövetése egyúttal az azonosításukat is elősegíti. A rendszerrel nagyszámú új, erősen neutrontöbbletes izotópot sikerült azonosítani. Meghatározták a β -bomlási felezési idejüket is.

A magszerkezeti, asztrofizikai és magreakció vizsgálatok céljaira a FAIR szupravezető fragmensszeparátor után három nyalábcsatornát hoznak létre, ezekre telepítik a nagy- és kisenergiájú laboratóriumokat és az RESR, illetve NESR tárológyűrűket (5.b ábra). A NUSTAR (Nuclear Structure, Astrophysics and Reactions) együttműködés berendezései rendkívül sokoldalú és precíziós vizsgálatokat tesznek lehetővé.

A 7. ábrán feltüntettük, hogy milyen energiák érhetőek el a radioaktív (másodlagos) ionnyalábokra egyes nagyobb programokban.

Néhány új eredmény

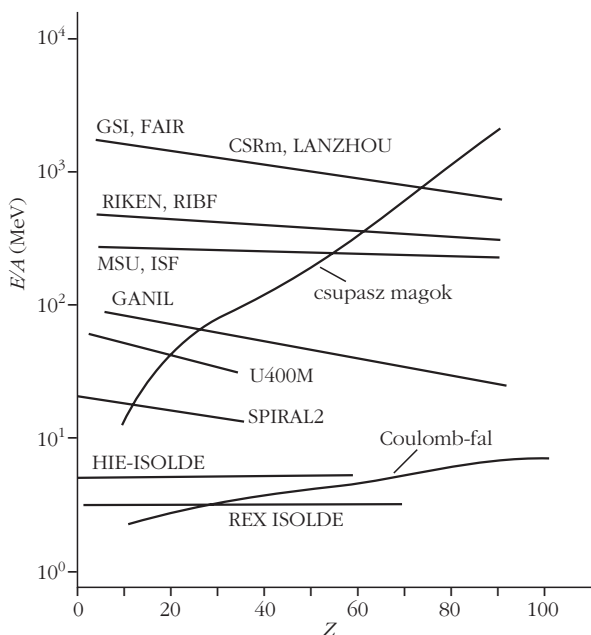
Az atommagok szerkezete

Az atommagok héjszerkezetének változása. A stabilitási sávtól távolosó atommagok vizsgálata lehetőséget ad igen hosszú izotópláncok vizsgálatára. A hosszú láncokban nyomon követhető a magszerkezet változása, a nívók eltolódása, a kollektivitás kialakulása.

A könnyű atommagok erősen neutrontöbbletes izotópjainál új héjlezárodásokat találtak $N = 6, 16$ és 32 neutronszámoknál. Míg például a stabilitási sávban fekvő $^{30}_{14}\text{Si}_{16}$ nívórendszerében az energiérés csak nagy gerjesztési energiánál jelentkezik, addig az erősen neutrontöbbletes $^{24}_8\text{O}_{16}$ -nál már alacsony energián megjelenik. Új héjlezárodásra utal $N = 32$ -nél az $^{52}_{20}\text{Ca}_{32}$ 2^+ nívójának kiugróan nagy volta. A 16-os nukleonszám kitüntetett volta a $^{36}_{16}\text{S}_{20}$ és $^{36}_{20}\text{Ca}_{16}$ tükörmagoknál egyaránt jelentkezik. Lásd részletesebben *Dombrádi* [7] és *Elekcs* [8] közleményeiben.

A stabilitási sávtól távolabb fellépő héjátrendeződének több oka is lehet. Például csökken a spinpálya kölcsönhatás erőssége, diffúz a nukleonsűrűség a lazán kötött nukleonoknál, a tenzorerők fontosságra tesznek szert. Az atommagok kollektív sajátságait egyrészt az egyrészcsekés energiák közti különbségek, másrészt a valencianukleonok közti, úgynevezett maradék kölcsönhatás erősségei szabják meg. A korszerű héjmodellszámítások a tenzorkölcsönhatást is figyelembe veszik a maradék kölcsönhatásnál, ez a héjlezárodásokra lényeges hatást gyakorolhat.

Különösen hosszú izotóplánc ismeretes az ólomnál, ahol a páros-páros neutronhiányos izotópok nívószisztematikája a gömbszerű, belapult és megnyúlt magalakokra jellemző nívórendszerek érdekes együttlétét mutatja. Kis változás a neutronszámában nagy változást okozhat a magalakban.

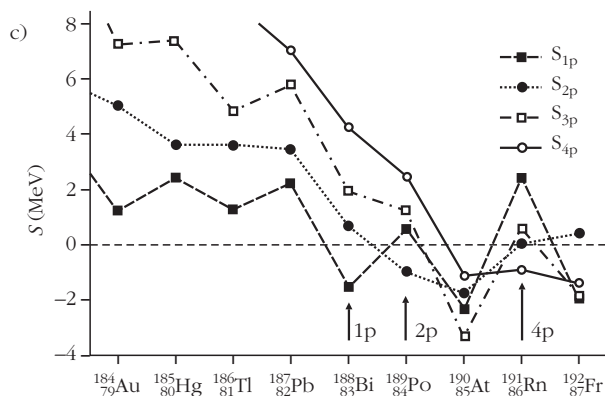
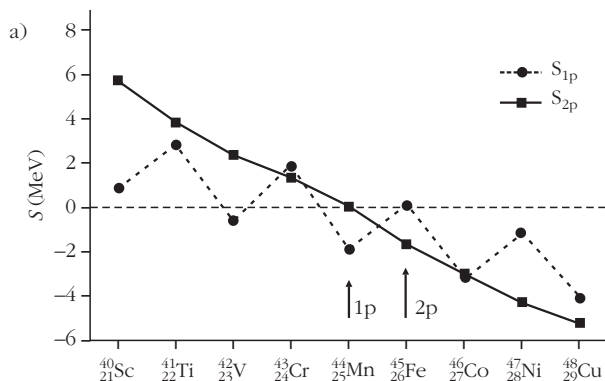


7. ábra. A radioaktív (másodlagos) nyalábok közelítőleges energia-tartománya (E/A) a rendszám (Z) függvényében néhány nagyobb létező és tervezett egzotikus nyaláb berendezésben. A Coulomb-fal magassága, valamint az az energia is fel van tüntetve, amelynél már 90%-ban csupasz atommagok lépnek ki a céltárgyból. [4] alapján, korszerűsítve.

A jelölések magyarázata: GSI, FAIR: Gesellschaft für Schwerionenforschung, Darmstadt, Németország. Lanzhou: Institute of Modern Physics, Lanzhou, Kína. CSR: Cooler Storage Ring. RIKEN, RIBF: RIKEN Radioactive Ion Beam Facility, Saitama, Tokyo mellett, Japán. MSU, ISF: Michigan State Univ., tervezett Isotope Science Facility, East Lansing, USA. GANIL: Grand Accélérateur National d'Ions Lourds, Caen, Franciaország. U400M: Egyesített Atommagkutató Intézet, Dubna, Oroszország. $K = 630$ nehézion ciklotron. SPIRAL2: épülő nagyáramú szupravezető lineáris gyorsító a GANIL-ban. HIE-ISOLDE: High Intensity and Energy, ISOLDE-program, CERN, Genf, Svájc. REX-ISOLDE: az ISOLDE tömegszeparátor után lineáris gyorsítóval tovább gyorsítja az ionokat.

$N = Z$ atommagok, pn -párok kialakulása. Az $N = Z$ atommagok nagyon erősen kötöttek. Az utolsó proton és utolsó neutron közötti kölcsönhatási energia kísérleti értéke $N = Z$ -nél kiugróan nagy (néhány MeV-es) adott elem különböző izotópjaira. Ez az izospin $T = 0$ pn -kölcsönhatás fontosságára utal. Amint a rendszám növekszik, a Coulomb-taszítás a protonok között nő. Fontos lenne tudni, hogy a $T = 0$ kölcsönhatás erőssége hogyan változik az $N = Z$ vonal mentén, amint közeledünk a legnehezebb ismert kötött $N = Z$ maghoz, a $^{100}\text{Sn}_{50}$ -hez.

A jelenlegi gyorsítókkal előállíthatók erősen neutronhiányos atommagok a protonleszakadási határon, sőt még azon túl is. A $Z = N$ és szomszédos atommagok vizsgálata $A = 100$ -ig információt ad az izospin szerepéről, a tükörmagokról, a szupermegengedett β -bomlásról, proton-neutron párkorrelációkról, egzotikus magalakokról (szuper-, hiper-, oktupól-deformált állapotokról, háromtengelyű deformációról stb.). Tanulmányozható, hogy az izoskalár ($T = 0$) párkölcsönhatás hogyan járul hozzá kollektív állapotok kialakulásához. Radioaktív nyalábok felhasználása e területen is hozhat lényegesen újat, például a hozamok növelésével, magreakciók vizsgálatával inverz



8. ábra. a) Egyproton- (S_p) és kétproton- (S_{2p}) szeparációs energiák az $N = 19$ izotón atommagokra. [2] alapján.

b) A ^{45}Fe kétproton-bomlása; optikai időprojekciós kamra felvétel. A ^{45}Fe balról lép be a gázkamrába, ott lelassul, majd ellentétes irányokban két protont bocsát ki. [12] alapján.

c) Egy-, két-, három- és négyproton szeparációs energiák $N = 105$ izotónokra. [2] alapján.

kinematikában (mozgó egzotikus atommag, nyugvó könnyű mag, pl. proton).

Nukleonglóriás atommagok, neutronbőr. Távol a stabilitási sávától a legkülső nukleon(ok) kötésienergiája kicsi, ami a nukleon (nukleonpár) térbeli kiterjedésének jelentős növekedésével járhat. Az extrém nagy kiterjedésű, kis sűrűségű nukleoneloszlást nukleonudvarnak (halo, glória) nevezzük. A mag többi nukleonja továbbra is egy szokásos, nagy sűrűségű tözset alkot.

Ma már a nukleonhalók léte jól megalapozott. A $Z = 2-10$ rendszám tartományban számos neutronglóriás (pl. ^6He , ^{11}Li , ^{19}C), illetve protonglóriás (pl. ^8B) atommag ismeretes. Ezek mérete összemérhető a jóval nehezebb ^{48}Ca méretével.

A halomagok külső részén a sűrűség nagyságrendekkel kisebb lehet, mint a jellemző maganyagsűrűség. Ez egy új típusú maganyagot jelent, ami a normál atommag és szabad nukleonok között van. Ebben a nukleonok közötti kölcsönhatások a megszokottól különbözőek lehetnek, például a folytonos, kötetlen állapotok közelsége miatt. A halomagok szerkezetéről és reakcióiról részletes összefoglaló található a [9] alapvető munkában.

Mind az elméleti számítások, mind a kísérleti tények arra mutatnak, hogy az erősen neutrontöbbletes atommagokban neutronbőr épül ki a magtörzs felett. A neutronbőrben az anyag alacsony sűrűségű. Itt – önkonzisztens számítások alapján – erősebb neutron-neutron páreffektus várható, ugyanakkor számos jel mutatja, hogy a spin-pálya kölcsönhatás erőssége csökken. Mindez a nívók átrendeződéséhez, a nagyobb héjakba való csoportosulásukhoz vezethet. Egyes szerzők szerint a gyengén kötött neutrongazdag anyagban a közéletér jelentősége kicsi, ami még azt is megkérdőjelezheti, hogy a nukleonok egyrészeskepályán mozognak. A bőrök fellépte szükségszerűen felveti a diszkrét (kötött) és folytonos (szóródási) állapotok közti kapcsolatot, így a mag szerkezeti és reakcióvizsgálatok egybeolvasását. A neutronbőrrel kapcsolatban lásd például *Krasznahorkay* [10] munkáját.

Egzotikus bomlásmódok

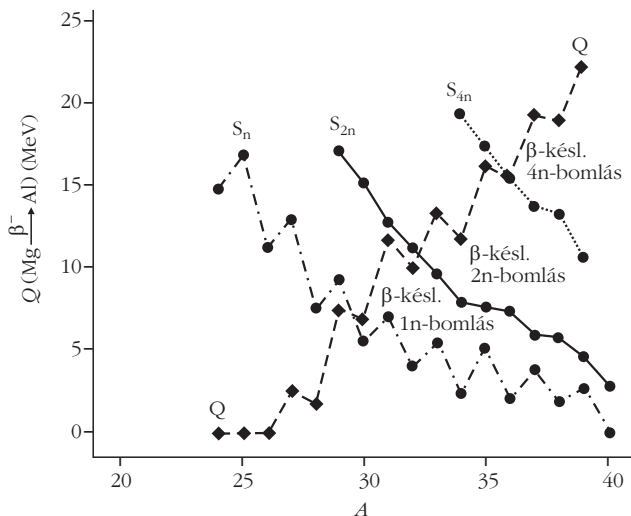
A stabilitási sáv közelében a β -bomlás, illetve a nehéz atommagoknál az α -bomlás az uralkodó bomlásmód. Távolodván a stabilitási sávától új bomlásmódok is megjelennek.

Protonban gazdag oldalon β -késleltetett p-, illetve α -bomlás lép fel, amikor a részecskekibocsátás a β -bomlás után előállt leánymag gerjesztett állapotából történik. Ezek közül a β -késleltetett protonbomlás a gyakoribb, már több mint 120 eset ismeretes. β -késleltetett kétproton-bomlást is megfigyeltek több mint 8 esetben.

Protonbomlás alapállapotból, vagy hosszabb élettartamú izomer állapotokból is lehetséges. *Delion* és munkatársai [11] összefoglaló munkájában 41 ilyen bomlásról tesznek említést a $Z > 50$ tartományban, de a $Z < 50$ atommagok között is vannak p-kibocsátók (pl. ^{53}Co , ^{69}Br).

Mind a β -késleltetett, mind az alap- vagy izomerállapotból történő protonbomlás igen értékes mag szerkezeti információt szolgáltat a protonleszakadási határ közelében lévő atommagokra. Például spektroszkópiai faktorokat (amelyek a kezdeti és a végállapot konfigurációitól függenek) közvetlenül le lehet vezetni a p-bomlási vizsgálatokból. A protonbomlásnál nem kell számolni részecskekialakulási valószínűséget (az α -bomlásnál kell).

Két proton kibocsátása is várható páros Z -jú atommagokból, főleg ha egy proton kibocsátása energetikailag tiltott. A szeparációs energiák ismeretében ilyen eset állhat elő például a ^{45}Fe -nál (8.a ábra). Két proton kibocsátását valóban észlelték, sőt optikai időprojek-



9. ábra. A $^{12}\text{Mg} \xrightarrow{\beta^-} ^{13}\text{Al}$ bomlás Q értékei a tömegszám (A) függvényében. Az ábrán fel vannak tüntetve az Al-izotópok S_n , S_{2n} , S_{4n} szeparációs energiái is. Széles tömegszámtartományokban várható β -késleltetett n , $2n$, $4n$ kibocsátás. [13] alapján.

ciós kamrában mind a ^{45}Fe , mind a kilépő két proton nyomát sikerült regisztrálni (8.b ábra). A kísérlet egyúttal azt is mutatja, hogy 3-test bomlás történt, az analízis a kötött diproton-emissziót kizárja. Két proton kibocsátását találták ^{48}Ni és ^{54}Zn esetében is. A protonleszakadási határon kívül lévő könnyű atommagoknál is észlelték két proton kibocsátását, nevezetesen a ^6Be és ^{12}O gerjesztett állapotjaiból. Mindkét esetben a bomlás 3-test felhasadással történt $\sim 10^{-21}$ s felezési idővel. A nem kötött állapotú atommag tömegét és gerjesztési energiáját a bomlástermékek energiájából és kirepülési szögeiből lehet meghatározni.

β -késleltetett deuteronemissziót is megfigyeltek. Például a $^6_2\text{He}_4 \xrightarrow{\beta^-} ^6_3\text{Li}_3$ bomlás során a ^6Li gerjesztett állapotából kis valószínűséggel kilép deuteron.

A neutrongazdag oldalon egy neutron kibocsátásának csak nagy impulzusnyomaték-változás esetén lehet lényeges felezési ideje. A leszakadási határ közelében, nehéz magoknál várható elég nagy impulzusnyomaték, ezek viszont még nem érhetők el kísérletileg.

A β -késleltetett neutronkibocsátás ugyanakkor gyakori jelenség. A γ -sugár és neutron repülési idő spektroszkópia kombinációjából részletes információ nyerhető a β -bomlás leánymagjának nívószerkezetére. A vizsgálatok fontosak a nukleáris asztrofizika r-folyamatának megértéséhez is.

A 9. ábra a $^{12}\text{Mg} \xrightarrow{\beta^-} ^{13}\text{Al}$ bomlás Q bomlásenergia értékét mutatja az A tömegszám függvényében, valamint az Al-izotópok S_n , S_{2n} , S_{4n} szeparációs energiáit. Látható, hogy széles tömegszámtartományokban várható β -késleltetett n , $2n$, sőt $4n$ kibocsátása.

Két proton kibocsátásához hasonlóan várható két neutron emissziója is erősen neutrontöbbletes magokból (pl. ^{26}O -ból). Ezek vizsgálata hasznos információt szolgáltatna a nn-párkölsönhatásra, a két valencia-neutron hullámfüggvényeire stb. Ilyen bomlást egyelőre nem észlelték, de az új generációs gyorsítókkal remény van előállításukra.

Asztrofizikai vonatkozások

A nukleonleszakadási határ közelében lévő atommagok sajátosságainak ismerete fontos az asztrofizikai gyors protonbefogási (rp-folyamat) és a gyors neutronbefogási (r-folyamat) megértése szempontjából (lásd részletesebben [14]-ben).

Az rp-folyamat alapvető szerepet játszik a csillagrobbanásban (pl. a röntgensugár-felvillanásokban) és a protonleszakadási vonalat nagyon szorosan követi. A folyamatban főleg a sugárzásos p-befogás (p,γ) és a β -bomlás játszik szerepet.

Az r-folyamat gyors neutronbefogást jelent, ami addig tart, amíg az (n,γ) folyamat olyan erősen neutrontöbbletes maghoz vezet, ahol az (n,γ) és (γ,n) folyamatok egyensúlyba kerülnek (1. ábra). Ez a folyamat felelős (a lassú neutronbefogás mellett) a vason túli elemek szintéziséért.

Az új programok (GSI FAIR, RIKEN-RIBF stb.) lehetővé teszik mind az rp-, mind az r-folyamatban résztvevő atommagok részletes tanulmányozását.



A szupernehéz elemeket egy következő közleményben fogjuk tárgyalni.

Összefoglalás

A korszerű (meglévő, ill. épülő) gyorsító, szeparáló és mérőberendezések lehetővé teszik a protonleszakadási határon (sőt még azon túl) lévő atommagok előállítását és részletes vizsgálatát.

A nukleonleszakadási határ elérése eddig csak körülbelül $Z = 20$ -ig (kalcium) sikerült, de az új programok segítségével igen nagyszámú új neutrontöbbletes izotóp felfedezése és precíziós vizsgálata várható.

A nukleonleszakadási határok közelében lévő atommagok vizsgálatából a mag szerkezet, bomlás, reakciók és magerők számos eddig rejtett sajátosságára derült fény és további felismerések várhatók.

A kutatások fontosak a nukleáris asztrofizika szempontjából is.

Irodalom

1. R. Subedi és mts., *Science* 320 (2008) 1476.
2. M. Thoennessen, *Rep. Progr. Phys.* 64 (2004) 107.
3. J. Magill, I.G. Pfenning, I.J. Galy, *Karlsruher Nuklidkarte 2006*. Karlsruhe, 2006.
4. R. Bennett és mts., *The NuPECC working group on radiative nuclear beam facilities*. ESF, Strasbourg, 2000.
5. H.H. Gutbrod (szerk.): *FAIR baseline technical report GSI*. Darmstadt, 2006.
6. W. Henning, *Nucl. Phys. News* 1/1 (1990) 13.
7. Dombrádi Zs., *Fiz. Szemle* 57/7 (2007) 221.
8. Elekes Z., *Fiz. Szemle* 58/3 (2008) 98.
9. V. Suzuki, R.G. Lovas, K. Yabana, K. Varga: *Structure and reactions of light exotic nuclei*. Taylor and Francis, London, 2003.
10. A. Krasznahorkay, *Acta Phys. Polon.* B36/4 (2005) 1095.
11. D.S. Delion, R.J. Liotta, R. Wyss, *Phys. Rep.* 424 (2006) 113.
12. K. Miernik és mts., *Phys. Rev. Lett.* 99 (2007) 192501.
13. C.K. Gelbke (szerk.), *Michigan State Univ. MSUSCL-1345 report*, 2006.
14. Fényes T. (szerk.): *Atommagfizika*. Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, 2005.

Ebben a cikkben röviden vázoljuk a neutrínók közelmúltban kimutatott oszcillációinak hatását a neutrínók fizikájának fejlődésére, különösképpen kiemelve tömegük megmérésének fontosságát. A fizikusok különféle detektorokat fejlesztettek ki, amelyeket használna számos kísérletet terveznek e tömegek megmérésére, de legalábbis értékük felső korlátjának megadására. Alapvetően kétféle stratégiával – a β -bomlásban keletkező elektronok energiaspektrumának felső tartományát vizsgálva, illetve a neutrínómentes kettős β -bomlást ($K\beta\beta$) kimutatva – számíthatunk eredményre. A jelenleg futó bolometrikus CUORCINO- és NEMO-kísérletek szolgáltatják a messze legjobb korlátot a neutrínók Majorana-tömegére, de – egyelőre – ezek is csak az oszcillációs kísérletekben jelzett tartományt nagyságrendekkel meghaladó értékekre érzékenyek. Számos második generációs $K\beta\beta$ -kísérlet terve közül a CUORE-kísérlet terveit hagyták eddig jóvá. Az a cél, hogy az úgynevezett *inverz tömeghierarchia*¹ esetére jóslott tömegtartományt ez a kísérlet elérje.

Történelmi bevezetés

A neutrínó létezését *Wolfgang Pauli* tétélezte fel híres „Liebe Radioaktive Damen und Herren” kezdetű, a tübingeni radioaktivitási konferencia résztvevőihez írott, 1930. december 4-i keltezésű levelében (*1. ábra*). Ebben a levélben a ²¹⁰Bi β -bomlásában megfigyelt energiahiányt (lásd később) és az ehhez kapcsolódó „rossz statisztikát” egy még meg nem figyelt semleges részecske kibocsátásával magyarázta, amelyet *neutronnak* hívott (az „igazi” neutront még nem fedezték fel!). Pauli egy Olaszországban később tartott előadásával nagyon erősen hatott *Enrico Fermi*-re, aki az olasz hangzású „neutrino”-ra változtatta a nevet és beépítette csodálatos gyenge kölcsönhatási elméletébe. A kezdet kezdetén Fermi feltételezte, hogy a neutrínónak van egy egészen kis értékű tömege, amelyről azt írta, hogy „még az elektronénál is ki-

A 2008. évi Marx György Emlékelőadó az Olasz Fizikai Társaság szíves engedélyével bocsátotta a *Fizikai Szemle* rendelkezésére budapesti előadásával jórészt egyező, a varennai nyári iskolán 2008 júniusában tartott előadásának szövegét (fordította: *Patkós András, ELTE*).

¹ A Napból származó neutrínók oszcillációját jellemző távolság egy kisebb, a légkörben keletkező neutrínók oszcillációját jellemző távolság egy nagyobb tömegnégyzet-különbség jelenlétére utal a három ismert neutrínófajta között. A cikkben többszöri utalás történik a tömegspektrum két elképzelhető hierarchiájára, amelyek ezekkel az észrevételekkel összhangba hozhatók. Normális hierarchiának nevezik, amikor a két kisebb tömegű neutrínó tömegnégyzetének felhasadása kisebb, mint a legnagyobb tömegű e kettőtől elválasztó tömegnégyzet-különbség. Az inverz hierarchia esetében a legkönnyebb neutrínó tömegértéke „magányos”, a nagyobb tömegek között pedig kisebb a felhasadás. (A fordító megjegyzése.)

sebb”. A későbbi munkák majd mindegyikében tömegnélküli részecskeként tárgyalták. Nagy előrelépést hozott a napneutrínók, az atmoszférikus neutrínók, valamint a reaktorokból és gyorsítókból származó neutrínók oszcillációjának felfedezése. Mindezekből a kísérletekből arra következtetnek a kutatók, hogy legalább két neutrínófajta tömege véges és egymástól is különböző. Ezzel a neutrínótömeg megmérése kötelező feladattá vált, amely újfajta detektorok tervezését igényli. Közülük alább a *kriogenikus* típust fogom röviden ismertetni.

1. ábra. Wolfgang Pauli levele a tübingeni radioaktivitási konferencia résztvevőihez.

„Tisztelt Radioaktív Hölgyeim és Uraim!

