

# **fizikai szemle**

**2004/8**

A Magyar Tudományos Akadémia  
Fizikai Tudományok Osztálya,  
az Eötvös Loránd Fizikai Társulat,  
a Magyar Biofizikai Társaság és  
az Oktatási Minisztérium  
folyóirata

Főszerkesztő:

**Berényi Dénes**

Szerkesztőbizottság:

**Barlai Katalin (Csillagászat),  
Faigel Gyula,  
Gnädig Péter (Négyszögletes kerék),  
Horváth Dezső (Mag- és részecskefizika)  
Jéki László, Kanyár Béla (Sugárvédelem),  
Németh Judit, Ormos Pál (Biofizika),  
Pál Lénárd, Papp Katalin,  
Sükösd Csaba (Vélemények),  
Szőkefalvi-Nagy Zoltán (Biofizika),  
Tóth Eszter,  
Turiné Frank Zsuzsa (Megemlékezések),  
Ujvári Sándor (A fizika tanítása)**

Szerkesztő:

**Hock Gábor**

Műszaki szerkesztő:

**Kármán Tamás**

A lap e-postacíme:

**fizszem.elft@mtesz.hu**

A folyóiratba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A címlapon:

**A Vénusz átvonulása a Nap előtt,  
a II. kontaktus pillanatában. A képet  
Előd László készítette a Gellért-hegyről.  
Fényképezőgép: Nikon D100, felbontás:  
3008×2000 pixel, érzékenység: 200 ASA,  
blende: 8, expozíciós idő: 1/250 s,  
fókusz távolság: 1500 mm**



## TARTALOM

<i>Fényes Tibor: Az atommagfizika fejlődési irányjai</i>	245
<i>Inzelt György: Régi-új áramforrások: a tüzelőanyag-elemek</i>	252
<i>Haas János, Árkai Péter, Császár Géza, Vörös Attila: Idő a geológiában – földtani időmegtározás</i>	259
<b>INTÉZETEINK, TANSZÉKEINK</b>	
<i>Berkes József, Buzády Andrea, Pálfalvi László: Bemutakozik a Pécsi Tudományegyetem Kísérleti Fizika Tanszéke</i>	264
<b>VÉLEMÉNYEK</b>	
<i>Hraskó Péter: Minden másképp van?</i>	269
<b>TÁRSULATI ÉLET</b>	
<i>A Magyar Fizikushallgatók Egyesületének közhasznúsági jelentése a 2003. évről</i>	273
<b>A FIZIKA TANÍTÁSA</b>	
<i>Vannay László, Fülöp Ferenc, Máthé József, Nagy Tamás, Vankó Péter: A Fizika Országos Középfiskolai Tanulmányi Verseny harmadik fordulója a harmadik kategória részére 2002–2003</i>	274
<i>47. Országos Középfiskolai Fizikatanári Ankét és Eszközkiallítás (Kopcsa József)</i>	282
<i>Jarosievtz Beáta, Hártelein Károly, Mizser Attila: A Vénusz átvonulásának ünnepe</i>	286
<i>T. Fényes: Trends of progress in nuclear physics</i>	
<i>G. Inzelt: Old–new sources of electrical current: fuel cells</i>	
<i>J. Haas, P. Árkai, G. Császár, A. Vörös: Time in geology – geological dating</i>	
<b>RESEARCH INSTITUTES, EDUCATIONAL DEPARTMENTS</b>	
<i>J. Berkes, A. Buzády, L. Pálfalvi: University of Pécs, Institute of Experimental Physics</i>	
<b>OPINIONS</b>	
<i>P. Hraskó: Is everything different?</i>	
<b>NEWS OF THE PHYSICAL SOCIETY</b>	
<b>TEACHING PHYSICS</b>	
<i>L. Vannay, F. Fülöp, J. Máthé, T. Nagy, P. Vankó: The Hungarian Secondary Schools' Competition in Physics 2002/2003</i>	
<i>47th Meeting and Exposition of Hungarian Secondary School Physics Teachers (J. Kopcsa)</i>	
<i>B. Jarosievtz, K. Hártelein, A. Mizser: Celebrated by teachers and pupils: the Venus transit</i>	
<i>T. Fényes: Entwicklungstendenzen der Kernphysik</i>	
<i>G. Inzelt: Alte–neue Stromquellen: Brennstoffelemente</i>	
<i>J. Haas, P. Árkai, G. Császár, A. Vörös: Die Zeit in der Geologie – geologische Altersbestimmung</i>	
<b>FORSCHUNGSINSTITUTE, LEHRSTÜHLE</b>	
<i>J. Berkes, A. Buzády, L. Pálfalvi: Universität Pécs, Lehrstuhl Experimentelle Physik</i>	
<b>MEINUNGSÄUSSERUNGEN</b>	
<i>P. Hraskó: Ist alles anders?</i>	
<b>AUS DEM GESELLSCHAFTSLEBEN</b>	
<b>PHYSIKUNTERRICHT</b>	
<i>L. Vannay, F. Fülöp, J. Máthé, T. Nagy, P. Vankó: Der Wettbewerb in Physik Ungarischer Mittelschulen 2002/2003</i>	
<i>47th Landestreffen und Ausstellung der ungarischen Mittelschul-Physiklehrer (J. Kopcsa)</i>	
<i>B. Jarosievtz, K. Hártelein, A. Mizser: Festliches Ereignis für Lehrer und Schüler: der Venus-Durchgang</i>	
<i>T. Феньеш: Направления дальнейшего развития ядерной физики</i>	
<i>Г. Инзельт: Старые–новые источники электрического тока: топливные элементы</i>	
<i>Я. Хаас, П. Аркай, Г. Часар, А. Вереш: Время в геологии – геологическое определение времени</i>	
<b>НАУЧНЫЕ УЧРЕЖДЕНИЯ, КАФЕДРЫ</b>	
<i>Й. Беркеш, А. Бузяды, Л. Пальфалви: Университет г. Печ, Кафедра Экспериментальной Физики</i>	
<b>ЛИЧНЫЕ МНЕНИЯ</b>	
<i>П. Храшко: По-другому ли всё?</i>	
<b>ИЗ ЖИЗНИ ФИЗИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА</b>	
<b>ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ</b>	
<i>Л. Ваннай, Ф. Фюлеп, Й. Матэ, Т. Наль, П. Ванко: Конкурс по физике венгерских средних школ 2002/2003</i>	
<i>47-ей Съезд и выставка венгерских учителей физики в средних школах (Й. Копча)</i>	
<i>Б. Ярошевиц, К. Герглейн, А. Мижер: Торжественное событие для учителей и учеников – переход Венеры перед Солнцем</i>	