... Én azonban egy kétségbeesett föltevessel állok elő, hogy megmentsem az energia megmaradását. Föltételezem, hogy a bomláskor az elektron mellett egy könnyű semleges részecske is keletkezik, az elektronnal osztozva az atommag által leadott energián. Ezt a semleges részecskét neutronnak neveztem el. A neutronnak azonban olyan nagy áthatolóképeségűnek kell lennie, hogy szinte kimutathatatlan. ... Ezért gondolatomat nem merem publikálni, elképzelésemet csak levélben terjesztem Önök elé, alázatos szolgáljuk,

Wolfgang Pauli.”

Offener Brief an die Gruppe der Radioaktiven bei der
 Gauervereins-Tagung zu Tübingen.

Abchrift

Physikalisches Institut
 der Eidg. Technischen Hochschule
 Zürich

Zürich, 4. Dez. 1930
 Gloriastrasse

Liebe Radioaktive Damen und Herren,

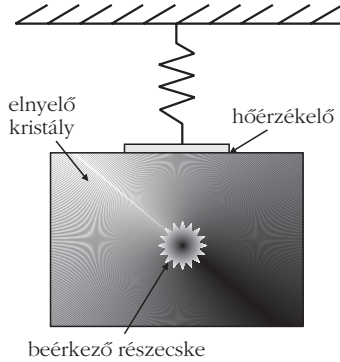
Wie der Ueberbringer dieser Zeilen, den ich baldmöglichst ansprechen bitte, Ihnen des näheren auseinandersetzen wird, bin ich angeichts der "falschen" Statistik der N- und Li-6 Kerne, sowie des kontinuierlichen beta-Spektrums auf einen verweifelten Ausweg verfallen um den "Wechselst" (1) der Statistik und den Energiezustand zu retten. Nämlich die Möglichkeit, es könnten elektrisch neutrale Teilchen, die ich Neutronen nennen will, in den Kernen existieren, welche den Spin 1/2 haben und das Ausschliessungsprinzip befolgen und sich von Lichtquanten ausserdem noch dadurch unterscheiden, dass sie nicht mit Lichtgeschwindigkeit laufen. Die Masse der Neutronen müsste von derselben Grössenordnung wie die Elektronenmasse sein und jedenfalls nicht grösser als 0,01 Protonenmasse. Das kontinuierliche beta-Spektrum wäre dann verständlich unter der Annahme, dass beim beta-Zerfall mit dem Elektron jeweils noch ein Neutron emittiert wird, derart, dass die Summe der Energien von Neutron und Elektron konstant ist.

Man handelt es sich weiter darum, welche Kräfte auf die Neutronen wirken. Das wahrscheinlichste Modell für das Neutron scheint mir aus wellenmechanischen Gründen (näheres weiss der Ueberbringer dieser Zeilen) dieses zu sein, dass das ruhende Neutron ein magnetischer Dipol von einem gewissen Moment μ ist. Die Experimente verlangen wohl, dass die ionisierende Wirkung eines solchen Neutrons nicht grösser sein kann, als die eines gamma-Strahls und darf dann μ wohl nicht grösser sein als $e \cdot (10^{-13} \text{ cm})$.

Ich traue mich vorläufig aber nicht, etwas über diese Idee zu publizieren und wende mich erst vertrauensvoll an Euch, liebe Radioaktive, mit der Frage, wie es um den experimentellen Nachweis eines solchen Neutrons stände, wenn dieses ein ebensolches oder etwa 10mal grösseres Durchdringungsvermögen besitzte, wie ein gamma-Strahl.

Ich gebe zu, dass mein Ausweg vielleicht von vornherein wenig wahrscheinlich erscheinen wird, weil man die Neutronen, wenn sie existieren, wohl schon längst gesehen hätte. Aber nur wer wagt, gewinnt und der Ernst der Situation beim kontinuierlichen beta-Spektrum wird durch einen Ausspruch meines verehrten Vorgängers im Amt, Herrn Debye, beleuchtet, der mir kürzlich in Brüssel gesagt hat: "O, daran soll man am besten gar nicht denken, sowie an die neuen Steuern." Darum soll man jeden Weg zur Rettung ernstlich diskutieren. Also, liebe Radioaktive, prüfet, und richtet. Leider kann ich nicht persönlich in Tübingen erscheinen, da ich infolge eines in der Nacht vom 6. zum 7. Dez. in Zürich stattfindenden Balles hier unabsichtlich bin. Mit vielen Grüssen an Euch, sowie an Herrn Baek, Euer untertänigster Diener

ges. W. Pauli



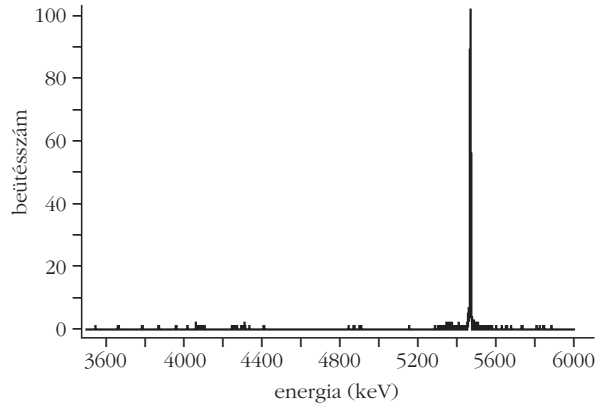
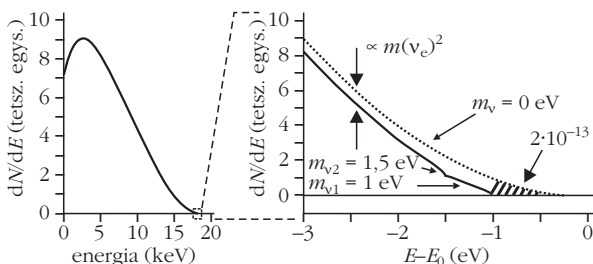
2. ábra. A kriogenikus detektorok elvének két ábrázolása

A kriogenikus detektorok

E detektorok eredete 1880-ra nyúlik vissza, amikor *Langley* a Nap infravörös sugárzásának észlelésére rezisztív bolométereket szerkesztett. *Curie* és *Laborde* pedig 1905-ben végzett először kalorimetrikus méréseket a radioaktív bomlásokra. *Ellis* és *Wooster* végeztek el a neutrínók felfedezéséhez vezető mérést, amikor kimutatták a ^{210}Bi bomlásában az energiahiányt, kiváltva ezzel Pauli fentebb említett levélét. *Simon* 1935-ben jött rá, hogy a hőmérséklet csökkentésével nagyban fokozható a bolometrikus detektorok érzékenysége. Jóval később, 1983-ban *T. Niinikosky* a CERN-ben kozmikus sugárzások által alacsony hőmérsékletű ellenállásokban keltett áramlökéseket mért.

A kriogenikus detektorok felhasználását az alapvető kölcsönhatások tanulmányozására két csoport is javasolta 1984-ben, egymástól függetlenül, az Atlanti-óceán két partján. Az Egyesült Államokban *S.H. Moseley* és munkatársai elsősorban asztrofizikai célú felhasználásukat szorgalmazták, míg Európában *T. Niinikosky* és jómagam a ritka részecskefizikai események, különösképpen a KBB észlelésére láttuk alkalmasnak. Mindkét csoport más alkalmazások iránt is érdeklődött, amelyek közé tartozott a neutrínó tömegének közvetlen mérése. Egy „művészi” és egy, a mérési elvet jobban megvilágító vázlat látható a 2. ábrán. A detektálási elv nagyon egyszerű. A hőelnyelő dielektrikus vagy diamágneses anyagot lehűtik. Fajhője az aktuális hőmérséklet és a Debye-hőmérséklet hányadosának köbével arányos, és így szinte tetszőlegesen kicsinnyé tehető. Ennek követ-

4. ábra. A β -spektrum deformációja a neutrínó nem-zérus tömege következtében (az eloszlást a bal oldali ábra maximális elektron-energiájának közvetlen környezetében kinagyítva mutatja a jobb oldali ábra).



3. ábra. Egy 750 gramm tömegű TeO_2 bolométer felbontóképessége a ^{210}Po α -vonalán

keztében egyetlen részecske elnyeléséből származó hő is jelentősen megemelheti hőmérsékletét. Ezt alkalmas „hőmérővel” észlelik. Ennek a detektornak a keV energiatarományban tanúsított, és már 1 milligramm tömeg esetén is kiváló teljesítőképességét mutatja be a 3. ábra. A jelenlegi felbontóképesség 2 eV körül van, ami több, mint egy nagyságrenddel jobb minden más detektorénál. Az ábrán ezt illusztrálja a ^{210}Po éles alfa-vonalának 3,2 keV felbontású képe.

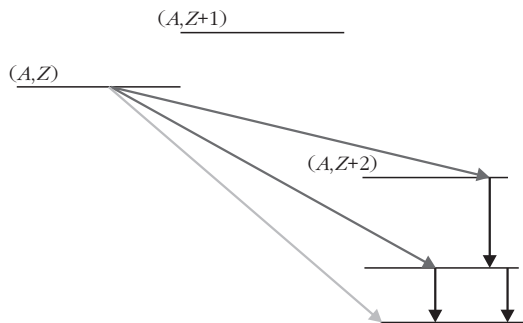
A neutrínó tömegének mérése egyetlen β -bomlással

A neutrínóoszillációk felfedezése erős lökést adott a neutrínó tömegére vonatkozó megszorításoknak a β -bomlás spektrum deformációiból való származtatására (4. ábra).

A legerősebb korlát a $^3\text{H} \rightarrow ^3\text{He}$ β -átmenetből volt nyerhető. A Karlsruheban megvalósítandó nemzetközi KATRIN (Karlsruhe TRitium Neutrino) kísérlet egy nagyságrenddel szeretné csökkenteni a korlátot. Az óriási méretek és tömeg miatt, e gigantikus berendezés nagyobb egységeit hosszú vízi úton szállították a közeli gyártási helyről Karlsruheba (5. ábra és folyóiratunk címképe).

5. ábra. A KATRIN berendezés konténerének komplikált útja Stuttgartból Karlsruheba





6. ábra. A kettős β -bomlás (KBB) sémája

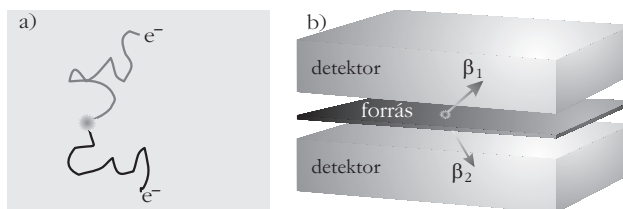
Ezt kiegészítő megközelítésre ad módot a kriogenikus detektorok használata, amelynek során egy mikroabszorberben a β -bomlás során keletkezett hő bolometrikusan méri meg. A neutrínótömeg meghatározásában a kriogenikus detektorok érzékenysége még messze elmarad a spektrométerekétől, de megjegyzendő, hogy bolometrikus eljárással a bomlásban keletkező teljes energia észlelhető, nemcsak az elektroné. Alkalmas a gerjesztett állapotból történő legerjesztés során kibocsátott energia mérésére is. A már elhunyt kiváló fizikus, a genovai *Antonio Vitale* javasolta, hogy az ismert legkisebb energiájú β -átmenetre, a $^{187}\text{Re} \rightarrow ^{187}\text{Os}$ esetében (amelynek energiája $\sim 2,5$ keV), kellene alkalmazni a bolometrikus technikát. Erre az átmenetre vonatkozó bolometrikus vizsgálatokat végeztünk Genovában, továbbá Milánóban is, amelyekben Re, illetve AgReO_4 szolgált abszorbensként. A két kísérlet a nemzetközi MARE-kísérletben olvad össze.

A kettős β -bomlás

Ezt az igen ritka folyamatot részletesen elemzik a fizikai irodalomban. A legegyszerűbb esetben az $(A, Z) \rightarrow (A, Z+2)$ izotópátmenetet jelenti, amelyet két elektron kibocsátása kísér (6. ábra). Azt a két-neutrínós folyamatot, amelyben a leptonszám megmarad, eddig 10 mag esetében mutatták ki. E folyamat során két antineutrínó is keletkezik. Amennyiben a folyamat további részecskék kibocsátása nélkül, illetve egy vagy két *majoronnak* nevezett spintelen bozon kisugárzásával megy végbe, a leptonszám megmaradása sérül. Előbbi esetben az átmenet energiájának megfelelő csúcs lép fel a két elektron együttes energiájának eloszlásában.

Ennek a bomlási módusnak eléggé alkalmatlanul a „neutrínó nélküli kettős béta-bomlás” nevet adták. Megfigyelésének az lenne a következménye, hogy a neutrínót önmaga antirészecskéjével kellene azonosítani, és lehetővé válna e folyamat alapján a neutrínó abszolút $\langle m_\nu \rangle$ tömegének meghatározása. Az oszcillációs megfigyelések alapján a jóslott tömegérték néhány százszor tíz meV vagy esetleg néhány meV. Az előbbi az inverz tömeghierarchia, az utóbbi a normális tömeghierarchia esetét jellemzi.²

² Lásd a fordító megjegyzését az 1. lábjegyzetben.



7. ábra. A neutrínó nélküli kettős β -bomlás detektálásának két útja: a) a forrás = detektor és b) a forrás \neq detektor.

A KBB közvetlen megfigyelésére két kísérleti megközelítés követhető: a *forrás = detektor* és a *forrás \neq detektor* lehetősége, amint azt a 7. ábra illusztrálja. Eddig egyetlen kísérlet sem utalt a neutrínó nélküli KBB-re, kivéve a Heidelberg–Moszkva együttműködés egyik részcsoportját, amelyet *Klapdor-Kleingrothaus* vezet. Az ő eredményeik szerint $\langle m_\nu \rangle$ értéke 0,5 eV körül lenne.

A neutrínó nélküli KBB gyakoriságát egy könnyen számolható $G_{0\nu}$ fázisjellegű mennyiségnek, az $M_{0\nu}$ nukleáris mátrixelem négyzetének és az $\langle m_\nu \rangle$ effektív neutrínótömeg négyzetének szorzata adja meg. Az $M_{0\nu}$ mátrixelem számítása nagyon nehéz és sokat vitatott feladat. Ennek bonyolultsága miatt általános egyetértés van arról, hogy a neutrínómentes KBB-t a legkülönbözőbb magokban kell keresni. Kifejezetten kísérleti fizikai szempontból további érv is szól e mellett a stratégia mellett: a környezeti radioaktivitásban mérhető összes spektrum számos csúcsot mutat, és ezek azonosítása gyakran igen nehéz. Nem zárható ki tehát, hogy a neutrínómentes KBB jeleként számba vett valamely csúcs valójában még fel nem tárt környezeti hatások miatt jelenik meg. Csak két vagy több mag egyidejű vizsgálata, ahol a neutrínómentes bomlással társítandó csúcs különböző energiákon jelenik meg, bizonyíthatja meggyőzően e fontos folyamat létezését.

A neutrínómentes KBB észlelésére a legérzékenyebb működő detektor ma a CUORICINO (8. ábra), amely egyben ma a legnagyobb működő kriogenikus detektorrendszer. Egyetlen, 41 kg tömegű abszorbensoszlopból áll, amely TeO_2 -ből készült. A ^{130}Te magban kutatja neutrínómentes KBB-bomlás fellépését. Ez az izotóp a teljes keverék 34%-át adja, az átmenet energiája ~ 2530 keV. A CUORICINO-detektorban egy lineáris „mag” helyezkedik el, amelyet 18 darab $3 \times 3 \times 6$ cm³ méretű egykristály alkot. Közülük kettő ^{128}Te -ban, kettő pedig ^{130}Te -ban dúsított. Ezt 44 darab kocka alakú, természetes izotóp-összetételű kristály veszi körül, amelyek oldaléle 5 cm. Mindaddig nem találtunk olyan eseményt, amely a ^{130}Te esetében neutrínómentes KBB-re utalna. Ebből a tapasztalatból 90%-os konfidenciaszinten ennek az átmenetnek az élettartamára $3,1 \times 10^{24}$ év adódik. Ez pedig *Rodin* és munkatársai újabb számításai alapján 0,16–0,84 eV tartományba eső neutrínótömeget enged meg. A Klapdor-Klingrothaus csoportja által talált pozitív esemény értelmezése a 0,1–0,9 eV tartományt emeli ki. Jelenlegi következtetésünk tehát az, hogy bár CUORICINO nem erősíti meg az ő következtetésüket, de nem is zárja azt ki.



8. ábra. CUORICINO, a legnagyobb működő kriogenikus detektorrendszer és részei

A két futó és a számos javasolt további új generációs neutrínómentes $K\beta\beta$ -kísérletet részletesen ismertette a 2008. évi Varenna-iskolán *Andrea Giuliani*. Az egyetlen jóváhagyott második generációs kísérlet a CUORE. Konstrukciójának a CUORICINO-hoz hason-

lón szintén a kriogenikus megközelítés az alapja. A mérés bolometrikus komponensére számos anyagot javasoltak. Az ^{150}Nd vegyületei kivételével mindet sikeresen ki is próbálták.

Következtetések

Az egyetlen béta-bomlás spektrumának nagyon pontos mérése kiváló modellfüggetlen eljárás a neutrínó tömegének határok közé szorítására. Ez akkor is így van, ha figyelembe vesszük, hogy a mérések érzékenysége még nem érte el a neutrínóoszillációs kísérletek által jelzett szintet. A neutrínómentes $K\beta\beta$ -kísérletekből történő neutrínótömeg-meghatározás érzékenysége jóval nagyobb, még akkor is, ha ezek a kísérletek nem adnak közvetlen információt. Viszont közvetlen választ adnak arra a kérdésre, hogy a neutrínó Dirac- vagy Majorana-jellegű fermion-e? Az izgató kérdés megválaszolására fordított erőfeszítéseket kiválóan példázza számos csodaszép kísérlet, amelyek új, időnként egyenesen forradalmi technikát alkalmaznak.

A fiatal szakemberek kedvéért szeretném hangsúlyozni, hogy a neutrínótömeg meghatározását célzó nem-gyorsítós kísérletek multidiszciplinárisak. Egyszerű felsorolással jelzem, hogy a magfizika, a részecskefizika és az asztro-részecskefizika mellett a szilárdtestfizika és anyagtudomány, a környezeti radioaktivitás, a geológia és a geo-kronológia egyaránt fontos szerepet kap az eredmények értelmezésében. Azt remélem, hogy vizsgálódásaink nemcsak a neutrínók fizikájában, de más területeken is képzeletünket meghaladó eredményre vezetnek majd.

A VÁLTOZATOS FIZIKUSÉLET

– Beszélgetés Németh Judittal 75. születésnapja alkalmából

Németh Judit, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat tiszteletbeli elnöke, a *Fizikai Szemle* volt főszerkesztője, az MTA rendes tagja, az ELTE emeritus professzora 75 éves. Ebből az alkalomból beszélgettem egykori témavezetőmmel pályafutásáról, valamint a magyar tudomány és oktatás mai helyzetéről.

– *Kedves Jutka, tisztelettel és szeretettel gratulálok születésnapjára a Fizikai Szemle olvasói és a magam nevében. Miket tekint pályája legfontosabb eredményeinek?*

– Több részterületen is dolgoztam. Pályám első szakaszában a szerkezeti magfizikában és a soktestfizikában végeztem számolásokat, ide tartoznak például a szimmetriaenergiával kapcsolatos számításaim.

Egy másik izgalmas terület – ezt szerettem legjobban és erről tartottam akadémiai székfoglalómat is – a nukleáris asztrofizika, elsősorban a neutroncsillagok

szerkezete, és az ezek vizsgálatából nyerhető magfizikai információk tanulmányozása. Egy harmadik téma volt a nagyenergiájú magfizika: itt a szórás-kísérletek végtermékeinek energia- és impulzuseloszlását számoltuk *Papp Gábor*ral együtt. Ez a Darmstadtban végzett kísérletekhez volt fontos. Ez az a három terület, amivel legtöbbet foglalkoztam.

– *Nagyon örülök, hogy a kutatási sikereivel kezdte, de a kérdés szándékosan általánosabb volt, magába foglalta az oktatási, szervezési területeket is.*

– Nézze, én nagyon sok mindent csináltam. Az elméleti magfizika előadásokat én tartottam addig, amíg nyugdíjba nem mentem, és *Papp Gábor* át nem vette. Sajnos a klasszikus magfizika kiment a divatból, ma már nem nagyon hallgatják, pedig sokat lehet belőle tanulni, és például a nukleáris asztrofizikában vagy a nehézion-fizikában elengedhetetlenül szüksé-



Németh Judit, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat elnöke (fotó: Kármán Tamás, 2005)

ges az ismerete. Négy jegyzetet is írtam ebben a témában, és azt hiszem, olyan, amiben az elméleti rész is hangsúlyozva van, csak nekem volt. Azután írtam egy jegyzetet nukleáris asztrofizikáról és egyet kozmológiáról. Ez utóbbiak olyan szintűek, hogy azok a csillagászhallgatók is, akik nem ismerik a részecskefizikát, haszonnal forgathatják.

Szervezésben sokat működtem az Eötvös Loránd Fizikai Társulatban. Amikor a Társulat alelnöke voltam (9 évig), négy vándorgyűlést, és (eleinte *Marx György* mellett, mint titkár, később mint elnök) körülbelül 9–10 kisebb (kb. 100 fős) workshopot rendeztem. Ezek közé tartoztak a Balatoni Nyári Iskola összejövetelei.

Azt hiszem, ezek a konferenciák elég jól sikerültek, sok érdekes ember jött ezek révén Magyarországra a 60–70-es években. A befektetett munka mindenképp megtérült kutatásban, presztízsből, abban, hogy a fiatalok megismerték az idejött tudósokat.

Az utóbbi években elnöke voltam a Fizikai Társulatnak, majd később főszerkesztője a *Fizikai Szemlé*-nek. Azt hiszem, eleinte a *Fizikai Szemle* elég tűrhető volt, annak dacára, hogy amikor átvettem a főszerkesztőséget, csúnya sérülésem volt, eltört a vállam, majd két bordám is...

– Amikor még én is segítettem itthon konferenciát szervezni a hetvenes években, szinte mindent magunk csináltunk, és *Jutka*, a *Maga hibetetlen munkabírása és energiája nélkül ez nem ment volna...*

– A balatoni konferenciáknak tényleg jó híruk volt. Persze ezt *Marx György* alapozta meg.

Nagy szerepük volt abban hogy bekapcsolták a magyar fizikusokat az európai fizika vérkeringésébe, és én úgy éreztem, mint fiatal fizikus, hogy rettentő fontos volt nekünk, hogy kiváló előadásokat hallgat-

hassunk a legkorszerűbb témákban, és megismerkedjünk azzal a száz körüli európai fizikussal, akik ezek révén jutottak el Magyarországra...

Ezek között Nobel-díjas tudósok is voltak, mint például *Hans Bethe*, aki kétszer is járt nálunk, és Pesten is tartott előadást...

– *Mennyire tartja fontosnak azt az időt, amit Bethe mellett töltött a Cornell Egyetemen?*

– Nagyon fontosnak tartom, mert bár én a magfizika különböző ágaival addig is foglalkoztam, de a soktestfizikai tudásomat ott szereztem meg, sőt tulajdonképpen még a nehézion-fizikai szórás kísérletekre vonatkozó számolásokat is ott kezdtem el. *Bethe* kitűnő főnök volt, rendkívül nagyra becsültem, és őt is, a feleségét is nagyon szerettem. Tényleg jóban voltam velük. Nyáron *Bethe* távollétében a felesége meghívott, hogy lakjak náluk két hónapig. Tehát ők is kedveltek engem. Azt hiszem az, hogy *Bethe* kétszer eljött ide, egyszer a feleségével, az is ezt bizonyítja.

– *Úgy gondolja, hogy a mai fiatal magyar fizikus generációnak fontos a megváltozott körülmények között is, hogy egy-két évet külföldön töltsön el és hozzon onnan tapasztalatokat, vagy ma már nincs szükség erre?*

– Mindenképpen nagyon fontos a külföldön töltött idő, mert más emberekkel találkozik, és más témákról hall, mint itthon. Itthon az egyetem és a doktori iskola évei alatt megtanulja egy jó hallgató azt, amit az itthoniaktól lehet. Bármennyire jó is bizonyos területeken a magyar fizika, még ott is jól jöhet egy más perspektíva. Persze az egy lényeges dolog, hogy utána hazajöjjön az illető fizikus. De talán ezen a téren jobb a helyzet, mint régebben, mert meg lehet csinálni, hogy újra kimenjen. Lehet felváltva; egy-két évet kinn, 2–3 évet itthon. Főleg fontos ez, ha olyan területen akar valaki dolgozni, ahol az itthoni fizika nem olyan jó.

– *Térjünk vissza a Fizikai Szemléhez és a fizika népszerűsítéséhez. Hogyan kell a fizikáról beszélni nem szakembereknek, fiataloknak, például gimnazistáknak?*

A *Fizikai Szemlé*ben, amikor én lettem a főszerkesztő, indítottam egy *Mindentudás az iskolában* rovatot. Az ötletet a *Mindentudás Egyeteme* sorozat adta, ami eleinte rendkívül jó volt. Ragyogó előadásokat lehetett hallani mindenféle területről. A *Mindentudás az iskolában* rovatnak az a lényege, hogy olyan cikkek legyenek benne, amit egy érettségiző diák megért és érdekesnek tart, bármilyen területen akar továbbtanulni. Természetesen ez a tanároknak is hasznos lehet, és nemcsak nekik. Most van a negyedik éve, hogy ez megy, és fizikusoktól is hallottam olyan megjegyzéseket, hogy először ezt olvassák el (még akkor is, ha az ő területükről van szó, mert látni akarják, mit ír arról más). Fontos az is, hogy egy ilyen cikk nem lehet hosszú.

Nem is gondolná, milyen nehéz a szerkesztőnek ilyen cikket szereznit, hiszen a *Szemle* nem olyan, mint például a *Természet Világa*, aminek sokkal nagyobb olvasótábora van.

Marx Györgynek elévülhetetlen érdeme, hogy amikor Magyarországon rossz volt a kapcsolat a világgal, akkor próbálta a *Szemlé*ben népszerűsíteni a fizikát, és a magyar fizikustársadalmat nemzetközi témák irányába vezetni. Ma ez nehezebb. Amikor a *Science* és a *Scientific American* mindenkihez eljuthat, nehéz olyat kitalálni, ami ezekhez képest újat mond.

– *Jutka, azt kérdezte a beszélgetésünk elején, hogy a fizikán belül maradjunk-e? Engem, meg talán az olvasókat is nagyon érdekelné, hogy otthonról, Német Lászlótól mit kapott, mit hozott?*

– Az édesapám körülbelül 10 éves koromtól kezdve foglalkozott velem matematikából, igaz csak időnként, amikor éppen nem írt, vagy nem volt nagyon elfoglalva. Ezenkívül idegen nyelvű könyveket olvastam velünk.

Kiskoromban a Grimm-meséket németül, később Stendhal franciául olvasta velem. A nyelvtanulás nálam nem volt nagyok sikeres, végeredményben ami nyelvet tudok, azt külföldön tanultam, amikor kinn dolgoztam.

De franciában és matematikában is nagyon jó alap volt, amit aputól kaptam. (A matematikaoktatásom akkor hagyta abba 11 éves koromban, amikor a feladatokat hamarabb tudtam megoldani, mint ő, de fizikáról, meg vegytanról még később is beszélgettem velem.)

– *Tudom, hogy az édesapja munkáit is gondozta. Kérem, mondjon erről valamit.*

– Magda nővérem külföldre menetele, tehát '56 után részben én lettem apám titkárnője. Hogy ezt mennyit csináltam, azt a sárga levelezőlapokból látom – a Balatonnál vagy Vásárhelyen írta őket – ezt gépelem le, vidd el utána ide vagy oda... szóval akkoriban elég sokat csináltam. Amikor édesapám megbetegedett, akkor gyakorlatilag az összes művei kiadása sorozat utolsó négy kötetét én állítottam össze. Fizikában akkoriban csak annyit csináltam, amennyit okvetlen kellett az egyetemen.

– *Van még valami édesapjától kéziratban?*

– Olyan kézirat, ami teljes értékű, nincs, azokat a hetvenes évek elején, mint említettem, legépeltem és kiadták. Vannak jegyzetek, amelyeket fiatal korában írt, és amelyeket most nézek át, de ezek nem teljes értékű művek. Ágnes húgom csinált egy rendkívül nagy munkát, amikor összegyűjtötte édesapám levelezését. Ez elég nehéz volt, úgy ment, hogy beállított X-hez vagy Y-hoz egy szál virággal, és elkérte lemásolásra a neki írt leveleket. Négy ilyen kötet jelent meg, részint az általa, részint a neki írt levelekből. Nagyon érdekes Magda nővérem és Apu levelezése. '56 után addig, amíg nem lett nagyon beteg, ezeket Magda adta ki.

– *Jutka, mire a legbüszkébb szakmai pályafutása során?*

– A Bolyai kollégium megalapítására. Ez úgy kezdődött, hogy egy tanszéki értekezleten az Eötvös Kollégiumról volt szó, és Horváth Zalánnal, akivel egymás mellett ültünk, elkezdtünk beszélgetni, hogy kellene a Természettudományi Karnak is egy „kiváló

diákok” kollégiumot alapítani a bölcsészek Eötvös kollégiuma mintájára. Ez az ötlet nagyon jó pillanatban született, mert Vékás Lajos jogászprofesszor rektor és Kiss Ádám fizikus dékán mindketten támogatták az ötletet. Ráadásul az egyetem akkor kapott meg egy kollégiumnak használható épületet az Amerikai úton, és a rektor beleegyezett, hogy a TTK kapja meg az épületet. Akkoriban még elég nagy összegeket lehetett kérni az átépítés támogatására (FEFA) és két éven át kaptam ilyen támogatást erre a célra. Az első igazgató, aki az átépítést is irányította, Kondor Imre volt. Létrehoztuk Horváth Zalánnal a Bolyai Kollégium Baráti Körét, amiben gyakorlatilag benne volt a TTK professzorainak 80%-a. Beiktattunk az Alapszabályba néhány szervezeti dolgot, ami utólag nagyon hasznosnak bizonyult. A Kollégium nagyon jól működött az Amerikai úton Kondor Imre vezetésével. Sajnos később a TTK-soknak el kellett jönniük onnan, de az új igazgató, Patkós András elérte, hogy a legfontosabb eredmények az új helyen is megmaradjanak, és rendkívül nagy tekintéllyel megmentette a Kollégiumot.

– *Tebát a Kollégium ma is jól működik?*

– Igen. Egyszer elmentem az új hallgatók felvételi-jét megfigyelni és elámultam a jelentkezők magas színvonalától.

Kondor Imre és Patkós András nagy szerepet játszottak a Kollégium életében, de az első ötlet Horváth Zalántól és tőlem jött, és erre nagyon büszke vagyok. A Baráti Kör titkára, majd az elnöke voltam, és most megválasztottak tiszteletbeli örökös elnöknek. Igaz, hogy csak az első lépéseket csináltam meg a Kollégium érdekében, de az első lépéseket meg kell csinálni ahhoz, hogy továbbiakat lehessen tenni.

– *Befejezésül: milyen tanácsot adna azoknak a fiataloknak, akik most vannak a Bolyai (azaz egy természettudományi) Kollégiumban, mire figyeljenek oda, hogyan készüljenek fel a jövőre?*

– Az első dolog az, hogy ne csak a saját tudományukra figyeljenek, hanem mélyedjenek el a matematikában. Magyarországon a matematikaoktatás kitudnó, és a matematika minden természettudományi tárgybán fontos.

A második az, hogy a társtudományokat ne hanyagolják el, mert például a fizika összekapcsolódik a kémiával, biológiával, génfizikával stb.

A harmadik tanács az, hogy tanuljanak nyelveket, angolul ma mindenkinek folyékonyan kell beszélnie, bármit csinál.

Végül az utolsó: használják ki az öt egyetemi évet, mert ilyen sok idejük és ilyen nagy szabadságuk nem lesz többet. És azt is javasolom, hogy menjenek külföldre, nézzenek ott körül, nyáron is például..., de mindig jöjjenek haza!

– *Jutka, köszönöm szépen a beszélgetést, és remélem hogy még sok évig hasznosan közreműködik a Társulatban, az Akadémián és az Egyetemen.*

A Fizikai Szemle és a magam nevében még egyszer sok szeretettel gratulálok és jó egészséget kívánok.

Fái György

Média uralta korunkban elterjedt közhelypanel a *nem elég szakértőnek lenni, annak is kell látszani*. (Itt a szakértő helyett sok egyéb írható.) A megfordításával legtöbbször a gyakorlatban találkozunk, olyan esetekkel, amikor *elég szakértőnek látszani, a valóságos szakértelem fényűzés*.

A tudomány presztízse sokakat csábít arra, hogy állításuknak tudományos látszatot kölcsönözzenek, amely állítás ettől függetlenül lehet igaz vagy hamis. Legtöbbször megelegednek néhány jól hangzó mondatdal, de akad, aki vaskos könyvet ír tele tudományosnak látszó fejtegetéssel.

Néha csak az általános iskolában tanult, és azóta elfelejtett fogalmak összezagyválása jelenti a tudományos magyarázatot:

„A tudós álláspontja szerint a víz izotóp – vagyis önmagában felbomlik – nem kis hitetlenkedést váltott ki, hiszen a vízről addig úgy gondolták, hogy semleges. A találmány a hidrogént használja erőforrásként úgy, hogy a szénhidrogén-származékok helyett a plazma állapotú víz juttatja a hidrogént az égéstérbe, így a motor sokkal jobb hatásfokkal rendelkezik. A projekt alapja a víz nukleáris energiájának a hasznosítása, robbanómotorok, kazánok, sugárhajtóművek, áramtermelő aggregátorok üzemeltetésében. A folyamat ráadásul magas hőmérsékleten felgyorsítható, így az éppen mozgásban lévő hidrogénmolekulák elégetésével energia nyerhető.”

De létezik valódi kultúrsznobok számára tálatl változat is:

„Nemrégiben *Lacan topologie du sujet*-jét sikeresen alkalmazták a filmesztétikára és az AIDS pszichoanalízisére. A matematika nyelvén szólván itt azt mutatja ki, hogy a gömb első homológiasoportja triviális, míg a többi említett felületéé teljes... Lacan gyanította, hogy intim kapcsolat áll fenn a fizikai világ külső szerkezete és ennek belső pszichológiai reprezentációja mint csomóelmélet között – *Witten* levezette a csomóinvariánsokat a háromdimenziós Chern–Simons-quantumtérelméletből.”

A tudomány és áltudomány határait nem könnyű kijelölni. Ám a rámenős sarlatánság a műszaki, termé-

szettudományos kérdésekben jártasakat ritkán tudja megtéveszteni. Azonban épp ez a jártasság az, amiből kevés van. Szükség lenne tehát a hiteles tudományos álláspontra. A tudomány embere azonban nem szívesen foglalkozik az áltudomány konkrét előfordulásai-val, mert időigényes foglalatosság, aminek gyakorlása során szakmai tekintélye is veszélybe kerülhet. „A találmányt a legmagasabb tudományos fórumon véleményezték” – ennyi jelenik meg a nyilvánosság előtt. Arról, hogy a vélemény elmarasztaló volt, már nem esik szó.

Az áltudomány elleni küzdelem elsősorban a tudományos ismeretterjesztés feladata. Ennek megfelelően a *Természet Világa* folytatja ezt a harcot a legkövetkezőtében. A szakmai ismeretterjesztés fórumainak egyikeként a *Fizikai Szemle* sem tagadhatja meg részvételét saját területén, ha nem akarja, hogy az energiagondokat hivatástudattal vértezett feltalálók örökmozgókkal és vákuumenergiával oldják meg, a gyógyulni vágyókat ártalmatlan mágnesekkel és kristályokkal vezessék félre. Legyen tehát egy állandó rovat, az *Álfizikai Szemle*, amelynek írásai a fizika segítségével leplezik le az áltudományos furfangokat!

Beköszöntőül az áltudományok kipróbált és esküdt ellenfele, *Bencze Gyula* egy régebbi írását választottuk, aláhúzva ezzel, hogy a probléma nem új, de kikerülhetetlen. Hogy nem új, annak igazolására érdemes elővenni a *Fizikai Szemle* öt évvel ezelőtti (53. évf. 6.) számát, ahol ugyancsak Bencze Gyula teszi fel a kérdést: *Meddig hallgathat a fizika?* Volt azóta néhány elszigetelt próbálkozás a csend megtörésére, de ennél sokkal többre lenne szükség. Egy égető kérdéshez megnyitott rovat nem maradhat üres, a szakmai lelkiismeret nem engedheti!

TUDOMÁNY, ÁLTUDOMÁNY, TÖMEGTÁJÉKOZTATÁS

– Miért hallgatnak a fizikusok?

Bencze Gyula

KFKI Részecske és Magfizikai Kutató Intézet

A mai fejlett társadalmak mindennapi életének kiküszöbölhetetlen része a tudomány. A reklámok tanúsága szerint a sokféle támadás ellenére még mindig a tudomány az a társadalmi intézmény, amelynek a közvélemény előtt legnagyobb a tekintélye. Ezt a tekintélyt természetesen csak eredményekkel lehetett kivívni, amelyekről szinte mindenkinek első kézből vannak tapasztalatai.

Carl Sagan, a kiváló csillagász, űrkutató és tudomány-népszerűsítő *Korok és démonok* című, magyarul is megjelent könyvében [1] a következőképpen fogal-

maz: „Napjaink globális civilizációja úgy van megszervezve, hogy minden lényeges eleme – a transzport, a kommunikáció, a mezőgazdaság, a medicina, az oktatás, a szórakoztatás, a környezetvédelem, sőt a demokrácia működéséhez nélkülözhetetlen választások lebonyolítása is – alapjaiban függ a tudománytól és technikától, amelyeket azonban a dolgok mai állása szerint szinte senki sem ért. Ez a helyzet felér egy beprogramozott katasztrófával, amelyet ugyan ideig-óráig elodázhathatunk még, de a tudatlanság és a hatalom vészjósló keveréke előbb-utóbb belerobban a képünkbe.”



A (természet)tudományos tevékenység egyik legnagyobb erőssége mind morális, mind emberi szempontból az a körülmény, hogy tudományos elméletek kidolgozása és azok igazolása független a közreműködő tudósok ideológiai nézeteitől. A tudományos hipotézis valamilyen természeti jelenséget vagy megfigyelést igyekszik megmagyarázni oly módon, hogy az minden hasonló jelenségre alkalmazható legyen, és a jövőbeli jelenségekre vonatkozóan is konkrét jóslásokat – predikciókat – tegyen lehetővé. Egy elmélet sikerességét egyedül a Természet, nem pedig embekekből álló, mégoly okos bizottság vagy hatalommal felruházott egyéb testület minősíti.

Természetesen az előbb mondottakat egyes társadalomtudósok vitatták és vitatják. *Paul Feyerabend*, a tudományfilozófia fenegyereke, a tudományellenesség apostola így vélekedett [2]: „A tudomány sokkal közelebb áll a mítoszhoz, mint azt a tudományfilozófia hajlandó elismerni. Egyike a sok gondolati formának, amelyet az ember fejlesztett ki, és nem feltétlenül a legjobb ezek közül. Szembeötlő, nagyhangú és szemtelen, de csak azok számára inherensen felsőbbrendű, akik már választottak ideológiát maguknak, vagy anélkül fogadták el, hogy valaha is megvizsgálták volna előnyeit és korlátait. ...az állam és az egyház szétválasztását követnie kell az állam és a tudomány szétválasztásának, [amely] a legújabb, legagresszívabb és legdogmatikusabb vallási intézmény...”

Ellenpontként idézhető *A.B. Migdal*, a kiemelkedő orosz elméleti fizikus véleménye, amellyel nagy többségben egyetértenek a természettudomány művelői [3]: „A tudomány nemcsak a lehetséges határait állapítja meg, hanem könyörtelenül elválasztja a sejtéseket – még a valószínűnek hatókat is – a bizonyított állításoktól. Ha nem lenne elhatárolási szabály, a tudomány belesüllyedne a babonák és ingatag feltevések tengerébe. A valószerűt a bizonyítottól elkülönítve, a tudomány kideríti, mely állításokat kell tovább vizsgálni...”

Remélem, senkit sem kell arról meggyőzni, hogy a tudományban a lehető legnagyobb szakértelem szükséges. Egyébként minden szakma hozzáértést és szakavatott oktatást igényel...

Művészeti alkotásról a szemlélő vagy hallgató joggal elmondhatja, hogy tetszik-e neki a mű vagy sem. A tudományban az ilyen megállapításhoz is bizonyos szintű tudás kell. Nem mondhatunk ilyet: »nekem nem tetszik a relativitás elmélete«. Ehhez legalább meg kell érteni az elmélet állításainak jelentését.”

Nos, a tudomány művelői számára a tudomány nem ideológia, már csak azért sem, mert állításait bizonyítani kell, és semmiképpen nem domináns világmagyarázat. A tudomány egyik alapvető tulajdonsága, hogy pontosan tudatában van saját korlátainak és a rendszerezett ismeretek érvényességi körének.

Tudományellenesség, áltudomány

A tudományellenességnek, a politika tudományba való beavatkozásának és az áltudományoknak bizonyos szempontból közösek a gyökerei; a tudomány társadalomban elfoglalt szerepét igyekeznek saját céljaik szolgálatába állítani, vagy egyszerűen magát a tudományt aláásni. Szerencsére az utóbbi években már csak kevésbé fenyeget a politika beavatkozása, azonban két ilyen célú kísérlet nagy nemzetközi figyelmet keltett.

Az AIDS járványszerű terjedése egyike a Dél-afrikai Köztársaság legsúlyosabb problémáinak, amelynek kezelésére az ország kormánya bűnösen kevés figyelmet fordított, a kialakult helyzetet pedig szakmai megfontolások helyett a politika eszközeivel kívánják kezelni, ahogy erről az amerikai *Science* magazinban *M.W. Makgobe*, a Dél-afrikai Orvosi Kutatási Tanács (Medical Research Council of South Africa) elnöke számolt be.

Mbeki köztársasági elnök nyílt levelet tett közzé a sajtóban, amelyben kijelentette: „akármilyen leckét is tanulhatunk vagy vehetünk át elképzeléseket a Nyugattól az AIDS súlyos problémájával kapcsolatban, a nyugati tapasztalatnak és ismereteknek az afrikai valóságba való egyszerű átültetése abszurd és illogikus lenne.” Ma, amikor a fejlett országokban az AIDS terjedése már kontrollálhatóvá vált, anakronisztikus és tragikus, hogy a dél-afrikai politikai körök a tudományos bizonyítékok ellenére azt állítják, hogy országukban az AIDS terjedéséért nem a HIV-vírus, hanem a társadalom szegénysége, a népesség alultápláltsága és egyéb szociális problémák a felelősek.

A másik példa a ködös Albionból származik. A trónörökösről széles körben ismert, hogy hosszú ideje keresi helyét a brit társadalomban. Korábban az építészet terén igyekezett jeleskedni, és véleményével többször is váltott ki vitát. Az utóbbi időben azonban a molekuláris biológia és genetika keltette fel figyelmét, és katonai akadémiai képzettsége ellenére ezen a téren is határozott véleménye van, amelyet a tudományos körök nagy sajnálatára nem rejt véka alá [4].

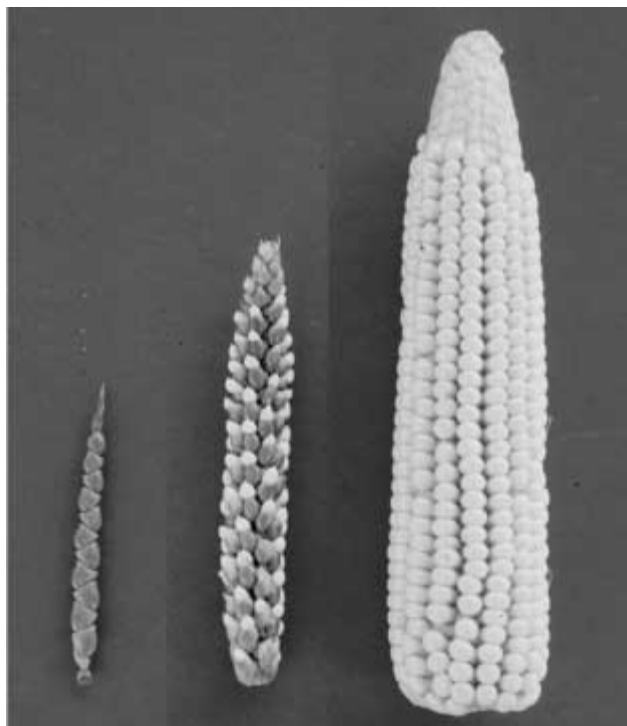
Az alábbiakban nézzünk egy csokrot *Károly herceg* kijelentéseiből, amelyekre a tudományos közösség érthető módon azonnal felfigyelt: „Az elképzelés, mi-

szerint az emberiség és a Teremtő között szent kötelék van, amely alapján elfogadjuk kötelességünknek a Föld megőrzését, minden korban részét képezte a vallásos és spirituális gondolatoknak. Még azok is, akiknek hite nem tartalmazta egy Teremtő létezését, hasonló álláspontot foglaltak el erkölcsi vagy etikai alapon. Csak legújában kezdte el ezt a vezérelvet fojtogatni a tudományos racionalizmus majdnem áthatolhatatlan füstje. Úgy gondolom, ha valóban szándékunkban áll a fenntartható fejlődést megvalósítani, először újra fel kell fedeznünk, vagy újból elismernünk a szentség érzését a világgal és egymással való kapcsolatainkban. Ha szó szerint igaz, hogy semmi sem szent többé – mivel a babona és valamiféle »irracionalizmus« szinonimájának tekintik – mi tart vissza bennünket attól, hogy a világot »az élet nagy laboratóriumának« tekintsük, amelynek hosszú távon katasztrófális következményei lehetnek...

...Csak akkor kerülhetjük el környezetünk teljes pusztulását, ha újra felfedezzük az élő és szellemi világ alapvető egységét és rendezettségét – a szerves mezőgazdaságban és az integrált orvostudományban, valamint abban, amit alkotunk – és ha áthidaljuk a szakadékot a cinikus szekularizmus és a hagyományos vallások időtlensége között...”

A megnyilatkozásra természetesen élénken reagáltak a brit tudomány neves képviselői. *Stephen Hawking*, a világhírű elméleti fizikus és kozmológus szerint „50 év múlva az emberek csodálkozni fognak azon, mi volt ez a nagy cirkusz a génmanipulációval”. A BBC-nek adott nyilatkozatában Hawking azt is megjegyezte: „nem lehet betiltani a kutatást és fejlesztést

A mai kukorica kialakulása a kukorica ősének tekintett gammafűtől (*Tripsacum dactyloides* L.) a mai modern kukoricáig, az évezredekben át tartó nemesítés-génmódosítás példája.



csupán azért, mert eredményeit fel lehet használni”. *Sir Walter Bodmer*, a British Association for the Advancement of Science (az MTE SZ brit megfelelője) vezető tisztségviselője szerint „Az ember hihet Istenben, de ugyanakkor abban is joga van hinni, amire a tudomány képes.” *Sir Walter nyugtalanító*nak tartja, hogy Károly herceg nem örül annak, ha a tudomány eredményeit alkalmazzák a modern napi problémák megoldására. Szerinte „a tudomány segít abban, hogy a fenntarthatósággal kapcsolatos problémákat megoldjuk”.

Richard Dawkins, a neves evolúcióbiológus, az Oxford Egyetem *Charles Simonyi* által alapított Tudománynépszerűsítés katedrájának professzora az *Observer* hasábján nyílt levelet tett közzé Károly herceghez, amelyben részletesen reagált annak tudományellenes kijelentéseire.

Itt most csak néhány szemelvényt idézünk az eléggé gyilkos tartalmú levélből:

„Királyi Felség!

Az Ön Reith-előadása nagyon elszomorított. Milyen rokonszenvezem az Ön céljaival és csodálom őszinteségét. Azonban a tudománnyal szembeni ellenségessége nem tesz jó szolgálatot szándékainak; az pedig, hogy ellentmondó alternatívák össze nem illő zagyvaságát karolja fel, megfosztja mindattól a tisztelettől, amely úgy gondolom, kijár Önnek. Elfelejtetem már kitől származik a mondás: »természetesen nyitottaknak kell lennünk, de nem annyira, hogy az agyunk kiessen«.

Továbbá azt hiszem, Uram, hogy erősen túlzó elképzelései vannak a »hagyományos« vagy »szerves« mezőgazdaság természetességéről. A mezőgazdaság mindig is természetellenes volt. Fajunk mindössze 10 000 évvel ezelőtt kezdett felhagyni a természetes vadászó-gyűjtögető életmóddal – ami az evolúció időskáláján túlságosan is rövid mérték.

A búza, legyen az korpás vagy kövön őrölt, nem természetes étele a *Homo sapiens*nek. Sem a tej, kivéve gyermekek számára. Ételeink majd minden morzsája genetikailag módosított – bár kétségtelenül mesterséges kiválasztással nem pedig mesterséges mutációval, ez azonban a végeredmény szempontjából ugyanaz. A búzaszem genetikailag módosított fűmag, ugyanúgy, mint ahogy a pekingi pincsi genetikailag módosított farkas. Hogy Istent játszunk? Hiszen évszázadok óta Istent játszunk!