# Fizikai Szemle

## MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

A Fizikai Szemle az Akadémia által 1862-ben elindított Matematikai és Természettudományi Értesítő és az 1891-ben Eötvös Loránd által alapított Matematikai és Physikai Lapok utóda és folytatása

LIV. évfolyam

8. szám

2004. augusztus

## AZ ATOMMAGFIZIKA FEJLŐDÉSI IRÁNYAI

Fényes Tibor  
MTA Atommagkutató Intézete

A magfizika az elmúlt évszázadban hatalmas belső fejlődésen ment át és számos más tudományágat is megtermékenyített. A fejlődés a napjainkban is folytatódik. Az 1. ábra áttekintést ad a főbb fejlődési irányokról.

A következőkben röviden áttekintjük az utóbbi negyedszázad magfizikai kutatásainak, valamint a középtávú (~10 éves) fejlesztési terveinek főbb irányait, különös tekintettel az európai helyzetre. Először a kísérleti berendezések fejlődését, majd a hideg magok, a stabilitási sávól távol eső atommagok, nagyspinű állapotok, forró atommagok és a hipermagok vizsgálatát. A kvantumkromodinamika és az alapvető kölcsönhatások vizsgálata hagyományosan inkább a részecskefizika részei, így ezeknél csak a fejlesztések alapvető irányait tárgyaljuk röviden. A magfizika alkalmazásai közül csak a nukleáris asztrofizikával foglalkozunk. Más határterületek és a különböző alkalmazások annyira sokrétűek, hogy ezek ismertetése messze túlnő a jelen dolgozat keretein.

A magfizikai kutatások jelen helyzetével és fejlődési irányjaival kapcsolatban több átfogó tanulmány készült, ezekről áttekintés található az irodalomjegyzékben.

### Kísérleti berendezések

#### Stabil atommagokat gyorsító berendezések

Európában számos olyan gyorsító működik, amelyik kiváló minőségű stabil izotópnyalábot szolgáltat, gyakorlatilag minden céltárgyra a Coulomb-fal feletti energiáig. A legnagyobb gyorsító, a CERN-i (Genf, Svájc) szuper protonszinkrotron (SPS) protonokat 450 GeV-ig, O-, S-, Pb-ionokat 200 GeV/u (u a tömegegység) energiáig tud gyorsítani. Ezenkívül számos más nagyberendezés van, amely könnyű és nehéz ionok igen nagy választékát, igen széles energiatartományban képes gyorsítani. A gyorsításhoz gyakran több különféle gyorsítót használnak kaskád üzemmódban. Rendelkezésre állnak polarizált proton- és deuteronnyalábok (pl. az AGOR gyorsítóban Groningenben). Kitűnő nyalábminőséget sikerült

elérni számos helyen elektronnyalábos hűtéssel. Építettek tárológyűrűket, amelyekben a gyorsított ionok gyűjthetők és hosszabb ideig tárolhatók (pl. Jülichben, Darmstadtban, Uppsalában). A Függelék rövid áttekintést nyújt a nagyobb európai iongyorsító berendezésekről.