...Mellesleg a termés génmanipulációja elleni hisztérikus tiltakozás annak esetleges veszélyei miatt azért is aggasztó, mert eltereli a figyelmet olyan konkrét veszélyekről, amelyeket már pontosan felmértek, csak éppen nem törődnek vele. Az antibiotikumokkal szemben rezisztens új baktériumtörzsek kialakulása is olyan dolog, amelyet egy darwinista már akkor előre láthatott, amikor az első antibiotikumokat felfedezték. Sajnos a figyelmeztetés akkor is eléggé halk volt, most pedig még inkább elnyomja a vonító kakofónia: »génmanipuláció, génmanipuláció, génmanipuláció, génmanipuláció, génmanipuláció, génmanipuláció!«

...Ami azonban a legjobban elszomorít, Uram, hogy mennyit veszít azzal, ha hátat fordít a tudománynak. Jőmagam is megpróbáltam írásba foglalni a tudomány költői csodáját, de szabad inkább vennem azt a bátorságot, hogy egy másik szerző könyvével ajándékozzam meg? Ez a *Korok és démonok*, amelynek szerzője a sokak által gyászolt Carl Sagan. Különösen az alcímre hívnám fel a figyelmét: *A tudomány mint gyertya a sötétségben.*”

Ami az áltudományokat illeti, ennek spektruma hazánkban is figyelemreméltóan széles, az alternatív gyógyászattól egészen a világ holisztikus elméletéig.

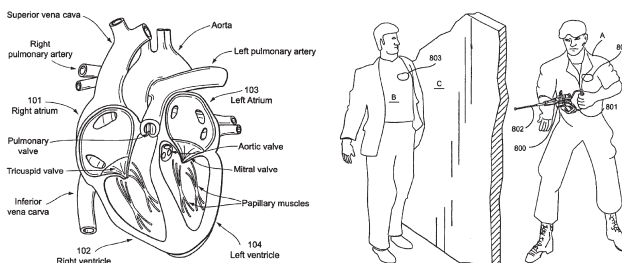
Az Egyesült Államokban egy DielectroKinetic Laboratories LLC. nevű cég reklámozni kezdte DKL Lifeguard (Életmentő) fantáziánéven fogalmazott „emberi jelenlét detektorát”, amely modelltől függően 20–500 méter távolságból képes észlelni emberek jelenlétét bármilyen anyagon keresztül. A korántsem olcsó, típustól függően 6 000–15 000 dollár közötti áron forgalmazott műszer, amennyiben valóban rendelkezik a megadott tulajdonságokkal, nyilvánvalóan rendkívül fontos segítséget nyújthat a katasztrófa-elhárítás, bűnüldözés, határvédelem és egyéb biztonsági feladatok ellátása terén.

Az ügyes reklámkampány nyomán számos helyi rendőrség és egyéb hivatalos intézmény szerzett be példányokat a drága műszerből. A nagy érdeklődés, valamint az amerikai szkeptikus szervezetek hathatós kifogásai nyomán a korántsem egyértelműen pozitív tapasztalatokra való tekintettel a nemzetbiztonsáért felelős Energiaügyi Minisztérium (Department of Energy, DOE) az új-mexikói Sandia Nemzeti Laboratóriumot bízta meg azzal, hogy szakmai véleményt alkosson a műszer alkalmazhatóságáról.

A Sandia Laboratórium mérnökökből és számítógépes szakemberekből álló kutatócsoportja az Egyesült Államok Légierője Albuquerque városában lévő Kirtland Légibázisán kiterjedt dupla vakkísérlet-sorozatot végzett el a gyártó cég vezető munkatársai részvételével. A kísérlet részleteinek leírása megtalálható a Sandia Laboratórium honlapján [5]. A lényeg az, hogy a vizsgálatok szerint a berendezés semmivel nem működik jobban, mint a véletlenszerű kiválasztás, azaz a műszer használhatatlan. Erről az eredményről hivatalos állásfoglalást adott ki a DOE.

Ami a műszer működését illeti, a Sandia Laboratórium kutatói kísérleteikben először a működésképtelenséget demonstrálták, hiszen a felhasználó számára ez a fontos. Az alapelve vonatkozóan a DKL annyit hozott nyilvánosságra, hogy a műszer a szív összehúzódásai során keltett elektromágneses sugárzást detektálja. Nos, alapvető fizikai ismeretek birtokában az ember könnyen kiszámítja, hogy a szív 1,2–2 Hz frekvenciájú periodikus összehúzódása során esetleg keltett elektromágneses sugárzás hullámhossza nagyjából 150 000 km, amelyet egy 25 cm körüli antennával regisztrálni színvonalatlan science fictionbe illő feladat.

Tipikusan amerikai végkifejlet, hogy a DKL cég kellemetlenségeit nem az áltudományos tevékenység okozta, hanem a „kereskedelmi etika” megsértése,



DKL Lifeguard (Életmentő) „emberi jelenlét detektor” vizsgálata a Sandia Nemzeti Laboratóriumban (felül). A teljesen használhatatlan készülék szabadalmi leírása ma is(!) fenn van a világhálón (alul).

azaz termékei nem működtek a reklámok specifikációinak megfelelően. Ami a média ez ügyben játszott szerepét illeti, két évvel az esemény után *Tom Clancy*, hazánkban is ismert bestseller-szerző *Szivárvány kommandó* című, magyarra is lefordított művében egy, a világ megmentésére alakult speciális antiterrorista egység szuper felszerelésének egyik darabja éppen a DKL eme működésképtelen detektora. Vajon a nagyközönség emlékei között mi fog inkább megmaradni, ez a könyv, vagy a DOE hivatalos sajtótájékoztatójának tartalma?

A hazai találmányok között még meg lehetne említeni az Egely-féle bioenergiamérő műszert, amely egyesek gyanúja szerint felboncolt hulláknál is jelez jó egészségnek megfelelő bioenergiát, vagy a vákuum nullponti energiájának elvonására készült különféle barkácstermékeket, de ezekről a hazai nyomtatott sajtóban számos beszámoló található.

Tudomány és tömegtájékoztatás (tudománynépszerűsítés)

A hazai felnőtt lakosság nagy többsége a tudományokra vonatkozó ismereteit általános, illetve középiskolai tanulmányai során szerzi, és további élete folyamán semmiféle szervezett továbbképzésben nem részesül. Tekintettel azonban arra, hogy a társadalom életét átszövi a tudomány és áltudomány egymás melletti szereplése és alkalmanként vetélkedése, a nagyközönség megbízható információ hiányában ki van szolgáltatva a médiának. Ezért van olyan nagy szükség kritikára – ha úgy tetszik, szkeptikus alapállásra – amely segít abban, hogy elkerüljünk

egyeb buktatókat, és ne üljünk fel a rosszhiszemű csalóknak, áltudományos sarlatánoknak.

A társadalom két tévhitet hajlamos táplálni a tudománnyal kapcsolatban. Az egyik szerint a tudomány az emberiség minden problémájára képes választ adni. A másik szerint pedig éppen a tudomány a felelős mindazokért a súlyos gondokért, amelyeket az emberiség önmagának okozott. Feltétlenül szükséges tehát eloszlatni mindkét tévhitet, és a tudományt, mint nélkülözhetetlen társadalmi intézményt, az őt megillető helyre tenni a nagyközönség gondolkodásában.

Az utóbbi időben egyre többször és egyre élesebben vetődik fel a kérdés, ki – azaz a média mely része – ismertesse a tudomány eredményeit, népszerűsítse a tudományt? A hazai körülmények között kiváló munkát végeznek a tudományos ismeretterjesztés hagyományos fórumai, a népszerű tudományos folyóiratok. A gondot az jelenti, hogy a közönség többsége információit napilapokból szerzi, nem is említve a televíziót, amely szinte egyedülálló befolyásra tett szert, éppen ezért felelőssége ezzel arányosan jóval nagyobb.

Egy hazai filozófus így összegzi a helyzetet [6] (a tudomány szót akár az áltudománnyal is helyettesíteni lehetne): „A tudományos ismeretterjesztés ma a manipulatív tömegkultúra része, s kevés kivételtől eltekintve a korrektségre való törekvésnél erősebb motivációja a szenzációkeltés igénye, s a tudomány fetiszizálása. Ez pedig kedvez a bombasztikus, jól hangzó kijelentéseknek, amelyek ugyanakkor sejtelmesebbé és hatásosabbá válhatnak, ha tulajdonképpen értelmük homályban marad. A manipulatív tömegkultúrában nevelkedett olvasó (néző) pedig éppen erre vágyik: gyorsan fogyasztható »szellemi hamburgerre«, amely megragadja fantáziáját, de különösebb szellemi erőfeszítést nem kíván tőle.”

A legutóbbi idők egyik orvosi „szenzációja” is a tv-nek köszönheti reflektorfénybe kerülését. Az egyik kereskedelmi csatorna egy volt sportriporter által készített „dokumentumfilmet” sugárzott a daganatos betegségek egy új, úgynevezett hipertermiás gyógy módjáról, amelynek híre a betegek körében futótűszerűen terjedt el. A tv eszközei által nyújtott összes lehetőség szakavatott kihasználásával sikerült a rászorult beteg emberekben ez idáig nem igazolt reményeket kelteni, másrészt hangulatot az orvostársadalom ellen, akik „tehetetlenségükkel és irigységükkel” közvetve emberek halálát okozzák. Az csak természetes(?), hogy az Egészségügyi Tudományos Tanácsnak az ügyel kapcsolatos, és az MTI-hez eljuttatott hivatalos véleményét egyetlen(!) napilap sem ismertette, egyedül a *Természet Világa* című népszerű-tudományos havi folyóirat közölte teljes terjedelmében [7]. Az ügyről ma már keveset hallani, mindenesetre a sajtóban történt „felvezetése” nem öregbíti a hazai tudományos újságírás tekintélyét.

Ray Hyman, az Oregon Egyetem pszichológia professzora – akinek szakterülete a csalás pszichológiája – és ennek folytán az amerikai kormány egyik tudó-

mányos szakértője, ezzel kapcsolatban eléggé pesszimista véleményen van [8]: „Már igen korán észrevettem, hogy a tudós a médiában vesztésre van ítélve. Mint tudósnak nagyon meg kell fontolnom a válaszaimat, és ez sem nem hangzik jól, sem nem népszerű a nyilvánosság előtt...”

A klasszikus műveltséggel rendelkezők akár a bölcs *Catóra* is hivatkozhatnak:

„Szószátyár ellen ne akarj soha küzdeni szóval: Mindnyájunk adománya a szó, keveseké az okosság.”

Kinek is kellene akkor népszerűsítene a tudományt?

*Peter Cochran*e, a British Telecom főtechnológusa, a Bristol Egyetem professzora nem véletlenül fakadt ki: „Végtelen sok példát lehet találni arra, hogy a riportok durva hibákat tartalmaznak és felületeseek, mivel a média mindent elkövet, hogy a társadalmat torz információval riogassa. Sajnos gyakran kétes forrásokból származó és kiérleletlen információval etetnek bennünket. Bár minden embernek szabadságában áll hangot adni nézeteinek, aggodalmainak és véleményének, vagy képviseltetni azokat, bármiről is legyen szó, ugyan van-e olyan ember, aki az Amazonas vidékéről való törzsi varázslóval vitatná meg, hogy tv-készüléke javításra szorul-e? De akkor miért történelemtanárok írják a génmanipulált élelmiszerekről, miért nyelvtanárok foglalkoznak a klónozás veszélyeivel, és miért minden műszaki kvalifikáció nélküli egyének aggódnak a mobiltelefonok esetleges veszélyei miatt? És ami még rosszabb, állítólagos »kutatók« gyakran lépnek a nyilvánosság elé olyan kijelentésekkel, amelyek rendkívül ingatag »bizonyítékokon« alapulnak.”

Külföldön már számos nagy kutatóközpont felismerte, hogy a pontos és kimerítő tájékoztatás a tudósok felelőssége. Az Egyesült Államok nagy kormánylaboratóriumai, például a NASA, a Los Alamos Nemzeti Laboratórium, Brookhaven Nemzeti Laboratórium, vagy Európában a CERN saját népszerűsítő kiadványokkal, filmekkel, és az internetről letölthető szöveges és képi információval sokkal hatékonyabban tájékoztathatnak, mint hagyományos módon, rossz esetben félművelt zurnalisták közbeiktatásával. Az igazság kedvéért hozzá kell tenni, hogy ebben a népszerűsítő munkában kiváló tudományos szakírók működnek közre, akiknek ezt a tevékenységét kizárólag szakmai okok vezérlik.

Hazánkban többek között a *Természet Világa* népszerű tudományos folyóirat vállalta magára a színvonalas tájékoztatás korántsem könnyű feladatát. Az egyes tudományterületek legújabb eredményeit ismertető különszámok igen nagy szolgálatot tesznek a társadalomnak, mivel a fiatalok – és az idősebbek – érdeklődését felkeltik a tudomány fontos eseményei iránt. E publikációk szerzői a hazai tudományos élet kiemelkedő alakjai, akik a szakmai hitelesség mellett érdekes és olvasmányos cikkeikkel nagymértékben hozzájárultak ahhoz, hogy egy-egy különszám megjelenése már eseménynek számít.

Nyilvánvaló az a következtetés, hogy a tudomány legújabb eredményeinek szükségszerű társadalmi hatásaihoz illeszkednie kell egy, a kor követelményeinek

megfelelő tájékoztatásnak, amely lehetővé teszi, hogy a társadalom létét befolyásoló kérdésekben minden állampolgár felelősséggel tudjon véleményt formálni, és azt a megfelelő csatornákon kifejezésre juttatni. Úgy tűnik elkerülhetetlen, hogy ebben a következő lépést a tudományos közösség tegye meg, amely az előbbiek szerint már megtörtént a népszerű-tudományos sajtóban.

Korántsem ilyen biztató a helyzet az elektronikus médiumok területén, amelyek a legnagyobb közönséggel rendelkeznek, ám korántsem állnak a helyzet magaslatán. Ismereteim szerint a tv- és rádiócsatornák szakszerkesztői között nincs tudományos fokozattal rendelkező, és természettudományi alapképzettségű is csak elvétve található. Ezért aztán nem meglepetés, ha a közszolgálati rádió riportere szájából elhangozhat például olyan kijelentés, hogy „a vidéki oxigén egészségesebb, mint a városi”!

A fentebb idézett Hyman professzor szerint a tudomány a tv-ben eleve vesztesre van ítélve. Nem szabad azonban feladni a küzdelmet, és ebben az Akadémiának nagyobb szerepet kellene vállalni. Igen nagy szükség lenne a közvéleményt foglalkoztató kérdésekben

hiteles szakmai véleményre, amely eloszlatja a tévedéseket, tévhiteket és határozottan cáfolja a szándékos félrevezetés okozta hamis állításokat. Ez nem kis feladat, és nem a testületnek, mint valamiféle hatóságnak, hanem Akadémiánk kiemelkedő tudósainak lenne nemes feladata, vagy talán még inkább kötelessége. Ha Akadémiánk alapítója korában így virágoztak volna az áltudományos nézetek és sarlatánságok, a legnagyobb magyar talán ezt a feladatot is célul tűzte volna ki a tudós testület elé.

Irodalom

1. C. Sagan: *Korok és démonok*. Typotex Kiadó, Budapest, 1999.
2. P. Feyerabend: *Philosophy of Science in 2001*, in: *Methodology, Metaphysics and the History of Science*. Hague, 1984; magyarul lásd *A későújkor józansága I.* (J.A. Tillmann szerk.) című kötetben, Göncöl Kiadó, Budapest, 1984, 190–205.
3. A.B. Migdal: *Az igazság keresése*. Gondolat, Budapest, 1989, 21.
4. A walesi herceg és a tudomány. *Természet Világa* 2000/10
5. <http://www.sandia.org/>
6. Székely L.: *Az emberarcú kozmosz*. Áron Kiadó, Budapest, 1997.
7. A daganatos betegségek hipertermiás kezelése. *Természet Világa* 1999/12, 576.
8. Az igazság odakinn van. *Természet Világa* 1999/2, 86.

VÉLEMÉNYEK

MAGYAR KUTATÓK KUTATÁSI STÍLUSA ÉS A NEMZETKÖZI EGYÜTTMŰKÖDÉS

Berényi Dénes
ATOMKI, Debrecen

Lehetőségek kis országok számára és példák saját gyakorlatunkból

A kis országok, illetve a kis országok tudományosságának reális helyzetét – humorosan – az *1. ábra* mutatja. A nagy, gazdag országok kutatóinak rendelkezésére állnak költséges nagyberendezések (gyorsítók, teleszkópok, műholdak, nagy mágnesek, komplex elektronika, nagy teljesítményű számítógép-hálózatok stb.), viszont mindez általában hiányzik a kis és szegényebb országok kutatói esetében, holott ők is sze-

retnének tudományos téren „labdába rúgni”, előre vinni a „földkerekség ügyét”.

Egy kis ország tehetséges kutatója a fenti nehézségek ellenére eredményesebb tudós lehet a nagy országok sok kutatójánál, azaz érdemes vele együttműködni. Másrészt a gazdaságilag fejlett országokban sem áll minden nagyberendezés rendelkezésre, és ezeknek az országoknak a kutatói is kénytelenek bizonyos berendezéseket más országokban vagy nemzetközi centrumokban használni.

Mit tehetnek a kis országok kutatói, ha eredményes, a tudomány haladását elősegítő munkát akarnak végezni? Véleményem szerint három különböző és egymással kombinálható út kínálkozik számunkra, és pedig:

– *tervezhetnek és megépíthetnek kisebb originális, egyedi berendezéseket és azokkal méréseket végezhetnek otthon vagy külföldön (adott esetben csatlakozva más országok vagy nemzetközi szervezetek nagyberendezéseivel);*

– *végrehajthatnak eredeti ötletek alapján kidolgozott kutatási programokat az otthon meglévő berendezéseken vagy külföldön;*

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

Az írás a *3rd Japan–Hungary Joint Seminar on Physics in Modern Science and Technology – Progress in Science and Technology with Particle and Photon Beams, October 8–12, 2007, Debrecen – Szeged – Budapest* rendezvényen tartott nyitó előadás kissé módosított változata.



1. ábra. A kép humoros formában mutatja a kis országok kutatóinak igyekezetét, hogy a világ tudományos erőfeszítésében „labdába tudjanak rúgni” a tudomány haladása és az egész Föld javára.

– folytathatnak kutatómunkát nemzetközi együttműködésben szűkebb tudományterületükről távolabbra nézve, *interdiszciplináris témákban*.

Mindhárom esetben kulcskérdés a *kollaboráció*, a tudományos együttműködés.

A következőkben egy jellemző példát szeretnék bemutatni a fentiekre a Debrecenben kezdődött magyar magfizikai kutatás első lépéseiről, amelyek *Szalay Sándor* (1909–1987), a debreceni fizikai tudományos iskola alapítója nevéhez fűződnek.

Szalay 1938-ban az $^{27}\text{Al}(\alpha, n)^{30}\text{P}$ folyamatot Bécsben (Institut für Radiumforschung) vizsgálta, mert akkor

2. ábra. Japán népművészeti baba, mint a japán–magyar tudományos együttműködés első emléke



megfelelő α -sugárzó radioaktív forrás Debrecenben még nem állt rendelkezésre, de az egyszerű és ugyanakkor a maga korában eredeti berendezést Debrecenben tervezték és építették, innen szállították azután Bécsbe [1]. Ezzel kapcsolatban a *Nature*-ben megjelent cikkének a végén Szalay a következőket írta:

„The apparatus has been built in the Institute of Physics, Debrecen, Hungary, by means of a financial support from the Academy of Sciences, Budapest.” Az MTA Atommagkutató Intézete (ATOMKI) egyik utóda a szövegben szereplő intézetnek.

Elmondhatjuk, hogy története folyamán a továbbiakban is hasonló gyakorlatot követett intézetünk. Speciális és egyedi berendezéseket terveztünk és építettünk az intézetben, és azokat közös kutatások végzésére Németországba, Oroszországba, Svédországba stb. szállítottuk.

Az ATOMKI együttműködése japán tudományos intézményekkel

A japán együttműködés esetében nem berendezések szállítása volt a megszokott gyakorlat, itt a kutatók maguk, tapasztalataik és az eredeti ötletek adták az együttműködés alapját. Egyébként a japán tudományossággal az első kapcsolatfelvétel intézetünk esetében még *a múlt század hatvanas éveinek első felében történt*. Ekkor látogatott intézetünkbe *Yujiro Koh* professzor (Osaka City University). Kutatási témája ugyanaz volt, mint a mi kutatócsoportunké (ebből a csoportból fejlődött ki intézetünk mai Atomfizikai Főosztálya), éspedig a radioaktív bomlásoknál fellépő úgynevezett belső fékezési sugárzás. Ennek az első kapcsolatfelvételnek van egy „tanúja”, egy relikvia, nevezetesen egy nagyon szép japán népművészeti baba (2. ábra), amelyet Koh professzortól és a feleségétől kaptam.

A következő együttműködés jellegű kapcsolatfelvétel *a hatvanas évek végén, a hetvenes évek elején* történt és ugyancsak a mi kutatócsoportunkhoz fűződik. Ezekben az években *Sakae Shimizu* (Kyoto University) keresett meg levélben azzal, hogy a szakirodalomból ismeri eredményeinket, szeretne együttműködni velünk és szívesen fogadna munkatársaim közül valakit laboratóriumában hosszabb idejű kutatómunkára. Ennek a meghívásnak eleget téve *Kádár Imre* dolgozott egy évig Shimizu professzor laboratóriumában a gravitációs erő hatását vizsgálva a radioaktív bomlásra.

A *hetvenes években* azután Shimizu professzor munkatársai közül *Takeshi Mukoyama* fél évig végzett kutatómunkát intézetünkben, illetve csoportunkban. Ebben az időben csoportunk témája már az atomi ütközési folyamatok vizsgálata volt. Mukoyama professzor maga is nem egyszer határozottan kifejezésre juttatta, hogy ez az időszak döntő hatással volt tudományos pályájára. Kutatási témáját tekintve a radioaktív bomlási folyamatok vizsgálatáról maga is az atomi ütközési folyamatok kutatására váltott. Mukoyama ezen a területen ért el nemzetközileg kiemelkedő eredményeket a következő évtizedekben.

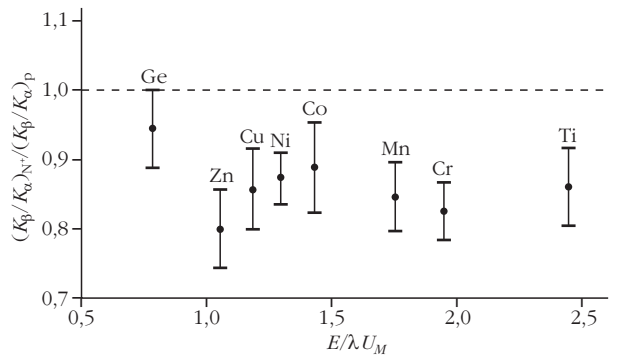
Csoportunk ebben az időben Mukoyamával együttműködve több nemzetközi szintű eredményt produkált (pl. [2–4]). Ennek a munkának a során a röntgensugárzást vizsgáltuk intézetünkben atomi ütközési folyamatokban nehéz ion becsapódásnál.

A 3. ábrán látható eredmény a K_{β}/K_{α} viszonyra vonatkozóan eltérést mutat $N^{+}(2,8 \text{ MeV})$ becsapódásnál a protonbombázás esetén mérhetőhöz képest, különböző céltárgyak esetében. Ez az M-héjvakanciák keletkezésének relatív fontosságával magyarázható ebben a bombázóenergia-tartományban. Az eredmények alapján az ionizált atomok vakancia-konfigurációjáról kaphatunk információt. Ugyanakkor az eredmény a direkt Coulomb-kölcsönhatás bizonyítéka többszörös ionizációs folyamatokban. Egyébként a kísérleti adatainkat megfelelő számítások hiányában nem tudtuk kvantitatív elméleti eredményekkel összehasonlítani.

A hetvenes évek végétől, a nyolcvanas évek elejétől kezdve nem csak a mi csoportunk, de intézetünk más egységei és japán intézmények között is egyre kiterjedtebb és intenzívebb lett az együttműködés. Jelenleg az Atomfizikai Főosztálynak négy japán intézménnyel van konkrét kutatási kapcsolata (Bio-Nano Electronics Research Center, Tokyo University; Graduate School for Science, Chiba University; University of Miyazaki; Department of Materials Science and Engineering, Kyoto University). Az együttműködés fontosságának illusztrálására említjük meg, hogy az Atomfizikai Főosztálynak a fentiekén kívül még több mint húsz intézménnyel van kutatási együttműködése Európában, Észak- és Dél-Amerikában.

Az ATOMKI konkrét japán együttműködéseinek száma viszont mintegy húsz, és ebben éppúgy benne vannak japán kutatóintézetek (pl. RIKEN), mint egyetemek (pl. Hokkaido University). Természetesen számos hazai tudományos intézménnyel és iparvállalattal is együttműködünk, nemcsak külföldi partnerekkel.

A közös japán–magyar szemináriumok célja – a gondolatok és tapasztalatok cseréjén túl – a konkrét kutatá-



3. ábra. K_{β}/K_{α} viszony $N^{+}(2,8 \text{ MeV})$ bombázás esetén a proton becsapódásnál meghatározott értékhez képest, $E/\lambda U_M$ függvényében, különböző céltárgyak esetében. E a lövedék energiája, λ a lövedék tömege és U_M az érintett M-héj átlagos kötési energiája.

si együttműködés elősegítése. Reméljük, hogy a 2008. évi közös Japán–Magyar Szeminárium is még szorosabb és gyümölcsözőbb együttműködéshez és ezekben születő kiemelkedő eredményekhez fog vezetni.

Végül köszönetet mondok több kollégának is, akik segítséget nyújtottak ennek a dolgozatnak a létrejöttében, elsősorban *Gulyás László* régi munkatársamnak.

Irodalom

1. A. Szalay, *Nature* 141 (1938) 972.
2. T. Mukoyama, L. Sarkadi, D. Berényi, E. Koltay, *J. Phys. B: Atom Molec. Phys.* 11 (1978) 709.
3. D. Berényi, *Bull. of the Inst. for Chem. Res., Kyoto University* 57 (1978) 139.
4. T. Mukoyama, L. Sarkadi, D. Berényi, E. Koltay, *J. Phys. B: Atom. Molec. Phys.* 13 (1980) 2773.
5. R. Shimizu, D. Berényi (szerk.): *Proc. Japan–Hungary Joint Seminar on Physics in Modern Science and Technology, 23–28 March, 1998, Budapest – Debrecen*. JSPS, Tokyo, 1998.
6. J. Kanamori, D. Berényi (szerk.): *Proc. Second Japan–Hungary Joint Seminar on Physics in Modern Science and Technology – Frontier of Photon Science. May 13–17, 2002*. Int. Inst. for Adv. Studies, Kyoto, 2002.
7. L. Gulyás, J. Kanamori, R. Shimizu (szerk.): *Proc. 3rd Japan–Hungary Joint Seminar on Physics in Modern Science and Technology – Progress in Science and Technology with Particle and Photon Beams. Oct. 8–12, 2007. Debrecen – Szeged – Budapest*. Int. Inst. for Adv. Studies, Kyoto, 2008.

KÉTSZÁZ HÓNAP

200 hónap már jegyezhető idő. Nagyjából tizenhét év, az emberi generációs idő fele. Legalább ennyi időt jelent a *Fizikai Szemle* 200 egymást követő példánya, ami *Kármán Tamás* műszaki szerkesztésében készült. Aki kíváncsi rá, hogy mennyit okosodik, ügyesedik egy lelkiismeretes fizikus ennyi idő alatt, az lapozza át ezeket a példányokat.

Mi pedig ebben a kétszázadik számban megköszönjük ezt a Tamásnak is bevallottan tetsző, az olvasóknak pedig örömet jelentő munkát. Kívánjuk, hogy ne fáradjon bele, hátha összejön még egyszer ennyi!

*Turiné Frank Zsuzsa,
Tóth Kálmán, Füstöss László*



CSAK A DIÁK TUDJA

Edwin F. Taylor
Massachusettsi Műszaki Egyetem (MIT)
Fizika Tanszék, Cambridge, Massachusetts

„Diákok!

Van egy problémánk, amelynek megoldásában csak ti segíthettek. Idestova 25 éve írjuk ezt a tankönyvet. Ez alatt az idő alatt úgy hozzászoktunk a relativitáselmülethez, hogy már nem látjuk a hibákat a szövegben. Csak ti, akik újak vagytok a témában, tudjátok felismerni, hol nem segít a szöveg a megértésben. Világszínvonalú szakértők vagytok ebben! Kérünk, segítsetek a szakértelmeitekkel!

Miközben olvassátok a szöveget, készítsetek magatok mellé egy üres papírlapot. Jegyezzétek le a problémás részeket, ahogy felbukkannak, oldalszámmal együtt! Ha nem tudtok rájönni, mi nem stimmel, azt is mondjátok el nekünk! Ha egy későbbi rész tisztázza a dolgokat, egyszerűen ezt is adjátok hozzá a megjegyzésekhez. Ne rádiózzatok ki, ne húzzatok át semmit: mindkét bejegyzés hasznos. Minden fejezet végén írjátok le, milyen általános nehézségeitek vannak, és milyen kérdésekre szeretnétek választ kapni. Ne korigáljátok, és ne tisztázzátok le a jegyzeteiteket; nagyon fontos, hogy spontán bejegyzések legyenek, amelyeket az olvasás percében vetettetek papírra.

A helyes hozzáállás a következő: ha nem értetek valamit, az a *mi* hibánk. Segítsetek pontosan feltérképezni, hol nem üti meg a mértéket a szöveg!

Aznap, amikor az olvasási feladat lejár, adjátok be az egyes fejezetekről írt jegyzeteiteket. Az oktató egyenként válaszolni fog minden egyes olvasónaplóra.

A vak ács példázata. Olyanok vagyunk, mint egy ács, aki 25 évig dolgozott egy ház felépítésén. Ez idő alatt az ács látása lassan megromlott, és most már egyáltalán nem látja a házat. A ház lakóira kell hagyatkoznia, hogy jelentsék neki a hibákat: »több konyhaszekrényre van szükségünk«, vagy »beázik a hálószoba«. Az ács vak ugyan, de még mindig hozzáértő szakmunkás, aki a legtöbb problémát képes megoldani, sőt néhány olyan dologban is kiismeri magát, amelyet a lakók nem tudnak, például hogy pontosan hol szivároog át a víz a tetőn. Viszont a vak ács csak akkor tudja megjavítani a dolgokat, ha a lakók felhívják rá a figyelmét.

Legyetek szívesek, és segítsetek befejezni ezt a házat. Köszönjük.”

A fenti felhívást különböző formákban évek óta megkapták a relativitáselmélet kurzusban résztvevő diákok, miközben *John Archibald Wheeler*rel a *Tér-időfizika* című könyvünk második kiadásának zárt körben

Megjelent az *American Journal of Physics* 1992. márciusi számában. A szerző és a folyóirat szíves engedélyével közöljük. Fordította Bokor Nándor.

terjesztett vázlatainak sokaságán dolgoztunk. Vég-eredményben forradalmi változáson mentek át a diákokkal, a tanítással és a tankönyvekkel kapcsolatos fogalmaim. Javaslataim támadtak az *American Journal of Physics* számára is.

Diákok és oktatás

Van egy aranyat érő pillanat, amikor a diák (bömbölő CD-játszó mellett) leül, kinyitja a tankönyvet, és először kezdi el olvasni – mielőtt ez a pillanat létrejön, a kiadó a könyv megjelentetésére és reklámozására dollár száz- ezreket, szegény szerző pedig számolatlan órányi erőfeszítést pazarol. Erről az aranyat érő pillanatról mégsem tudunk szinte semmit. Miért? Mert a diák nem számol be róla. Miért? Mert szorong attól, hogy felfedje magát; fél panaszkodni olyasvalakinek, akitől osztályzatot fog kapni; önmagát hibáztatja, ha nem ért valamit; azt hiszi, hogy a tankönyvírók és a professzorok mindent tudnak; alábecsüli azt a pótolhatatlan képességét, amellyel meglátja, mi segíti elő a megértést, és mi nem. Rádadásul meg sem kérdezzük.

Kényszeríteni nem lehet a diákokat arra, hogy megosszák velünk bizalmas gondolataikat, bőséges jutalomban viszont lehet őket részesíteni, ha mégis így tesznek. A csoportomba járó diákok, ha minden egyes (a fentiek szerinti) olvasónaplót az olvasási feladat határidejének lejárása napján beadják, egy teljes jeggyel jobb osztályzatot kapnak félév végén. (A jobb osztályzat csak a határidő betartásán és a beadott olvasónaplók *számán* múlik, a tartalmukon nem.) Minden egyes olvasónaplót elolvasok, írásban egyenként válaszolok rájuk, és a következő órán visszaadom őket. Ennek a második órának a jelentős része azzal telik, hogy a diákok által jelzett nehézségeket megbeszéljük.

Kérjük meg – ténylegesen kérjük meg – a diákokat, mondják el, mit gondolnak! Azután: biztonsági öveget becsatolni! Özönlenek be a tankönyvről írt részletes kommentárok, keveredve az előadásokról, a kísérletekről és az osztályozásról szóló véleményekkel. A neheztelés, a csalódottság, a düh időnkénti megnyilvánulásai eszünkbe juttatják saját diákeveinket. A felszabadult megjegyzésekből világossá válik, hogy sok diák a saját szellemi útját járja, nem a miénket. Gyakran merőlegesen elmasíroznak arról az útról, amelyen vezetjük őket, és inkább a saját kiabáló belső hangjukra hallgatnak, mint a mi távoli motyogásunkra. Hogyan reagáljunk mindeyre? Az oktató írásbeli válasza nem arra való, hogy megbántottságának, vagy

akár csak értékítéleteinek hangot adjon. Legyen mindig pozitív, a problémákat komolyan vevő, sugalljon bátorítást, és olyasvalaki háláját, akit megtszél a diákok személyes bizalma.

És mégis ezzel az első lépéssel kezdetét veheti a tanítás! Először is, az egyéni kérdések egyéni válaszokat kapnak, személyre szóló levél formájában. Másodszor, a személyhez szóló, de névtelen „vannak közöttetek, akiknek problémát okoz...” fordulattal az oktató egymás közötti vitára készíti a tanteremben a diákokat. Eközben, anélkül hogy beleszólna a vitába, felméri, hogy egy-egy adott probléma mennyire lehet általános, és – a diákok, mint felfedező társak segítségével – feltérképezi, milyen ösvény vezet el a hegyek között a megértéshez. Harmadszor, a bennünket elárasztó adatokból képet alkothatunk a jobb teljesítményre ösztökélő szomorú realitásról, és – mint esetben életben először – képesek vagyunk megítélni, van-e évről évre bármilyen előrelépés a tankönyvvel, a tantermi órákkal, a laboratóriummal, a kísérletekkel, a számítógépes segédletekkel kapcsolatban.

Mi a véleménye a diákoknak az olvasónaplókról? Íme egy tipikus évfolyam félévvégi névtelen kérdőívre adott válaszai:

Az olvasónaplók arra sarkalltak, hogy időre elvégezzem az olvasási feladatot.

egyáltalán nem ért egyet						teljesen egyetért
	1	2	3	4	5	
válaszok száma:	7	1	6	13	24	átlag: 3,9

Az olvasónaplók személyesebbé tették kapcsolatot az oktatóval.

egyáltalán nem ért egyet						teljesen egyetért
	1	2	3	4	5	
válaszok száma:	3	1	13	11	20	átlag: 3,9

Az olvasónaplókban lejegyzett problémák óra alatti megbeszélése

nem volt hasznos számomra						nagyon hasznos volt
	1	2	3	4	5	
válaszok száma:	3	2	14	14	16	átlag: 3,8

Anekdotikus bizonyítékok szerint a diákoknak más szempontból is javára szolgál a módszer. Sokan azt mondták, új intenzitással olvassák a tankönyvet, mások arról számoltak be, hogy a kérdések leírása segít nekik az anyag megértésében. Mint az egyik diák fogalmazott, „Az egyik furcsaság, amit észrevettem, az az, hogy azáltal hogy az ember *leírja* a kérdéseket... máris tisztábban kezdi látni a dolgokat. Rendszerint az történik, hogy elkezdem leírni a kérdésemet, és mire eljutok odáig, hogy elég világosan megfogalmazom, addigra már meg is oldottam.”

Ezek közül a jótékony hatások közül egyikhez sem szükséges az, hogy az oktató legyen az órán használt szöveg szerzője. Én például akármilyen kurzust tanítok, felkérem a diákokat olvasónapló-írásra. Az elolvasásuk és a megválaszolásuk sok időmet elveszi – 50

fős csoportot véve minden egyes olvasási feladat 3-4 órát – viszont a diákok tanúsága szerint az említett összes előny jelentkezik. Minden tanár, aki ezt a cikket olvassa, az olvasónaplók segítségével nagyra becsült kollégává teheti a diákokat, akik elismert szerepet játszanak a tantermi és azon kívül zajló oktatás alakításában.

Tankönyvek

A tankönyvszerző számára lélegzetelállító – és alázatra nevelő – élmény, amikor az olvasónaplókból kinyert részletes anyag elárasztja. A diákok, explicit módon vagy tanácsalanságukkal, rámutatnak rengeteg olyan helyre, ahol az érvelés téves, nem a tárgyhöz tartozó, vagy egyszerűen hiányos. Kétértelmű megfogalmazások, kihagyások, ügyetlen szófordulatok, elavult kifejezések, sajtóhibák, kellemetlen oldalrendezések – egy hiba sem marad megtorlatlanul. Egy-egy zavaros fájdalomkiáltás újra és újra részletes önvizsgálathoz és a fogalmak alapvető tisztázásához vezet. Egy-egy közvetlen javaslat időnként átfőrné egy bekezdést, vagy akár egy egész fejezetet.

Nem az összes pedagógiai nehézséget győzik le az olvasónaplók. A relativitáselmélet így is félelmetes. A diákoknak így is küszködniük kell, hogy ugyanazt a világot különböző vonatkoztatási rendszerekből nézzék. Meggyőzni őket az egyidejűség relativitásáról továbbra is majdnem lehetetlen. Alkalmas kutatási témák ezek a hivatalos oktatáskutatás számára!

Hatással lehetnek-e az olvasónaplók a főbb fizika-tankönyvekre? Az a szerzők jóindulatán és befogadó készségén múlik. Tudjuk, hogy legalábbis a bevezető jellegű tankönyvek folyamatos átdolgozás alatt állnak. Az én MIT-s csoportom *Hans C. Ohanian* bevezető fizikatankönyvét használta. A diákok engedélyével jó néhány kötegni olvasónaplót elküldtünk neki. Lelkesen válaszolt: „Nagyon örülök, hogy ekkora segítséget kapok a diákjaidtól a homályos és félrevezető részek megtalálásában.” Képzeljük el, amint a diákok világosra passzív befogadókból a tankönyveik tökéletesítésében aktívan résztvevő közreműködőkké válnak!

Javaslatok az *American Journal of Physics* számára

Folyóiratunkban időnként megjelennek „használat utáni” recenziók különböző tankönyvekről. Ezeket a recenziókat olyan tanárok írják, akik már használták az új könyvet a tantermi oktatásban. Nem lehetne-e mostantól fogva a „használat” fogalmába belevenni a diákok olvasónaplóit is, amelyeknek a részleteit, a diákok hozzájárulásával, maga a recenzió is közölné?

Amikor ötleteket kerestem relativitáselméletbeli gyakorló példákhoz, 20 évnyi cikket lapoztam szisztematikusan végig az *American Journal of Physics*-ből. Valóságos kincsesbánya, a relativitáselméletben és sok más témában is! És mégis, bár az alap gondolat

minden cikkben elég világos, a részletek gyakran érthetetlenek. A Doppler-eltolódás egyik „kétsoros” levezetése felett órákig törtem a fejem, míg végül írtam a szerzőknek, akik azt válaszolták, hogy érvelésük olyan „előzetes feltételezésen alapul, amely a cikkírás idején, úgy látszik, áthatotta a tudatunkat”. Több megkeresett szerző hasonlóan reagált. A diákok által írt olvasónaplók napok, sőt talán percek alatt fényt derítettek volna ezekre a nehézségekre. A dolog kétségtelenül úgy zajlik, hogy a tipikus AJP-szerzőnek támad egy ragyogó cikkötlete, azt megírja, és benyújtja publikálásra. Hogy a cikk mennyire hatásos a diákok számára, az nyilvánvalóan előadás alatt derül ki, ha egyáltalán kiderül, ahol a diákok ahhoz vannak szokva, hogy udvariasak és passzívak legyenek.

El tudná-e fogadni a Szerkesztő a diákok által írt olvasási naplók eredményeit, mint opcionális bizonyítékot arra nézve, hogy egy adott cikkben leírt „új megközelítésmód” eléri-e a célját? Meggyőző lehet-e egy ilyen bizonyíték? Elrontaná-e ez a felhasználási mód az olvasási naplók alapvetően intim jellegét? Mi-

előtt az ilyen kérdésekre válaszolhatnánk, általánosabb tapasztalatokra van szükségünk erről a segéd-
eszközről.

*Körbe-körbe táncolunk, és feltételezünk,
De a Titok közepén ül, és tudja.*

– Robert Frost

A diák közepén ül. A diák tudja. Miért is ne kérdeznénk meg, és tanulnánk meg mi is tőle – az egyetlen-től, aki meg tudja tanítani?

Köszönetnyilvánítás

A beadandó olvasónaplók alapötlete *Steven Cornell* professzortól származik, aki szerint az ötlet „binnen volt a levegőben” a Harvard Egyetem Szociológia Tanszékén. A szokásos tantermi órák mellett az e-mailes kurzusokban résztvevő diákoktól is tömegével érkeztek olvasónaplók a világ minden részéről. Ezeknek az e-mailes kurzusoknak az ötlete a Nyugat-Floridai Egyetemen dolgozó *Richard C. Smith*-től származott, ő szervezte, és igazgatta is őket. Ehhez a cikkhez is kaptam tőle javító észrevételeket. Mint ahogy a Harvard Egyetem Továbbképző Intézetében általam tanított relativitáselmélet-csoporttól is – akik azzal segítettek, hogy az olvasónaplókról írtak olvasónaplókat!

A XVIII. ÖVEGES JÓZSEF FIZIKAVERSENY ORSZÁGOS DÖNTŐJE

Juhász Nándor
Szeged, Rókusi Általános Iskola
Ósz György
Ács, Jókai Mór Általános Iskola
Vida József
Eger, Eszterházy Károly Főiskola

A verseny krónikája

2008. május 23.

A XVIII. Öveges József Fizikaverseny országos döntőjének idén is – az alapításának 100. évfordulóját ünneplő, *Pro Urbe-díjjal* kitüntetett – győri Kazinczy Ferenc Gimnázium és Kollégium adott otthont. A sikeres rendezésben jelentős szerepet vállaltak, mint társrendező: Győr-Moson-Sopron Megye Közgyűlése, Győr Megyei Jogú Város Polgármesteri Hivatala, Győr-Moson-Sopron Megyei Pedagógiai Intézet, Kazinczy Ferenc Gimnázium igazgatósága.

A városháza impozáns dísztermében megnyitó ünnepéllal kezdetét vette a három napos, országos fizikaverseny. A megjelenteket Ósz György a szakcsoport vezetőségének tagja, a versenybizottság titkára köszöntötte. *Kádár György*, az ELFT főtitkára köszöntőjében szólt a fizika szépségéről, a megismerés háttartalanságáról, az emberi gondolkodásban, tudásban rejlő hatalmas energiák jelentőségéről és a jövő természetkutatói előtt álló feladatokról.

Göncz Kinga (édesanyjának nagybátyja volt Öveges József) a család képviselőjében köszöntötte a versenyzőket. A természettudományok azon kiemelkedően fontos szerepét hangsúlyozta, amit a jövőben

betölthetnek hazánknak az európai fejlett országok szintjére való felzárkózásában.

A versenyzők és kísérőik a megnyitó ünnepélyt követően városnézésen vettek részt.

2008. május 24.

A délelőtti folyamán teszt jellegű feladatsort, és két számításos feladatot kellett megoldani. Délután önállóan elvégzett mérő kísérlet, egy bemutatott kísérlet elemzése és fizikatörténeti keresztretjtvény megoldása következett.

A döntő feladatsorának összeállításában *Vida József* vezetésével *Csákány Antalné*, *Kövesdi Katalin*, *Hóbor Sándor*, *Horváthné Fazekas Erika*, *Pápai Gyuláné*, *Wöller László*, *Gyimesi Éva* és *Pál Zoltán* vett részt. A versenybizottság titkárát, Ósz Györgyöt *Fülöp Viktorné*, *Poócza József* és *Juhász Nándor* segítették. Ők szervezték a döntőt és a hozzá kapcsolódó rendezvényeket.

A zsűri elnöke *Hadházy Tibor*, tagjai *Maráz Lászlóné*, *Pörtl János*, *Nickházy Lászlóné*, *Kleizerné Kocsis Mária*, *Horváthné Fazekas Erika*, *Lévainé Kovács Róza*, *Pál Zoltán*, *Slezák Zsolt* voltak. A zsűri ellenőrei *Szénási Istvánné* és *Krakó László* voltak.

A verseny három napja alatt felügyelői és szervező feladatokat láttak el: *Horváthné Perger Zsuzsanna*,



Torricelli-kísérlet a tűzoltóautó kosarában.¹

Antoni Istvánné, Vidáné Papp Csilla, Várhegyi Lászlóné, Wernerné Pöbeim Judit, Wöller Lászlóné.

A délelőtti folyamán a kísérőtanároknak *Kiss Gyula*, az ELFT Általános Iskolai Oktatási Szakcsoportjának elnöke adott tájékoztatást az Öveges-verseny eddigi fordulójának szervezési gondjairól, eredményeiről. Ezt követően a felkészítő tanárokkal eszmecsere folytattak a fizikatanítás jelenéről, jövőjéről és a tehetség-gondozás lehetőségeiről.

Még a vacsora előtt a tanulók és kísérőik átsétáltak a városi Tűzoltóságra, ahol *Mészáros Péter* tanár úr (Győr, Krúdy Gimnázium) szervezésében tanúi lehettek a vízzel bemutatott Torricelli-kísérletnek, amit egy bátor versenyző lány közreműködésével hajtottak végre a tűzoltóautó több, mint 10 méter magasra fel-emelt kosarában.

Vacsora után kellően elcsigázva, de lankadatlan érdeklődéssel vonultak át a versenyzők és kísérőik a Révai Gimnázium dísztermébe, ahol *Tóth Pál* tanár úr a FIZIBUSZ „vezetője” tartott kísérletekkel illusztrált igen érdekes előadást. Köszönet érte az ELMŰ-nek és az ÉMÁSZ-nak.

2008. május 25.

Vasárnap reggel fél kilenckor a városháza dísztermében Horváthné Fazekas Erika, a szakcsoport vezetőségének tagja vezette le az eredményhirdetést és díjkiosztást. *Sólyom Jenő* akadémikus, az ELFT elnöke és *Ottófi Rudolf*, Győr város alpolgármestere köszöntő szavai után *Vida József* a versenybizottság nevében, *Hadházy Tibor* a zsűri nevében elemezte, értékelte a megoldásokat.

¹ A fényképeket Juhász Nándor és Pál Zoltán készítették.



Sólyom Jenő, az ELFT elnöke gratulál Bolgár Dánielnek, a verseny első helyezettjének.

Eredmények, díjazottak

Az idei versenyen a zsűri a legjobb 33 versenyzőt díjazta (77% feletti teljesítményt). 14-en dicséretben részesültek, 12-en III. díjat, 6-an II. díjat, és egy tanuló kapott I. díjat.

Az ELFT Általános Iskolai Szakcsoportja által erre a célra alapított *Öveges József Érem* is már kilencedik éve, hogy gazdára talált; a verseny első helyezettje, *Bolgár Dániel*, aki 95 pontot ért el a maximális 100-ból, a PTE Deák Ferenc Gyakorló Gimnázium és Általános Iskola tanulója és felkészítő tanára, *Sebestyén Klára* kapták.

II. díjat kaptak

Galgóczi Gábor (89 pont), Radnóti Miklós Gimnázium, Dunakeszi, felkészítő tanára: *Tölgyesiné Irmes Marianna*

Tilk Bence (85), Felsővárosi Általános Iskola Balassi Bálint Tagiskola, Eger, *Kiss Gézáné*

Vona István (85), Ráday Pál ÁMK, Harta, *Eltiganiné L. Eszter*

Bozzai Dániel (85), Városmajori Gimnázium, Budapest, *Ábrám László, Jáger Csaba*

Kertész Dávid (84), Munkácsy Mihály Általános Iskola, Pápa, *Megyeriné Borsó Éva*

Sándor Tímea (84), Veres Péter Gimnázium, Budapest, *Csaba György, Erdősi Katalin*

III. díjat kaptak

Kovács Gábor Ferenc (83), Árpád Gimnázium, Tata-bánya, *Szabó József*

Deák Norbert (83), Báthory István Elméleti Líceum, Kolozsvár, *Popa Márta*

Suri Bálint (82), Széchenyi István Gimnázium, Sopron, *Czupy Judit*

Vértesy Gáspár (82), Belvárosi Általános Iskola és Alapfokú Művészetoktatási Intézmény, Dombóvár, *Embersitsné Bóta Éva*

Szigeti Bertalan (82), Vetési Albert Gimnázium, Veszprém, *Kovács Ilona*

Bacher Viktor (82), Liszt Ferenc ÁMK Általános és Alapfokú Művészetoktatási Intézmény, Mecseknádasd, *Schwarz Jánosné*

Göncz Csaba András (82), Zrínyi Miklós Általános Iskola, Nagykanizsa, *Lelkes Andrásné*

Bozsik Máté (81), Kodály Zoltán Általános Iskola, Tatabánya, *Plavec Jánosné*

Inhoff Gergő (81), Sztárai Mihály Gimnázium, Tolna, *Oberländer Sándorné*

Romvári Petra (81), Váci Utcai Ének-zenei Általános Iskola, Budapest, *Hammer Mariann*

Farkas Martin (80), Csány-Szedrey ÁMK Belvárosi Tagiskola, Keszthely, *Fölföldiné Katona Erika, Farkas László*

Szabó András (80), Petőfi Sándor Általános Iskola, Vác, *Detrené Kékesi Márta*

Minden díjazott könyvcsomagot és az oktatási miniszter által aláírt oklevelet kapott.