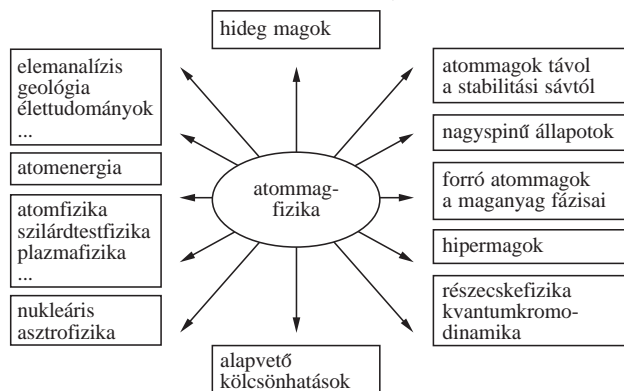
Az „Európai Tudomány Alapítvány” (*European Science Foundation*) NuPECC (*Nuclear Physics European Collaboration Committee*) kézikönyvében részletes információ található [Galés és mtsai 1998] a tagországokban működő más gyorsító laboratóriumokról is. Az információt néhány évenként felfrissítik. Számos gyorsító üzemel más földrészekeken. Általában a magfizikai laboratóriumokról részletes ismertetés található például a *Nuclear Physics News International* folyóirat folyamatosan megjelenő számaiban.

A magfizika területén jelenleg jelentős fejlesztőmunka folyik számos európai kutatóintézetben. Néhány, építés alatt álló nagyobb gyorsító a következő:

*CERN, Genf, Svájc.* LHC (*Large Hadron Collider*). Nyalábok: proton 14 TeV, Pb–Pb ütköztetés 5,5 TeV/u tömegközépponti energiánál. Várható beindulása 2007 körül.

*GSI, Darmstadt, Németország.* SIS 100/200 szupravezető szinkrotronok, CR tárológyűrű, NESR új kísérleti

1. ábra. Áttekintés a magfizika fejlődési irányairól.



tárológyűrű, szuper FRS fragmensszeparátor, HERS proton lineáris gyorsító és nagyenergiájú tárológyűrű. Nyalábok: 1,5 GeV/u  $^{238}\text{U}^{28+}$ , 30 GeV proton, másodlagos nyalábok: nehézionok 1,5–2 GeV/u, antiprotonok 3–30 GeV, radioaktív nyalábok, elektron–A ütköző, tárolt és hűtött antiprotonnyaláb. Beindulás: 2010 után.

*GANIL, Caen, Franciaország.* SPIRAL2 szupravezető lineáris gyorsító körülbelül 40 MV gyorsító potenciállal. Nyalábok: deuteron és nehézionok 14,5 MeV/u-ig. Radioaktív nyalábok utángyorsítása a CIME ciklotronban 3–10 MeV/u-ig, az  $A = 100$ –150 tömegtartományban. 2008 körül készül el.

*LNL, Legnaro, Olaszország.* SPES (Study and Production of Exotic Nuclear Species). Szupravezető lineáris gyorsító elsődleges 100 MeV-es protonnyalábját  $^9\text{Be}$  céltárgyra ejtve neutronokat nyernek, amivel hasadási termékeket állítanak elő. Ezeket ionizálják és 15 MeV/u energiára gyorsítják egy ALPI nevű szupravezető lineáris gyorsítóval. Továbbfejlesztés öt éven belül.

Tanulmány készült egy nagyintenzitású spallációs neutronforrás Európában történő létrehozására is. (A telepítési hely jelenleg nincs lerögzítve.)

Az USA-ban jelentős a Ritkaizotóp-gyorsító (*Rare Isotope Accelerator, RIA*), Japánban a Hadrongyár (*Japan Hadron Facility, JHF*) fejlesztés, amelyek mellett új generációs, on-line izotópszeparátorok is épülnek.

## Radioaktív nyalábokat szolgáltató berendezések

Az 1980-as évek végétől több, radioaktív nyalábot szolgáltató gyorsító üzembe lépett.

Az *ISOL (isotope separator on-line) berendezések* főleg stabil nyalábokat szolgáltató gyorsítók, illetve atommagreaktorok mellett működnek. A céltárgyban előállított radioaktív izotópokat elgőzölögtetik és egy elektromágneses izotóp szeparátor ionforrásába viszik. A szeparált radioaktív izotópok fel is gyorsíthatók.