Életpályájukat lehet, hogy éppen a versenyekre való felkészülés során alakul világszemléletük, szorgalmuk, sikerélményük és a beléjük táplált munkaszerepet, tudománytisztelet határozza meg.

A verseny feladatsora

Tesztek

1. A szoba asztalára két egyforma, vízzel félig telt üvegpoharat tettünk. Az egyik pohár kívülről, a másik belülről párasodik be. Hogyan lehetséges ez?

a) Az egyik pohárban forró, a másikban jéghideg víz van. A meleg vizet tartalmazó pohár belülről, a hideg vizet tartalmazó pedig kívülről párasodik be.

b) A tapasztalatok oka az, hogy mindkét pohárban szobahőmérsékletű víz van, de a két pohár falvastagsága különböző.

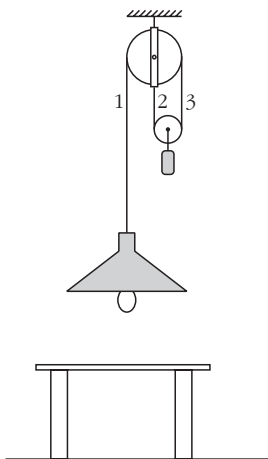
c) Az egyik poharat a hideg erkélyről, a másikat a meleg sütőből hoztuk be. Ez utóbbi párasodik be kívülről.

d) A két pohár különböző méretű. A nagyobb méretű pohár belülről, a kisebbik kívülről párasodik be.

2. Egy cipőjavító műhelyben a cipész munkaasztalát megvilágító lámpatestet két csigából álló szerkezettel lehet lejjebb engedni, vagy feljebb emelni. A rendszer bármely helyzetben egyensúlyban van. Minősítsd az állításokat, ha a mozgósíga tömege elhanyagolható az ellensúly tömegéhez képest!

a) Mindhárom zsinórt ugyanakkora erő feszíti, így az ellensúly kétszer nehezebb a lámpatestnél.

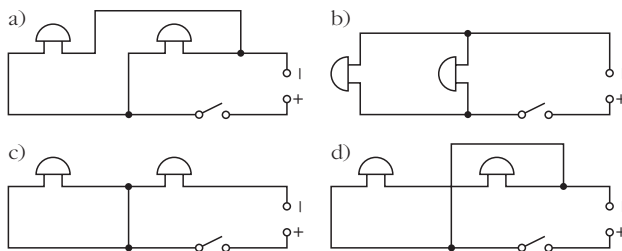
b) A mozgósíga mindkét zsinórját ugyanakkora erő feszíti, ezért a lámpatest fele akkora súlyú, mint az ellensúly.



c) Az 1-es és a 3-as zsinórt ugyanakkora erő feszíti. Ugyanez mondható el a 2-es és a 3-as zsinórról is. Ennek értelmében az ellensúly és a lámpatest tömegaránya 2:1.

d) Az ellensúlyt két zsinór tartja, a lámpát csak egy. Emiatt lehet a lámpatest harmad annyi súlyú, mint az ellensúly.

3. Egy ház előszobájában és a házhoz közeli melléképületben lévő műhelyben is elhelyeztek egy-egy elektromos csengőt. Az alábbi kapcsolási rajzok közül melyik mutatja helyesen azt, hogy a kapunál levő nyomógombbal egyidejűleg működtethető mindkét csengő?



4. Egy lombikot $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletű vízzel teletöltöttünk, majd lezártuk egy olyan dugóval, amelynek a közepét átfúrtuk. A furaton keresztül dugtunk egy szorosan beleilleszkedő, vékony üvegcsövet. Az üvegcsőben a víz szintje – az ábrának megfelelően – felemelkedett.

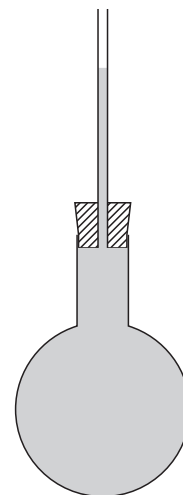
Mi történik a csőben levő víz szintjével, ha a lombikot egy nagy kád jeges vízbe tesszük, és megvárjuk, míg a lombikban levő víz hőmérséklete közel $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -sá válik?

a) Az üvegcsőben rövid ideig emelkedik a víz szintje, majd süllyed, és megállapodik a kezdeti szint alatti magasságban.

b) Az üvegcsőben folyamatosan csökken a víz szintje mindaddig, amíg a lombikban is közel $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ lesz a víz hőmérséklete.

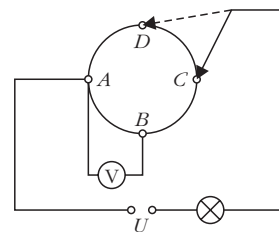
c) Az üvegcsőben először nő a víz szintje, majd csökkenni kezd. Egy idő múlva ismét nő a vízszint, mindaddig, amíg a lombikban lévő víz hőmérséklete el nem éri a közel $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot.

d) Az üvegcsőben folyamatosan emelkedik a vízszint.



5. Egy nagy ellenállású króm–nikkel vezetődarabból gyűrűt formálunk az alábbi rajzon látható módon, majd az A és C pontjával áramkörbe kapcsoljuk.

Ezt követően az eredetileg C ponthoz kapcsolódó érintkezőt áthelyezzük a D pontba, a szaggatott vonallal jelzettnek megfelelően.



Az érintkező áthelyezése után:

- a) Az izzó nagyobb fényerővel világít.
- b) A voltmérő nagyobb feszültséget mutat.
- c) A B és C pontok közti gyűrűrészen a teljesítmény kisebb lesz.
- d) A CD gyűrűrész magasabb hőmérsékletű lesz, mint az AD gyűrűrész.

6. Hogyan érhető el 2 síktükör segítségével, hogy a másodikról visszaverődő fénysugár párhuzamos legyen az első tükörrre beeső fénysugárral?

a) A két síktükört – tükröző felületükkel befelé – egymásra merőlegesen úgy helyezük el, hogy az első tükörrre eső fénysugár az első tükör síkjával 45° -os szöveget zárjon be.

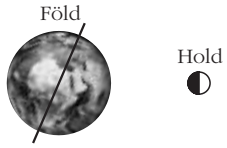
b) Tükröző felületükkel befelé, egymásra merőlegesen elhelyezett két síktükör esetében a második tükörről visszavert fénysugár mindig a beeső fénysugárral párhuzamosan verődik vissza.

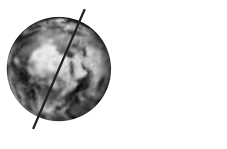
c) A két síktükört – tükröző felületükkel befelé – egymással tetszőleges nagyságú tompaszöveget bezáróan helyezük el. Ha a fénysugár az első tükörrre 45° -os beesési szögben érkezik, akkor a másodikról visszavert fénysugár párhuzamos lesz az első tükörrre érkezővel.


d) Ha két síktükört tükröző felületükkel egymással párhuzamosan szembefordítunk, úgy, hogy az egyikre tetszőleges szögben érkező fénysugár a visszaverődést követően ráeshessen a másik tükörrre, akkor a második tükörről visszavert fénysugár párhuzamos lesz az elsőre beesővel.


7. Írd be az állítások előtti pontsorba az általad megfelelőnek tartott ábra sorszámát!

...Holdfogyatkozást észlelünk a Földön, Európában nyár van.

1.  napsugárzás

2.  napsugárzás

3.  napsugárzás

4.  napsugárzás

... Ausztráliában nyár van, a Föld bizonyos részein teljes napfogyatkozást figyelhetnek meg.

... A Föld a Nap és a Hold közé kerül, a déli féltekén tél van.

... Magyarországon, januári éjszakán holdfogyatkozásban gyönyörködhetnek az emberek.

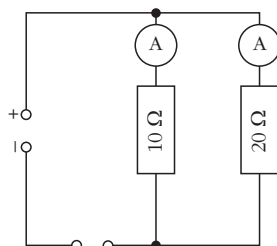
Értékelés

A tantervi témakörök mindegyikét reprezentálta legalább egy tesztkérdés. Mindegyik feladat jó megoldásával 4, így összesen 28 pontot lehetett szerezni. A legtöbb nehézséget az 5. a 6., és a 7. kérdés jelentette. A 28 lehetséges pontot ketten érték el, a legkevesebb pontot szerző résztvevő 32%-os eredményt ért el.

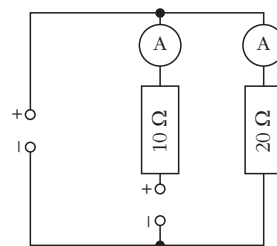
Mindössze két tanuló nem érte el az 50%-ot, 45%-uk 75–86% között, 40%-uk viszont 90% felett teljesített. A tanulók teszten elért átlaga kerekítve 84%.

Számításos feladatok

1. Párhuzamosan kapcsolt 10Ω és 20Ω nagyságú ellenállások áramkörében két 6 V feszültségű áramforrás két különböző módon van bekötve (lásd az 1. és a 2. ábrát).



1. ábra



2. ábra

Határozd meg a négy mérőműszer által jelzett értéket!

Értékelés

Ezzel a feladattal 8 pontot lehetett szerezni. Megoldásában 4,7 átlagpontot értek el a versenyzők, ami kerekítve 59%-os teljesítménynek felel meg. Hibátlanul csak a tanulók 13%-a oldotta meg a feladatot. Kevesen jöttek rá, hogy logikai következtetésekkel is el lehet jutni a megoldáshoz.

Munka közben



Ez a feladat azért is okozott sokaknál problémát, mert szembe kapcsolt telepekkel kapcsolatos feladatot keveset oldottak meg. (Ilyen jellegű feladatot – legalábbis a döntőig eljutottak – kellett, hogy lássanak.)

2. Három azonos alapterületű, különböző anyagú hengerről az alábbiakat tudjuk:

- térfogataik aránya: 1 : 2 : 3;
- a három henger átlagos sűrűsége $2566,67 \text{ kg/m}^3$;
- az egyik henger rézből van, sűrűsége $8,9 \text{ kg/dm}^3$;
- a legnagyobb térfogatú hengernek a legkisebb a súlya;
- a három henger együtt, ha mindhárman teljesen víz alatt vannak, 54 dm^3 térfogatú vizet szorít ki egy víz-teli medencéből;
- a közép magas henger súlya 450 N ;

Mekkora a legnagyobb térfogatú henger anyagának a sűrűsége?

Értékelés

A zsűri várakozásaival szemben ennek a feladatnak a megoldottsága lett a legmagasabb. A lehetséges 21 pontból 19,7-es átlagot érték el a versenyzők, ami 94%-os eredménynek felel meg. Összehasonlítva a számításos (1) feladattal, megállapíthatjuk, hogy a mechanikai problémák közel sem jelentenek akkora nehézséget, mint az elektromosságtaniak.

Kísérletelemző feladat

Egy 600 és egy 1200 menetű elektromágnes erősségét vizsgáljuk három egymást követő kísérletben.

Korábban megvizsgáltuk, és megállapítottuk, hogy mindkét tekercs rézhuzalból van, továbbá azt, hogy a 600 menetű tekercs huzala vastagabb, mint az 1200 menetűé.

Bemutató a kísérletelemző feladathoz



A három egymást követő kísérlet az alábbi volt:

Az első kísérletben a kísérletet bemutató tanár az áramforrásra sorosan kapcsolt két elektromágnessel egy vasszőgeket tartalmazó tálcából vasszőgeket emelt ki.

A második kísérletben egyszer kisebb, másszor nagyobb erősségű árammal átfolyt tekercsekkel emelt ki szőgeket a tálcából.

A harmadik kísérletben párhuzamosan kapcsolta a két elektromágnessel, és most azokkal így emelt ki szőgeket a tálcából.

Az elektromágnesek által vonzott szögcsomókat az asztalon egymástól elkülönített helyre rakta ki.

(A rávezető kérdéseket követően a versenyzőknek arra kellett választ adni, hogy soros kapcsolásnál miért a nagyobb menetszámú, párhuzamos kapcsolásnál miért a kisebb menetszámú elektromágnes az erősebb.)

Értékelés

A tanulók teljesítményszintjének átlaga alig emelkedett 50% fölé, vagyis ennek a feladatnak a megoldottsága átlagosnak mondható. Kiemelkedően jó megoldást egyetlen versenyző sem adott. Hét versenyző teljesített 85% fölött, a tanulók 29%-ának a teljesítménye viszont 40% alatt maradt.

A megoldásokból kiderült, hogy a feladat megoldásához szükséges ismeretekkel (az elektromágnes erőssége kapcsolatban van a tekercs menetszámával és a tekercs meneteiben folyó áramerősséggel) a tanulók többsége tisztában volt, de az arányosságot nem fogalmazták meg, márpedig a kísérlet menetéből erre is következtetni lehetett volna.

Kísérleti (mérő) feladat

a) Határozd meg a jég olvadáshőjét a rendelkezésedre álló eszközök, anyagok segítségével!

b) A jég olvadáshője: $L_o = 334 \text{ kJ/kg}$. Mi lehet az oka annak, ha az általad kapott érték ettől eltér? Részletes indoklást adj!

Eszközök, anyagok:

- 150 ml-es műanyag mérőhenger;
- $0 \text{ }^\circ\text{C}$ -os jégkockák;
- 0,5 literes pohár vízzel;
- vízhőmérő.

A víz fajhője: $c_{\text{víz}} = 4200 \text{ kJ/kg }^\circ\text{C}$

Gondold át alaposan a teendőket, s amikor felkészültél a kísérleti feladat elvégzésére, a felügyelő tanároktól kérj olvadó jégkockákat! A rendelkezésedre álló időn belül többször is elvégezheted a mérést.

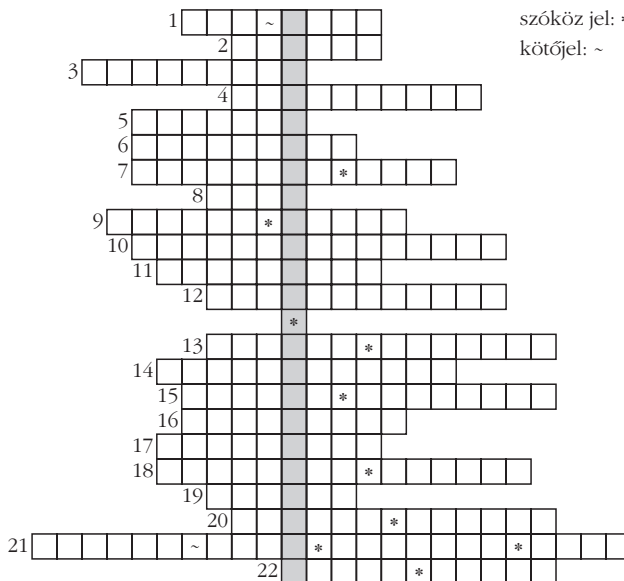
Értékelés

A 15 pontos kísérleti feladat átlag pontszáma 9,6 lett, ez 64%-os teljesítményt jelent. A feladat összeállítói tisztában voltak azzal, hogy a jég olvadáshőjének tanulókísérleti eszközökkel való mérése sok hibalehetőséget tartalmaz, a táblázatbeli értéktől nagy eltérést fog eredményezni. A mérési eljárás egyszerű, így a legtöbb versenyző megszerezte a lehetséges pontszám több mint felét a feladat megoldásában. A legtöbb tanuló teljesítménye 47–80% közé esett.

Fizikatörténeti feladat

Keresztrejtvény volt Eötvös Loránd életéből és munkásságából. A keresztrejtvény függőleges fősorában Eötvös Loránd egyik találmányának neve található, amely a vízszintes sorok beírásával fejthető meg (két szó).

A sorok meghatározásai: 1. Hely, ahol az első gravitációs terepi méréseket végezte. 2. Folyékony ásványkincs, amelyet találmánya segítségével kutatnak fel. 3. Az oktatásügyben betöltött magas tisztsége. 4. Külföldi egyetemi tanulmányainak városa. 5. Ásványkincs, aminek felkutatásában fontos szerepe van Eötvös Loránd találmányának. 6. Egyik világhírű, egyetemi fizikatanára, a spektrális analízis felfedezője. 7. Egyik találmánya, amelyet télen alkalmazott. 8. A róla elnevezett fizikai társulat mai rövidítése. 9. A dinamó feltalálója, akit Eötvös Loránd a fizikai intézet igazgatói posztján követett. 10. Ebben a minőségben kezdte felsőfokú tanulmányait még Magyarországon. 11. Itt neveztek el róla hegycsúcsot. 12. A francia kormány által adott kitüntetés. 13. A kapilláris jelenséggel foglalkozó törvény neve. 14. Egyik sportág, amit gyakran művelt. 15. Világhírű fizikus teljes neve, akinek elméletét igazolta a súlyos és tehetetlen tömeg arányosságának kimutatásával. 16. Személyéhez fűződő tudományág. 17. Heidelbergi tanára, aki a fénytán és a hangtán élettani részével ismertette meg. 18. Magasrangú tudományos tisztsége. 19. Lovának neve. 20. Édesapja teljes neve. 21. Zseniális műszerének teljes neve. 22. Édesanyja leánykori családi és utóneve.



szóköz jel: *
kötőjel: ~

Értékelés

Nemcsak a fősor, a vízszintes sorok megfejtései is pontot értek. Minden vízszintes sor megfejtésére negyed pont járt. Így a vízszintes sorok összesen 5,5 pontot értek, a fősorért 2,5 pont járt. A 8 pontot érő megoldást mindössze két tanulótól kaptuk meg. A versenyzők több mint fele 60–75% közötti teljesítményt ért el. Öt tanuló eredménye volt 25%-os, vagy kevesebb.

ÉLMÉNYBESZÁMOLÓ A MAGYAR FIZIKATANÁROK 2008. ÉVI TOVÁBBKÉPZÉSÉRŐL A CERN-BEN

Jónás Katalin
Origo Hírportál, Tudomány Rovat

Amikor idén májusban az *Origo Hírportál Tudomány Rovat*ának munkatársaként meghívást kaptam *Horváth Dezsőtől* az ideai CERN-i fizikatanári továbbképzésre, már sejtettem, hogy mesés élményben lesz részem. Am ami ezután augusztusban következett, felülmúlta minden várakozásomat. Ilyen különleges ajándék csak egyszer adódik az ember életében. Amellett, hogy testközelből megnézhettem a legnagyobb és legbonyolultabb fizikai kísérleti berendezést, amelyet ember valaha is épített, felejthetetlen hetet tölthettem negyvennégy kedves és szeretetreméltó fizikatanár társaságában. Egy kicsit visszarepültem az időben, és lélekben ismét gyereknek éreztem magam. A részecskefizikai előadások felidéztek bennem az iskolapad hangulatát, az elvégzett kísérletek a hajdanvolt fizikaórák sejtelmességét, a környező városokba tett látogatások az osztálykirándulások légkörét. Kiderült számomra, hogy a CERN-ben dolgozó részecskefizikusok nemcsak kiváló

kutatók, hanem bámulatos előadók is; hogy a kísérleti berendezések személyes megtekintésének élményét nem pótolhatja egyetlen fénykép, egyetlen film sem; és hogy a lelkesedés, a kíváncsiság, a nyitottság – ami a továbbképzés minden résztvevőjét áthatotta – hosszú időre feltölti az embert vidámsággal és optimizmussal.

Az ember látott, hallott és okult. Mindezt úgy, hogy közben önfeledten jól érezte magát. Én nem vagyok tanár, nincsenek tanítványaim, így nem élhettem meg az élmény folytatását. De gyanítom, felemelő érzés lehet, amikor egy ilyen útról hazatérve nemcsak a családtagokkal lehet megosztani a tapasztalatokat, elmesélni a benyomásokat, hanem seregnyi fiatallal is.

Írásomban szeretném bemutatni az ideit utat, hogy ezáltal azoknak a fizikatanároknak is kedvet csináljak hozzá, akik eddig még csak gondolatban játszottak el ennek a tanulmányútnak a nagyszerű lehetőségével.



Csoportkép az LHC vezérlőterme előtt

A kezdetek

A CERN rendhagyó kezdeményezése, miszerint nemzeti nyelven folyó egyhetes továbbképzéseket hirdet meg fizikatanárok részére, három évvel ezelőtt indult útjára. A ma már Európa-szerte igen népszerű program legelső résztvevői 2006 augusztusában magyarok voltak. Köszönhető mindez *Sükösd Csaba*, *Jarosievitz Beáta* és Horváth Dezső kitartó munkájának, akik azóta is minden évben megszervezik a tanulmányutat. Annak a több mint száz fizikatanárnak, aki már résztvett benne, lehet bizonyos elképzelése arról, hogy mekkora kihívást jelenthet ez a feladat. Hiszen az egyhetes program rendkívül zsúfolt: minden nap percre pontosan be van osztva, a korai reggelitől a délelőtti előadásoktól és kísérleteken át a délutáni üzemlátogatásokig bezárólag, hogy azután esténként kulturális programok lebonyolítására is maradjon egy lélegzetvételnyi idő. Ez a precíz szervezés rendkívül fontos ahhoz, hogy a hihetetlen mennyiségű látni-, tapasztalni-, és csodáltnivalóból minél kevesebb maradjon észrevétlen. De vajon hogyan is indult ez a rendhagyó továbbképzés? Sokan lehetnek erre joggal kíváncsiak, ezért megkértem Sükösd Csabát, meséljen a három évvel ezelőtti kezdetekről, illetve az idejű szervezési nehézségeiről.

„Mint annyi minden az életben, ez is véletlenek szerencsés egybeesésén múlt. Valamikor 2005 őszén Jarosievitz Bea szólt nekem, és átküldött egy e-mailt, amelyet *Mick Storr*tól kapott. Abban az e-mailben volt először szó arról, hogy a CERN főigazgatója – *Robert Aymar* – nemzeti nyelven folyó, egyhetes tanártoábbképzési programokat szeretne indítani. Az egyik »véletlen« az volt, hogy Bea 2001 nyarán részt vett a CERN angol nyelvű programjában, a három hetes *High School Teachers (HST)* programon, így rajta volt *Mick Storr* levelezési listáján. A másik véletlen az, hogy *Robert Aymar* személyesen is jól ismertem még korábbról, amikor az ITER-projekt igazgatója volt, és gyakran ültünk együtt egy EURATOM bizottsági ülésen. Sőt, amikor *Robert* leköszönt az ITER-től és elvállalta a

CERN főigazgatói székét, magyar részről én köszöntem el tőle a fúziósok által szervezett búcsúbanketten. A harmadik »véletlen« pedig az volt, hogy abban az évben választottak be az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Elnökségébe, így alkalmas volt ezt a kérdést az Elnökség elé vinni. Már ennyi véletlen is elég lenne, de lesz még néhány, amíg a dolog végre elindult.

Miután az Elnökség egyetértett azzal, hogy meg kellene próbálnunk erre az ajánlatra válaszolni és megszervezni ezt az utat, ismét csak *Bea* segítségével kapcsolatba léptünk *Mick Storr*-ral, és jeleztük, hogy szeretnénk ebben a programban részt venni. Miután a program akkor indult, nekünk kellett mindent nulláról elkezdni és kitalálni.

Először is jelentkezőkre, tanárookra volt szükség, ehhez pedig hírverésre, reklámra. *Bea* rábeszélte *Mick Storr*t, hogy jöjjön el a 2006 tavaszán Pakson tartott Középiskolai Fizikatanári Ankétára, és tartson előadást. Az előadásnak és *Mick Storr* személyes »aláírásgyűjtésének« nagy sikere volt, a jelentkezési lista már Pakson betelt. Utazók tehát lettek volna, már »csak« a szakmai program megszervezésére és az anyagiak előteremtésére volt szükség. A CERN-i szakmai program megszervezésére Horváth Dezsőt szemeltük ki (KFKI RMKI). Ebben is volt szerepe egy aprócska véletlennek. Kiderült, hogy Dezsőt nemcsak én ismerem jól már régóta, hanem *Mick* CERN-i főnöke – *Rolf Landua* – is együtt dolgozott Dezsővel. Így ketten kértük fel Dezsőt a szakmai program megszervezésére. Természetesen ilyen nagy »nyomásra« igazából semmi szükség sem volt, mivel Dezső – és az összes többi magyar kutató – nagyon nagy örömmel és lelkesen vállalták a programban való részvételt. A CERN-i szakmai program mellett a fizikatanároknak egyéb szakmai programot is készítettem. Tulajdonképpen ehhez is egy véletlen vezetett. Az egyik Elnökségi ülésen hallottam, hogy a *Fizika Éve* kapcsán a Puskás Tivadar Szakközépiskola csapata 2005-ben járt a CERN-ben, és felment a Mont Blanc-ra is. *Härtlein Károly* megjegyezte, hogy csak azt sajnálja, hogy nem jutott eszébe hamarabb, milyen jól el lehetett volna végezni Torricelli kísérletét a Mont Blanc-on. Ekkor határoztam el, hogy összeszedek néhány olyan kísérletet, amelyek különösen érdekesek lehetnek vagy azért, mert összefüggenek a helyváltoztatással, vagy olyan fizikai mennyiségekkel, amelyek az út során változhatnak. Így alakult ki a cerni tanárprogram »saját« kísérleteinek repertoárja: Torricelli kísérlete vízzel (légnomás), a víz forráspontjának meghatározása (légnomás), földrajzi helymeghatározás a Nap segítségével (helyváltoztatás), a környezeti háttérsugárzás intenzitásának mérése (kozmosz sugárzás), illetve radonkoncentráció relatív mérése (föld alatti helyiségek). Ez utóbbit ugyan elég nehéz volt a CERN-iekkel elfogadtatni, de végül 2007-ben és 2008-ban sikeresen ezt is végrehajtotta a csoport. A »kulturális« program összeállításában ismét *Bea* volt a segítségemre, mert ő 2001-ben a HST három hete során feltérképezte a környék kulturális nevezetességeit, és így ezek figyelembevételével tudtuk megszervezni az utazást.

A CERN a program szakmai részét ingyen biztosítja – azaz az előadók kiutaztatja, elszállásolja stb. – azonban a résztvevő tanárok útiköltségét, szállását és ellátását a résztvevő országoknak kell(ene) fedeznie. Ehhez pénzre van szükség, sok pénzre, fejenként mintegy 130–150 ezer Ft-ra. Ez a résztvevő tanárookra nagyon nagy anyagi terhet róna (ne felejtjük el, hogy ez nem »nyaralás«, hanem egy egész heti kemény munka), ezért mindenképpen szponzort, sőt szponzorokat kellett szerezni. Az OKM-től azt a választ kaptuk, hogy csak akkreditált tanártovábbképzést tudnak segíteni anyagilag, de azt is csak akkor, ha az nem külföldön történik. Tehát hiába is lenne ez a program akkreditálva, akkor sem kaphatnánk rá a továbbképzési alapból. Mecenatúra-pályázatot adtunk be, de annak kimenetele – és kifizetési időpontja – eléggé bizonytalanok látszottak. Azt el kellett felejtetni, hogy a tanárok »összeadják« a pénzt, és később, ha a pályázatot megnyerjük, majd visszafizetjük. A jelenlegi pénzügyi szabályok mellett nincs arra mód, hogy magán-személyeknek (tanároknak) ilyen összegeket vissza lehessen adni.

Itt ismét egy véletlen segített. Tudtam, hogy jóval korábban *Marx György* professzor úr vezetett egy tanárs csapatot a CERN-be. (Ujvári Sándor: CERN expedíció. *Fizikai Szemle* 1994. április.) Történetesen abban a csapatban kint volt *Kováts Balázs* Paksról, aki jelenleg egy oktatást támogató alapítvány (SIF Alapítvány) kuratóriumának tagja. Megkerestem és megkérdeztem, hogy vajon az alapítvány tudna-e támogatni egy ilyen kezdeményezést. Balázs válasza: »Ha ezt nem, akkor ugyan mit? Emlékszem, hogy annak idején milyen mély benyomást gyakorolt rám az a néhány nap, amit a CERN-ben töltöttünk Marx professzor úrral.« *Csom Gyula* professzor, az alapítvány kuratóriumának elnöke is támogatásáról biztosított, amikor elmondtam neki, hogy miről van szó.

Ennek köszönhetően az alapítvány támogatásából a buszköltséget ki tudtuk fizetni. Mivel 2006-ban más támogatást még nem kaptunk, Mickhez fordultam, és elmondtam neki, hogy az útiköltség ugyan megvan, de a szállásköltséget egyelőre nem tudjuk előteremteni, és az is bizonytalan, hogy egyáltalán megkapjuk-e a Mecenatúra-pályázatban igényelt pénzt. Mick a CERN vezetőihez fordult. Ők úgy gondolták, hogy egy új program beindítása annyira fontos, hogy a program sikere nem múlhat a szállásköltségen, ha már van egyáltalán olyan ország, amely nagy szervezési munkát végzett, és a dolog sikerrel kecsegtet. Nem tudom, hogy ebben a döntésben volt-e szerepe Robert Aymarnak, vagy ez nála alacsonyabb szinten dőlt el, de mindenesetre nagyon köszönöm mindenkinek, akinek ebben része volt. Így az utolsó akadály is elhárulni látszott a csoport útjából. Lelkesen szerveztük az utat, kialakítottuk a mérőcsoportokat, megbíztuk a mérésekért felelős tanárokat, hogy készüljenek fel. Ekkor ismét közbeszólt a véletlen, ezúttal azonban nem segített, sőt, ellenkezőleg. Néhány nappal az augusztusi indulás előtt hirtelen retinaleválás keletkezett az egyik szememen, amelyet azonnal meg kellett műteni. Nyilvánvaló volt, hogy

nem utazhatok, ezért az egész csoport vezetését rá kellett bíznom valakire. *Simon Péterre* esett a választásom, és ő elfogadta ezt a nagy feladatot és felelősséget. Péternek nagyon hálás vagyok, mert tökéletesen vezette a tanárs csoportot. Lényegében naponta tájékoztatott SMS-ben a helyzetről, és ha voltak problémák, bevont azok megoldásába is.

Még egy történet kívánczok ide. Szombatra terveztük a csoport látogatását a Mont Blanc-ra. Pénteken délután Péter írta, hogy a CERN-i kollégák le akarják beszélni őket arról, hogy másnap menjenek fel a Mont Blanc-ra, mivel a meteorológia rossz időt ígér. Elmondta, hogy a csoportban többen is vannak, akik hajlanak erre, és minél hamarabb otthon szeretnének lenni. Bennem valahogy olyan érzés volt, hogy ennyi erőfeszítés és viszontagság után nem lehet az, hogy a programnak ez a csodálatos része ne valósuljon meg. Ezért azt írtam vissza Péternek, hogy ne törődjön semmivel, ne érdekelje őket az se, hogy a CERN-ben milyen idő van. Ő a vezető, döntsön úgy, hogy reggel elindulnak Chamonix-ba, és tervezzék úgy, hogy felmennek a Mont Blanc-ra. Ha Chamonix-ban tényleg rossz idő lenne, akkor még mindig dönthet úgy, hogy nem mennek fel. Péter elfogadta a javaslatomat, és csodálatos idejük volt fent a csúcson. Az idő akkor romlott el miután lejöttek, de addigra ők már a buszon ültek hazafelé.

A »csapat« nagyon jól összeépült az egy hét alatt. Kértem a résztvevőket, hogy írjanak útbeszámolókat, és osszák meg a fényképeket egymással és velünk. Nem sokkal karácsony előtt pedig tartottunk egy szombati összejövetelt itt Budapesten Bea kollégiumában, ahova a hölgyek enni-, a férfiak innivalót hoztak. Megnéztük együtt az útról készült videót (*Pálos Gabriella* munkája), kiosztottuk a filmet, a beszámolókat, valamint a fényképeket tartalmazó DVD-t, majd megjelent a Mikulás – akarom mondani Mick-ulás –, mert meghívásunkra Mick Storr is eljött, Mikulásnak öltözve. A jó hangulatú nap után este Mickkel már a következő évi továbbképzés programját beszéltük meg és rögzítettük.

Az LHC gyűrűjébe idén már nem juthattunk le – ám a fényképteknika sokmindent képes



Az epilógushoz tartozik, hogy valamikor a következő év elején átutalták a megnyert Mecenatúra-pályázat pénzét, és így – utólag – vissza tudtuk téríteni a CERN-nek a megelőlegezett szállásköltséget.

Az idei év egész más volt. Nagyobb volt az izgalom, a nyüzsgés, jobban érezni lehetett a feszültséget a levegőben, amely az LHC beindításával kapcsolatos. Az ember átélte azt, hogy részese lehet egy tudománytörténeti eseménynek. Az idén nagyobb kihívás volt az, hogy mindig szinte ugrásra készen kellett állni nekünk szervezőknek ahhoz, hogy bármely pillanatban rugalmasan módosítsunk a programon, hogy a kísérletek megtekintésére esetleg rendelkezésre álló kicsiny téridő-ablakot jól ki tudjuk használni.

Az idei kirándulás szervezése is kicsit más volt. Tanulva az előző két év tapasztalataiból most közbeiktattunk egy éjszakát Münchenben, egy diákszállóban. Ez nemcsak olyan előnnyel járt, hogy a csoport sokkal pihentebben érkezett meg a CERN-be, mint egy éjszakai buszozás után, hanem azzal is, hogy menet közben meg tudtuk nézni Európa egyik természeti csodáját, a nagy Rajna-vízesést.

Az idén – az LHC indulása, valamint egy konferencia miatt – olyan sokan voltak a CERN-ben, hogy a csoport egy részének már csak a CERN-től néhány kilométerre fekvő Ferney-Voltaire városkában sikerült szállást szerezni. Ez a szervezők számára egy újabb logisztikai kihívást jelentett, amelyet úgy érzem, sikerült jól megoldani. Az úthoz további támogatókat is tudtunk szerezni. A SIF Alapítvány az idén is támogatt minket, de támogatást adott még a Thales Nanotechnology Kft., valamint a Graphisoft Hungary is. Ezen a helyen is szeretnék köszönetet mondani mindenkinek, akinek része volt abban, hogy ez a program az idén is megvalósulhatott.

Az idén is beadtunk egy pályázatot a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatalhoz (NKTH). Ennek elbírálása, és az esetlegesen nyert pénz kifizetése az előző évekhez hasonlóan sajnos csak a későbbiekben várható. Így a CERN-nek az idén is meg kellett előlegeznie a szállásköltségünket. Reméljük, hogy az előleget vissza tudjuk majd téríteni, mint ahogy azt az

Óriási héliumtartályok a CMS-kísérlet telephelyén



elmúlt években megtettük. Rossz fényt vetne ránk, ha ezt nem tudnánk legalább utólag megtenni, amikor a többi európai ország – köztük az új tagországok is – már előre fizetnek a szállásért. A 2006-os »magyar példát« ugyanis sok tagország sok-sok tanárcsapata követte. Mi magyarok azonban még most is »különleges helyzetben« vagyunk – ahogy *Rolf Heuer* professzor, a CERN 2009-ben hivatalba lépő új főigazgatója a magyar fizikatanárokkal való beszélgetésben elmondta – mert mi voltunk az elsők, az úttörők.”

Előadások és kísérletek

Meglepetésekben, izgalmakban jócskán bővelkedett az idei út is, amely augusztus 16. és 24. között zajlott. A két-két nap utazást nem számítva, öt teljes napot tölthettünk el a CERN-ben. Mint a korábbi években, a továbbképzés gerincét most is a délelőttöként megtartott előadások jelentették. A rövid szünetekkel megszakított tanórákat a KFKI RMKI és a debreceni ATOMKI, vagyis azon két nagy magyar kutatóintézet munkatársai tartották, akik már a kilencvenes évek eleje óta jelen vannak Európa részecskefizikai fellegvárában. A szakmai program koordinátora Horváth Dezső volt, aki nemcsak az előadásai alatt, hanem kísérleti munkáját félretelve egész héten reggeltől estig fáradhatatlanul a csoportunk rendelkezésére állt.

Az előadásokon alaposan megismerhettük a CERN-t és az itt folyó kutatómunkát. Ám igazságtalan és merőben szubjektív lenne ezek közül kiemelni a „legjobbat”, vagy egyiket a másik fölé helyezni, hiszen mindegyik magas színvonalú, sőt egyenesen izgalmas volt. Nekem úgy tűnt, hogy az előadók a témák összeválogatásánál arra törekedtek, hogy egy színes, alapos és friss tudáscsokrot nyújthassanak át nekünk. Szó esett a részecskefizika alapjairól, kozmológiáról, a gyorsítók felépítéséről, az LHC nagy detektorairól, a részecskefizika orvosi alkalmazásairól, mérés- és számítástechnikáról, a CERN-beli magyar szerepvállalásról és diákműhelyekről egyaránt. A világos felépítésű lendületes előadások, a gondosan kidolgozott fóliák, a lejátszott animációk egy percre sem hagyták lankadni a figyelmet. Lehet, hogy a közelgő nagy esemény, az LHC régóta várt beindítása tette, de a léggör végig kellemesen izgatott volt. És hogy a humort se nélkülözzük, egy alkalommal Horváth Dezső egy rap-zene-számot is lejátszott nekünk.

Az előadások kapcsán még egy fontos dolgot szeretnék kiemelni, és ez az interaktivitás. Ma a tudomány, kivált a természettudományok nagyon gyorsan változnak. A gyorsan sokasodó eredményekhez hozzá lehet ugyan jutni folyóiratokból, könyvekből, sőt ma már az internetről is, ám a személyes kontaktust, a tudományról folytatott közös társalgás élményét nem pótolhatja semmi. Előadóink nem pusztán beszámolókat tartottak, hanem beszélgettek is velünk. Mindig lehetett kíváncsiskodni, kérdezni, sőt a hét utolsó napján a diszkusszióra még egy külön délutánt is szántak.

Mindezek mellett számomra az jelentette a bizonyítékát annak, hogy itt sokkal többről van szó, mint egy „unalomig ismételt, ledarált” előadás-sorozatról, hogy előadónk közül többen egymást is meghallgatták.

Az előadásokat szinte minden nap kísérletek követték. Ezek jellegéről pár bekezdéssel ezelőtt Sükösd Csaba már tett említést, illetve részletes leírásuk megjelent korábban e lap hasábjain. (*Fizikai Szemle*, 2006/12. 420.) Az idén újdonsággal az előző évek gyakorlatához képest a radonkoncentráció meghatározásánál találkoztunk. Ismert, hogy a radon jelenlétét zárt szobában gyorsan, egyszerű eszközökkel ki lehet mutatni. Nem kell hozzá más csak egy porszívó, néhány gézlap és egy GM-csőes sugárzásmérő. Ám az idén nem egy, hanem kétféle GM-csőes sugárzásmérővel is meghatároztuk a beütésszámot. Az egyik, a kísérletvezető *Szilágyiné Polgár Éva* által az iskolából elcipelte „öreg” készülék volt, a másik egy vadonatúj fejlesztésű eszköz, amely két héttel korábban készült el a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen Sükösd Csaba és munkatársai jóvoltából. Némi derültségre adott okot, amikor egymás mellé tettük a kettőt. Világosan látszott, hogy pár évtized alatt mennyit változott a technika. A nehézkes régi készülék körülbelül úgy viszonyult az integrált áramkörökkel működő, kis méretű, számítógéppel összekötött új darabhoz, mint a CERN étterme mellett álló buborékkamra a korszerű CMS-detektorhoz.

Üzemlátogatások

Ebben a továbbképzésben talán az volt a legbámulatosabb, hogy a délelőttönként ismertett elmélet a szemünk láttára változott valósággá, amikor délutánonként az üzemlátogatásokon szembesültünk az LHC csodáival. A programunk többször is megváltozott, hiszen a gyorsító közelgő indítása miatt egyre szűkült az idegenek által is látogatható helyek száma. Az alagútba és az LHCb-kísérlethez már csak retinamintázaton alapuló azonosításon átesett, speciális engedéllyel rendelkező kutatók juthattak le, ám a DELPHI-kísérlet (a korábbi gyorsító, a LEP egyik nagy detektora), az LHC Control Room, az NA61-kísérlet, a proton-szinkrotron, a számítóközpont, az antiprotonlassító, és végül a lélegzetelállító CMS-detektor, amelyet teljes bezárása előtt, szinte az utolsó másodpercekben csíptünk el, számunkra is elérhető volt. Útitársaim eképpen emlékeznek az élményekre:

„Csak reméltük, hogy a lezárás előtt még lemeheztünk a 100 méter mélyen levő, 27 km területű LHC egyik detektorához. Végül utolsó csoportok egyikeként sikerült megtekintenünk a CMS-t. A látványa mindenkit lenyűgözött. A 25 m hosszú, 15 m széles, 15 m magas és 12500 tonnás berendezésen számos magyar fizikus is dolgozott. Nem csak mérete elképesztő, hanem a rengeteg kábel, vas, mágnes, amelyek látványát a képek nem adják igazán vissza. Ezt testközelből kell látni. A nevében lévő kompaktság miatt ugyanis túlszűfolt a szerkezet. Egyfolytában



A TCV (Tokamak à Configuration Variable) tokamak, Lausanne

azon gondolkoztunk, hogy hogyan tudták ezt összerakni.” – *Jámborné Suta Judit*, Debreceni Egyetem, Kossuth Lajos Gyakorló Gimnáziuma

„Az LHC méretei lenyűgözőek. A világ egyik legnagyobb tudományos-technikai teljesítménye egy sor technológiai rekorddal. Ámulatba ejtő mérnöki megoldások. Csodálatos volt megtekinteni a hatalmas detektorrendszereket, a gigantikus adattömeg feldolgozására szervezett informatikai háttér.” – *Pető Vilmosné*, Szent László Általános Iskola, Vácszentlászló

„Az egyik legnagyobb élményem a CMS-detektor megtekintése volt. Szigorú biztonsági előírások, beléptető kártyás rendszer, liftakna... – izgalommal tele suhantunk lefelé a mélybe, 100 méterre a föld alá. A detektor gigantikus méreteivel ámulatba ejtett. A hátamon a hideg futkosott, csodálatos érzés volt ott állni a világ legnagyobb detektoránál, belenézni a szívébe, és meglátni azt a csúcstechnikát, amit mikrométer pontossággal megterveztek, elkészítettek, összeszereltek.” – *Holányiné Seres Ildikó*, Ganz Ábrahám-Munkácsy Mihály Szakközépiskola és Szakiskola, Zalaegerszeg

Már nagyon sok rendhagyó élményről beszámoltam, amelyek csak az idei csoportnak adattak meg, de még nem értem a felsorolás végére. Egyik délután ugyanis különleges látogatásban volt részünk. De erről meséljen ismét egy útitársam: „Már otthon örömmel olvastam a programban, hogy továbbképzésünkön egy magfúziós reaktor látogatására is sor kerül a Genfi-tó partján, Lausanne-ban.

Nagyon tetszett a TCV (Tokamak à Configuration Variable) tokamak, amelynek megtekintése előtt egy ott dolgozó magyar fizikus, *Márki János* beszélt nekünk a fúziós plazmareaktorokról és a TCV-ről. Előadása révén bepillantást nyerhettünk a magfúzió alapjaiba, a fúzió múltjába, jelenébe és jövőjébe. A tokamak a legsikeresebb mágneses fúziós berendezés. A gyűrű alakú, 100 millió °C hőmérsékletet is elérő plazmájának összetartására szolgáló mágneses teret úgy hozzák létre, hogy a berendezés közepén elhelyezett tekercs segítségével áramot keltenek a plazmában. Az áram mágnesere hozzáadódik a toroidális tekercsek által létrehozott mágneses térhez. A svájci TCV-t úgy alkották meg, hogy a plazma alakjának erőteljes torzításával



Földrajzi helymeghatározás a Nap segítségével (kísérlet)

alkalmas a tokamakok új tartományainak vizsgálatára. A nyári szabadságok miatt ottlétünk alatt a berendezés nem üzemelt, így testközelből is megtekinthettük a TCV-t és a vezérlőtermét. Szerencsésnek mondhatjuk magunkat, hogy idegenvezetőnk a reaktor mellett állva mutathatta meg a tokamak különböző részeit, és magyarázhatta el funkciójukat.

Egyelőre nagyon távolinak (demonstráció, 2035) tűnik a magfúziós energiatermelés, de nagy élmény, hogy jelen lehettünk azon helyek egyikén, ahol a plazmafizikai kutatásokkal megteremtik a lehetőséget. A magfúzióról tartott óránkat nagyobb magabiztossággal és élvezettel fogjuk tartani a látottak után, és bizonyára színesíteni fogja az is, hogy a tankönyvi kép helyett tanítványaink egy olyan reaktort látnak a kivetítőn, amely mellett tanáruk áll.” – Jámborné Suta Judit, Debreceni Egyetem, Kossuth Lajos Gyakorló Gimnáziuma

Az eddigiekből is kitűnhetett, hogy a CERN-ben eltöltött hetünk minden perce lélegzetelállító volt. Pedig még hány és hány dolog maradt ki a felsorolásból! Elég, ha csak a CERN következő főigazgatója, Rolf Heuer professzor meglepetésszerű látogatására gondolok, amellyel egyik délután megtisztelte a csoportunkat; vagy a ködkamra építésre, amikor egyszerű eszközökből mi magunk állítottunk össze kozmikus részecskék megfigyelésére alkalmas eszközt; vagy a Genfben tett felejthetetlen látogatásra és „kincsvadászatra”, amelyet este hangulatos vacsora koronázott meg; vagy a semmivel össze nem vethető Francia Alpok napsütésben fürdő látványára; vagy a CERN hatalmas vendégszeretetére, nyílt, várakozással teli, optimista légkörére... A felsoroláshoz nem érdemes hozzáfogni, sosem lenne vége.

Am álljon még írásom végén néhány mondat útítársaim megfogalmazásában:

„Izgalmas fejezetei következnek a fizikának, bele gondolni is hátborzongató. Bízom abban, hogy ezek a kutatások »lázba« hozzák a fiatalokat, és újra egyre többen fordulnak e tudomány felé. Nekünk tanároknak hatalmas szerepünk van, lesz ebben. Abban is bízom, hogy a kormányzatok pedig egyre többet áldoznak kutatásra, fejlesztésre, a talentumok megtartá-

sára és megbecsülésére.” – Pető Vilmosné, Szent László Általános Iskola, Vácszentlászló

„Idén tíz középiskolás osztályban tanítok, ez több mint 300 diák. Mindenkinek valamilyen szinten már meséltem a CERN-ről, amit nagyon érdeklődve hallgattak. Szeptember 10-e után már a folyosón is megállítottak, hogy mi is történt, meséljek! Konkrétan a 11. osztályos tananyagnál gondoltam majd részletesen beiktatni az atomi részecskéknél. A radioaktív sugárzások hatásainál, gyakorlati alkalmazásoknál pedig Horváth Dezső *Orvosi alkalmazások* című előadásának anyaga nyújthat segítséget. A csillagászat fejezetnél, a Világegyetem kialakulásánál már lehet bővíteni az ismeretanyagot, itt *Trócsányi Zoltán* előadásai segítenek. A fúzióval kapcsolatban a termonukleáris plazmareaktorokról (tokamak) saját élmények alapján is lehet beszélni. Emelt fizikán szintén lehet ezekkel a témákkal foglalkozni, mert itt válogatott diákok vannak. Októberre pedig egy előadást tervezek a tanárok és a végzős diákok részére. Itt szeretném röviden bemutatni, hogy milyen kutatások, kísérletek zajlanak a CERN-ben.” – Holányiné Seres Ildikó, Ganz Ábrahám-Munkácsy Mihály Szakközépiskola és Szakiskola, Zalaegerszeg

„Az egész út során érezhettük a megbecsülést, a segítőkészséget az előadók és vendéglátók részéről. Munkám során a továbbképzéseken, értekezleteken ebben nemigen volt eddig részem. Minden személyes és szakmai kérdésre szívesen válaszoltak a nálam bizonyára sokkal képzetesebb szakemberek. Értékeltek az érdeklődést, és soha nem éreztem azt, hogy lenéznének tájékozatlanságomért. Nagy élmény volt mindvégig, érzékelni a hatalmas méreteket és azt, hogy ez szükséges a nagyon-nagyon kicsi megismeréséhez.” – *Zagyva Tiborné, Nati*

„Szervezőként magam és Bea nevében is elmondhatom, hogy bár nagyon sok munkával és utánajárással jár, de szívesen csináljuk, élvezettel veszünk benne részt, és reméljük, hogy ez a program még folytatható a következő években is.” – Sükösd Csaba

Én is remélem, és gondolom mindannyian, hogy ilyen programok a jövőben is lesznek, és talán egyszer természetessé válik, hogy nem csak életükben egyszer, hanem minél gyakrabban kapnak lehetőséget a tanárok arra, hogy hasonló tanulmányutakon vétezzék fel magukat a legfrissebb, megbízható tudással, amely azután a következő generációknak büszkén átadható.

Akik a továbbképzés részletes programja és az előadások fóliái iránt érdeklődnek, látogassák meg a <http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=35439> weboldalt.

Köszönet mindenkinek, aki hozzájárult az út sikeréhez: Sükösd Csaba, Jarosievitz Beáta, Horváth Dezső, Mick Storr, *Vesztergombi György*, Trócsányi Zoltán, *Fodor Zoltán*, *Szillasi Zoltán*, *Béni Noémi*, *Frober Ákos*, *Siklér Ferenc*, *Krasznaborkay Attila* valamint a támogatóknak: Eötvös Loránd Fizikai Társulat, SIF Alapítvány, NKTH (remélhetőleg), Thales Nanotechnology (*Darvas Ferenc*), Graphisoft Hungary (*Bojár Gábor*), Egri Csillagok Rt., Eger (*Bendő Éva*), Alexandra Könyvkiadó és Nemzeti Tankönyvkiadó.

Richard P. Feynman: »MIT ÉRDEKEL A MÁSONK VÉLEMÉNYE?«

Egy mindenre kíváncsi pasas újabb kalandjai

Fordította: Révbíró Tamás, Park Kiadó, Budapest, 2008.

A kötet az Egyesült Államokban 2001-ben megjelent gyűjtemény magyar fordítása. *Révbíró Tamás* fordító kiváló munkát végzett a meglehetősen heterogén tematikájú válogatás magyar szövegével. Sokszor érezhető, hogy – főleg az útkutatási vonatkozásokban – *Both Előd* kollégánk szakavatott segítséget nyújtott.

Visszatérve a kötet méltatására – főleg az amerikai kiadás elemzésére – egy olyan „dokumentum” van a kezünkben, ami az immár harminc esztendeje elhunyt szerző (*R.P. Feynman*, 1918–1988) bizonyos értelemben hagyatékának tekinthető, ahogy az alcím mondja „Egy különös karakter kalandjai, ahogy *Ralph Leighton*nak elmesélte”. Megjegyezzük, hogy *R. Leighton* nemcsak közeli barát, munkatárs, hanem fizikus kolléga is, nyilván fiatalabb a szerzőnél. Maga a kötet ebben a műfajban a második, mintha a „Tréfál, Feynman úr?” (Park Kiadó – Akkord Kiadó közös magyar kiadás, Bp., 2001) folytatása lenne, amivel benyomásunk szerint a nagyközönség számára érdekes Feynman-dokumentumok végére is értünk. Nem lehetett könnyű dolga az amerikai kiadónak, mert a Nobel-díjas Feynman sok szempontból fontos szerepet töltött be a 20. század amerikai életében csakúgy, mint a nemzetközi tudományos (elsősorban fizikai, elméleti fizikai) életben, és akkor még nemzetközi súlyú pedagógiai tevékenységét és érdemeit nem is említettük. Ahogy az amerikai bestseller-ízű kötetnek is csak a borítólapjára jut (és onnan a magyar kiadására is) egy foghíjas válogatás a kimagasló teljesítmények felsorolásakor.

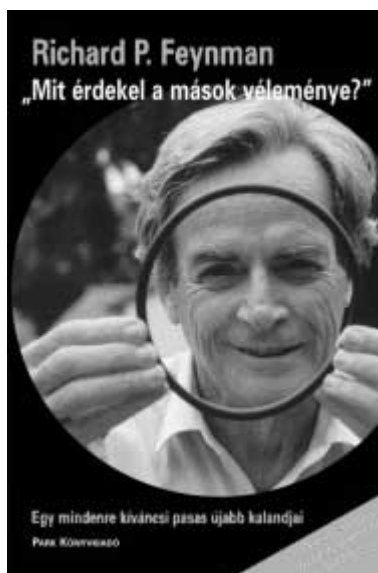
Mert mit is olvashatunk a szerzőről? „1954-ben Albert Einstein-díjjal tüntették ki.” „A kvantum-elektrodinamika terén végzett munkásságáért 1965-ben fizikai Nobel-díjat kapott.” S nem esik szó a továbbiakban a proton belső szerkezetét értelmezni segítő par-ton-modellről, a béta-bomlás elméletében és a statisztikus fizikában elért eredményeiről. De a legérdekesebb, hogy hatalmas pedagógiai jelentőségű tankönyvsorozata (*Mai fizika*, 1–10, Műszaki Kiadó, Bp., 1963–65) is említés nélkül marad! Pedig ennek a sorozatnak az a jelentősége, hogy 1957 után, a műhold-örület egyik pozitív tüneteént készült el (előbb az Egyesült Államokban, majd a világ sok nyelvén)

annak érdekében, hogy a műszaki értelmiség fiataljai a fizikát új megközelítésben tanulhassák. Csakhogy ennek már csaknem fél évszázada – mondhatják magukban a kiadók – és most meg 2008 van; belátjuk, ez egyáltalán nem biztosan segítette volna a kötet piacképességét.

Mert valójában a kötetnek van valami sajátos bája. Az olvasót bizonyára két cikkszoport fogja lenyűgözni. Az egyik témája a közegészségügy a 20. század közepén, csakhogy személyes összefonódásban az ifjú házaspárral Feynmannal, aki leírja első házassága történetét, benne az ifjú feleség rejtélyes, gyógyíthatatlan betegségével (Hodgkin-kór), amit a kezelőorvosok téblábolása mellett Feynman ismert fel (persze külön utánajárva a dolgoknak).

A kötet második, igazán izgalmas és máig tanulságos része az, amiben Feynman beszámol a Challenger űrrepülőgép katasztrófájának vizsgálatára alakult szakértőcsoportban végzett munkájáról. Ahhoz képest, hogy a folyton cselekvő Feynman mennyire nem szívesen adta magát a feladathoz, rendkívül tanulságos, hogy milyen hamar rájött a balesetben fontos szerepet játszó O-gyűrű

problémájára. (Erre utal a kötet címlapján lévő kép, amin Feynman egy, a kérdésesnél sokkal kisebb átmérőjű gumigyűrűt tart maga elé.) Az olvasó bizonyára ismeri azt az eredeti Feynman-cikket, amit a vizsgálóbizottsági tagság idején készített, és ami 1988-ban, Feynman halálának évében a nekrológ után jelent meg a *Fizikai Szemlében* (38. kötet 459–470., 1988.). Ennek a tanulmánynak egy átszerkesztett, csiszoltabb változatát olvashatjuk a kötetben. Nem akarjuk a poént lelőni azok előtt az olvasók előtt, akik a 20 évvel ezelőtti számot nem olvasták, vagy nem olvashatták. De arról van szó, hogy a Challenger összeszerelésére használt (több méter átmérőjű) gumigyűrű „valahogy” nem volt megfelelő minőségű. Ezen azt kell érteni, hogy a beszerelt gumigyűrű nem felelt meg a fokozat begyűjtésakor a tervezettől kissé eltérő körülményeknek, és ez vezetett a Challenger felrobbanásához. Hogy hány Challenger is épült egyáltalán? Talán 10? A gumigyűrűt szállító cég hány gyűrűt gyárt mindennapos használatra? Sok



millió! Hány autóba kellhet ilyen (persze kicsi) gyűrű? Mégis, hogyan lehetséges, hogy a gyártó szakemberek nem fogták fel a minőségi követelmények közti különbségeket!

A kötet – bizonyára Both Előd minden erőfeszítése ellenére – a magyar változatban is hemzseg a megbízhatóságot aláásó elírásoktól. Hogy van az, hogy a fizikus Leighton szemét nem szúrta ki, hogy 1:105 az nem annyi, mint 1:10⁵? (Ezt még elég jól körüljárja a szöveg a 184. oldalon, ám hasonló problémák előfordulnak a szövegben máshol is. Csak nem lehetetlen

az amerikai sajtóban nyomdatechnikailag véghezvinni a kitevő emelését?)

Az olvasó szemei előtt – Feynman szövege nyomán – ködössé válik a kép: vajon a NASA hivatalnoki gépezete valóban így esett részeire? Őszintén reméljük, az eltelt 20 év megfelelő viszonyokat teremtett.

A kötet olvasása örömet okozott. Reméljük, olvasóink is szeretni fogják a szerzőt, a mélyen gondolkodó, formabontóan viselkedő „fenegyereket”, aki azok közé tartozott, akik megforgatták a világot a 20. században.

Abonyi Iván

HÍREK – ESEMÉNYEK

AZ AKADÉMIAI ÉLET HÍREI

Szigeti György akadémikus halálának 30. évfordulója alkalmából a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet munkatársai 2008. november 28-án (pénteken) 11 órakor megko-

szorúzzák Szigeti György emléktábláját a KFKI Telephely 18/D épületének előcsarnokában.

Az MTA MFA vezetősége minden érdeklődőt tisztelettel meghív és szívesen vár.

MINDENTUDÁS AZ ISKOLÁBAN

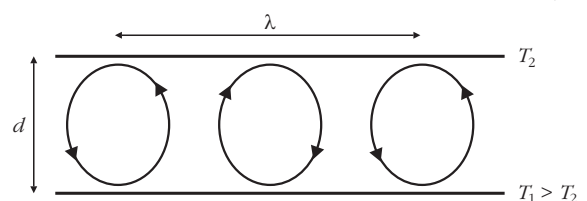
KONVEKCIÓ ÉGEN, FÖLDBEN, VÍZBEN ÉS FOLYADÉKKRISTÁLYOKBAN

A *konvekció* – azaz a nem közvetlenül nyomásgradienssel, hanem közvetett módon, más terekkel hajtott anyagáramlás – jelen van mindenhol a minket körülvevő világban. Leggyakoribb, közismert példája a termikus térrel (hőmérséklet-gradienssel) gerjesztett áramlás. A konvekció tipikusan nem-egyensúlyi folyamat, beindulásához egymással versengő erők (vagy forgatónyomatékok) egyensúlyának megbomlása szükséges. Az erők egy része stabilizál. Amíg ezek vannak túlsúlyban, addig a rendszer nyugalomban van. Amikor a destabilizáló erők növekednek és az előbbieket éppen kiegyenlítik, akkor indul be az instabilitás, a folyamatot ezért egy küszöbtérrel lehet jellemezni. A konvekció térben és/vagy időben inhomogén anyageloszláshoz vezet, szabálytalan, periodikus és turbulens örvényrendszereket, mintázatokat hozva létre. A mintázatok igen változatos formákat ölthetnek, tipikus a párhuzamos csíkrendszer és a spirálszerkezet. Ezekre láthatunk példákat a hátsó borító felvételein, ahol víztornádó, napfelszín, lávakö-

zet, a Jupiter nagy vörös foltja, gleccser, viharfelhők, lávató, hurrikán felülnézetben, elektrokonvekció folyadékkristályban, tornádó a világűrben, a Perzsáöböl és egy gejzír látható.

Termikus térrel, vagyis hőmérséklet-gradienssel vezérelt konvekció ideálisan, laboratóriumi körülmények között egy vízszintes, d vastagságú, alulról fűtött folyadékrétegben valósulhat meg (1. ábra). Ez „konyhanyelven” úgy hangzik, hogy végy egy serpenyőt, tölts bele étolajat és tedd a tűzhelyre. A disszipatív hővezetés és a viszkózus csillapítás a folyadékáramlást gátolja,

1. ábra. Konvekciós mintázat (örvényrendszer) geometriája



azaz stabilizál. A destabilizáció a hőtágulásból eredő felhajtó erőnek, vagyis tulajdonképpen a gravitációs térnek köszönhető: az alul lévő folyadékréteg melegebb, tehát kisebb a sűrűsége, mint a felette levő hidegebb rétegé. Ez tipikusan nem-egyensúlyi szituáció, az egyensúly helyreállításához a rétegeknek helyet kell cserélniük, ami csak úgy történhet, hogy az edény aljáról kis, meleg folyadékcsomagok szabadulnak el a felszín felé, amelyek helyére felülről hideg anyag áramlik. Az eredmény konvekciós hengerek, örvények kialakulása lesz, amelyekben az anyag a felszín és az aljzat között zárt hurkok mentén áramlik (1. ábra). Az így kialakult örvényrendszereket és magát a jelenséget Rayleigh–Bénard-instabilitásnak hívjuk [1].

A jelenség értelmezéséhez az anyagsűrűség és az áramlási sebesség térbeli és időbeli változásait kell leírni. Ehhez a folyadékdinamika egyenleteiből (pl. Navier–Stokes-egyenlet) kell kiindulni. Mivel csatolt, parciális differenciálegyenletekről van szó, analitikus megoldás csak bizonyos paramétertartományokban, például a konvekció beindulási küszöbének közvetlen környezetében, adható meg. Nagy meghajtó terek, azaz nagy hőmérséklet-gradiens esetén az egyenletek számítógépes szimulációja segíthet a megoldás keresésében. A küszöb a határoló felületek közötti hőmérséklet-különbség ($\Delta T = T_1 - T_2$) növelésével érhető el, de értéke függ a rendszerparamétereiktől, azaz a hővezetés (α), a hődiffúzió (D), a viszkozitás (μ), a sűrűség (ρ) és a rétegvastagság (d) értékétől, valamint a nehézségi gyorsulástól (g). E paraméterek dimenziótlan kombinációja a Rayleigh-szám (R),

$$R = \frac{\alpha g \rho d^3 \Delta T}{\mu D},$$

ami a vizsgált rendszer konvekcióra való hajlandóságát fejezi ki, és a konvekció beindulásához – rendszerfüggetlenül – körülbelül 1700-as értékét kell elérnie.

A Rayleigh–Bénard-instabilitást régóta és sokan vizsgálták, ennek számos bizonyítékát találjuk az irodalomban [1]. Az elért eredményeket felhasználhatjuk számos, a természetben megfigyelhető jelenség értelmezésénél.

Termikusan hajtott konvekció bármilyen halmazállapotú anyagban kialakulhat. *Gázokban* (pl. levegőben) az áramlás nyomait mutatják a fűtőtest mögötti falon lerakódott porcsíkok. De konvekció eredményei a sztratoszférában kialakult struktúrák, felhőrendszerek, időjárás frontok és azok dinamikája is, hiszen a Földet körülvevő levegőréteg is erős hőmérséklet-gradiensnek és gravitációs térnek van kitéve. A különböző trópusi viharok (tájfún, hurrikán) és légtölcserék (tornádó) mind a konvekció látványos, bár sokszor katasztrófákat előidéző példájául szolgálnak. Ha már az égen kalandozunk, egy asztrofizikai példát is megemlíthetünk, a csillagok belső anyagának turbulens keveredését.

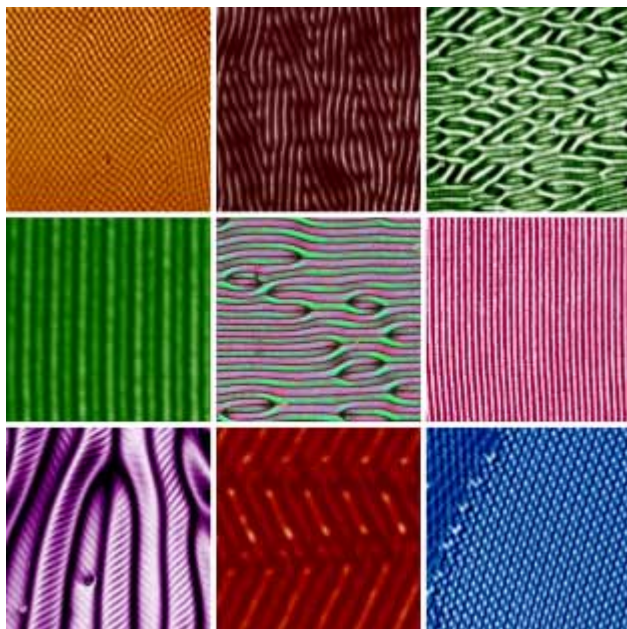
A *folyadékok* konvektív instabilitásaira már említettük a serpenyőben melegedő olaj példáját, ahol a kellően felforrósodott alsó rétegből felfelé áramló „buggyanatok” rendszere jól megfigyelhető a felszín-

nen. De nagyobb méretskálák felé is elmehetünk: a tengeri és óceáni áramlatok is konvekció következményei. A hatalmas tömegű víz körülbelül 10%-a vesz részt a jól ismert felszíni áramlatokban (pl. a Golf-áramlat Európa nyugati partjánál), de cirkulál a mélyben a maradék 90% is, a kevésbé tanulmányozott mélytengeri áramlatokban. Ez a rendszer természetesen sokkal bonyolultabb a laboratóriumi kísérletnél, ugyanis a tengerek nem csak alulról (a Föld belsejéből), hanem felülről, a Naptól is melegszenek. Ezen kívül, a rendszer forog, tehát a Coriolis-erőt is figyelembe kell venni. Ráadásul a tengerfenék domborzata változatos, azaz a vízréteg vastagsága nem állandó, továbbá a tengerek sókoncentrációja is inhomogén és a mélység függvénye. Konvekció zajlik a Föld olvadt magjában is. Ennek kiemelkedő jelentőségét az adja, hogy a konvekcióhoz kapcsolódó dinamoeffektusnak tulajdonítható a Föld mágneses tere, amely a földi élet számára nélkülözhetetlen védelmet biztosítja a kozmikus sugárzás ellen.

Hőmérséklet-gradiens hatására a *szilárd* anyag, például a földkéreg – bármennyire hihetetlennek tűnik – is áramlik. Bizonyított, hogy ugyanazok az erők, amelyek a konvekciót vezérlik az atmoszférában és az óceánokban, a szilárd földkéregben is hatnak. A Föld belsejének hője a felső rétegek konvekcióját is vezérli, ami lassú, évente pár cm elmozdulást okoz és plaszticitásnak nevezik. Ennek leírása még az óceáni áramlatoknál is bonyolultabb eset, mert a változó rétegvastagságon és a Coriolis-erőn kívül figyelembe kell(ene) venni az anyag nagyfokú heterogenitását: vannak lágy, laza részek, mint a termőföld és a homok, illetve kemények, mint a sziklák és a különböző összetételű és tulajdonságú kőületek, láva stb. Az bizonyos, hogy a földkéreg lemezeinek folyamatos egymásra csúszása, a tektonikus mozgás, földrengésekhez vezet(het), amit kívánatos lenne minél pontosabban leírni/megérteni, mert akkor az előrejelzés lehetőségéhez is közelebb kerülhetnénk.

Bár eddig csupán termikusan gerjesztett konvekcióról esett szó, a hőmérséklet-gradiens nem kizárólagos beindítója az anyag örvényszerű áramlásának. Egy egészen egzotikus példaként élő szervezetek (bizonyos baktériumok) hada kollektív, cirkuláris mozgást végez koncentrációgradiens (kemotaxis) hatására. Kevésbé egzotikus, de igen érdekes példa az elektromos térrel gerjesztett konvekció, ez azonban izotróp közegben csak ritkán figyelhető meg. A jelenség beindulását a releváns anyagi paraméterek (dielektromos permittivitás, elektromos vezetőképesség) anizotrópiája nagymértékben elősegíti. Ez a tulajdonság elsősorban a kristályos anyagok sajátja, de bennük nehezen (vagy egyáltalán nem) hozható létre áramlás. Az anizotróp folyadékok, azaz a *folyadék-kristályok* viszont ideálisak erre a célra [2].

A továbbiakban *elektrokonvekcióról*, vagyis folyadék-kristályokban elektromos térrel gerjesztett áramlási örvényrendszerekről lesz szó. A jelenség alapgeometriáját a termikus konvekcióhoz hasonlóan az 1. ábra szemlélteti, csak ezúttal a vizsgált d vastagságú



2. ábra. Elektrokonvekciós mintázatok folyadékkristályban

anyagrétegre elektromos feszültséget ($U = U_1 - U_2$) kapcsolunk. A hőmérséklet-különbség szerepét az elektromos potenciálkülönbség veszi át, vagyis az instabilitást az elektromos tér hozza létre. Ebben a kísérletben a rétegnek nem kell vízszintesnek lennie, a jelenség szempontjából a gravitációnak nincs szerepe. A stabilizáló tényezők itt a rugalmas és elektromos forgatónyomatékok, valamint a viszkózus csillapítás, a destabilizáló hatást pedig a tértöltések szétválásából adódó erő képviseli, ami anyagáramlást indít be, valamint az ezen áramlásból származó viszkózus forgatónyomaték, ami átorientálódást eredményez [3, 4]. A kialakuló örvényrendszerek nagyon szabályosak, a kontrollparaméterek – a meghajtó feszültség és annak frekvenciája – a hőmérséklet-gradienssel ellentétben könnyen szabályozhatóak. A kialakuló struktúráknak az anizotrópia következtében nagy a kontrasztja, így könnyen láthatóvá tehető. Számos egyéb praktikus előny (kis méret, olcsóság stb.) is hozzájárult ahhoz, hogy a folyadékkristályokban zajló elektrokonvekció széles körben elterjedt modellrendszeré vált az anizotróp, sőt az izotróp konvekció tanulmányozására is. Mivel az anyagi és kontrollparaméterek széles skálája áll rendelkezésre, igen sokféle, lebilincselően mutatós mintázat állítható elő. A 2. ábrán néhány példa (kísérleti felvétel) látható.

Ezen struktúrák elméleti leírása is rendelkezésre áll, vagy éppen kidolgozás alatt van. Itt is az áramló folyadék mozgásegyenletéből kell kiindulni, de emellett figyelembe kell venni az átorientálást vezérlő forgatónyomatékok egyensúlyát, a folyadék össz-

nyomhatatlanságát és az elektrodinamika egyenleteit (mindezeket anizotróp anyagi paraméterekkel felírva). Az eredmény egy 6 csatolt parciális differenciál-egyenletről álló rendszer, a hozzátartozó kezdeti és határfeltételekkel, amelynek általában nincs analitikus megoldása. Bizonyos fontos esetekben, például a küszöb körül és közvetlenül felette, alkalmas közelítésekkel (lineáris vagy enyhén nemlineáris stabilitásanalízis) jól kezelhető és a kísérletekkel összevethető eredmény kapható. Egyéb, analitikusan nem kezelhető paraméter-tartományokban a számítógépes szimuláció szolgál nagyon hasznos eszközként. Ideális esetben a három módszer (kísérlet/mérés, egyenletmegoldás és szimuláció) szimultán alkalmazása vezet a jelenség egyre tökéletesebb megértéséhez.

A folyadékkristályok elektrokonvekciójának tanulmányozása két szempontból is nagy gyakorlati jelentőségű. Egyfelől a küszöböt lényegesen meghaladó feszültség hatására a rendezett mintázatot felváltó turbulens áramlás erős fényszórással jár, ami az eredetileg átlátszó folyadékkristály-réteget átláthatatlanná teszi. Ez az elektrooptikai effektus képezte a működési elvét az első, az 1960-as évek végén megjelent folyadékkristály-kijelzőknek, és ez indította be azt a kiterjedt kutatásfejlesztést, ami mára hatalmas gazdasági potenciált és tömegtermelést képviselő iparág kifejlődéséhez vezetett. Ez az iparág elégíti ki az órák, mobiltelefonok, laptopok, lapos monitorok és televíziók folyadékkristály-megjelenítői iránt gyorsan növekvő igényeket, igaz, ma már más kijelzési elvet használva [5]. Másfelől a kutatások megmutatták, hogy a különböző rendszerekben zajló konvekciónak vannak rendszerfüggetlen, általános törvényszerűségei. A folyadékkristályok elektrokonvekciója terén elért egyes eredmények így más konvekciós jelenségek részleteinek megértésében is felhasználhatók. Ennek szükségessége és fontossága a korábban bemutatott példák alapján nyilvánvaló, hiszen időjárás-katasztrófák, földrengések stb. megbízhatóbb előrejelzéséhez vezet.

Buka Ágnes, Éber Nándor
MTA SZFKI, Budapest

Irodalom

1. I. Mutabazi, J.E. Wesfreid, E. Guyon (Eds.): *Dynamics of Spatio-Temporal Cellular Structures – Henri Benard Centenary Review*. Springer Tracts in Modern Physics, V. 207, Springer, New York, 2006.
2. P.G. de Gennes, J. Prost: *The Physics of Liquid Crystals*. 2nd Edition, Clarendon Press, Oxford, 1993.
3. Buka Ágnes, Tóth Katona Tibor, Börzsönyi Tamás, Tóth Péter: Mintázatképző instabilitások folyadékkristályokban I. *Fizikai Szemle*, 46 (1996) 376.
4. Buka Ágnes, Tóth Katona Tibor, Börzsönyi Tamás, Tóth Péter: Mintázatképző instabilitások folyadékkristályokban II. *Fizikai Szemle* 47 (1997) 42.
5. Éber Nándor: Folyadékkristály televíziók – a XXI. század képernyői. *Fizikai Szemle* 56 (2006) 119.