Ilyen berendezések Európában a következők:

- Ciklotron plusz utángyorsító ciklotron kombinációja: CRC, Louvain-la-Neuve, Belgium. SPIRAL berendezés, GANIL, Caen, Franciaország.
- Proton szinkrotron plusz lineáris utángyorsító kombinációja: REX-ISOLDE, CERN, Genf, Svájc.
- Ciklotron plusz tandem utángyorsító: EXCYT berendezés, LNS, Catania, Olaszország.
- Reaktor plusz lineáris utángyorsító: OSIRIS berendezés, Studsvik, Svédország.

Hasonló berendezések működnek Észak-Amerikában is (Vancouver, Kanada; Oak Ridge és Argonne, USA).

Az ISOL módszerek elsősorban hosszabb felezési idejű izotópok ( $>0,1$  s) esetén használhatók hatékonyan.

Igen jelentős az EURISOL fejlesztési terv (Darmstadt), a berendezés 2013 után lesz kész. Valamivel hamarabb, 2008 körül várható a nagy intenzitású és energiájú ISOLDE (HIE-ISOLDE) berendezés beindulása a CERN-ben.

*Radioaktív nyalábokat* lehet előállítani például nehézion-gyorsítóknál a céltárgyból kirepülő termékek „röptében való szeparálásával”.

Ilyen fragmentációs berendezések üzemelnek a következő gyorsítóknál:

- UNILAC lineáris gyorsító plusz SIS szinkrotron plusz FRS fragmensszeparátor, GSI, Darmstadt, Németország.
- Két csatolt  $K = 380$  ciklotron plusz fragmensgyűjtő és -azonosító berendezés, SISSI, LISE, GANIL, Caen, Franciaország.

– U400 plusz U400M csatolt nehézion-ciklotronok plusz ACCULINNA és COMBAS fragmensszeparátorok, EAI, Dubna, Oroszország.

Hasonló berendezések működnek az USA-ban (NSCL, East Lansing), Japánban (RIKEN, Saitama) és Kínában (IMP, Lanzhou).

A szeparációs idő ezekben a berendezésekben nagyon rövid ( $<100$  ns). A radioaktív nyalábokkal dolgozó berendezésekről és a fejlesztési irányokról részletes információ található a *Bennett és mtsai* [2000] által összeállított NuPECC-tanulmányban.

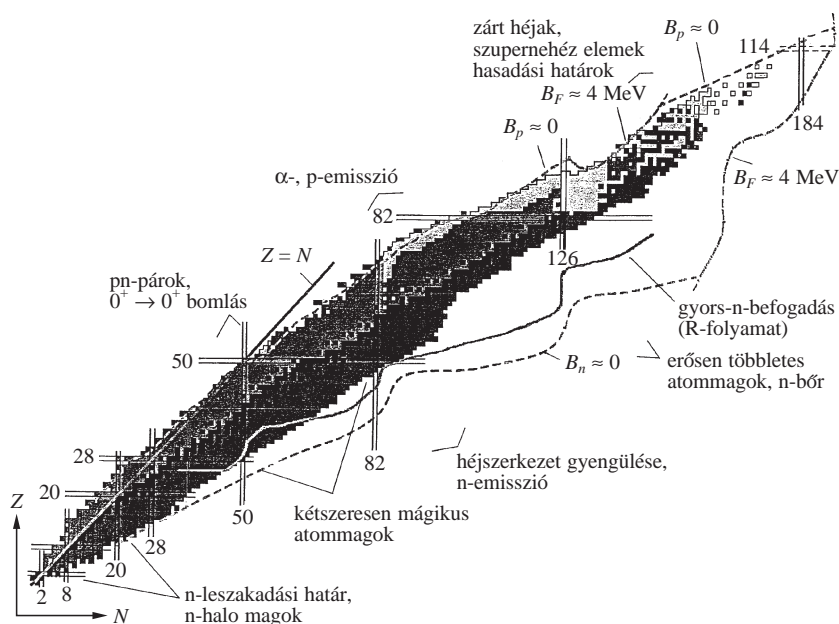
## Elektrongyorsítók

Az 1980-as és 90-es években *elektrongyorsítókat* is kiterjedten használtak magszerkezet-kutatásra. A leptonok nem vesznek részt az erős kölcsönhatásban, ugyanakkor érzékenyek a nukleáris, hadron, kvark és gluon sajátságokra. Az elektromágneses és gyenge kölcsönhatások törvényei jól ismertek, és így ezen elméletek keretében könnyebb az atommagok és hadronok sajátságait tanulmányozni. Viszonylag alacsony impulzusátadás ( $<0,1$  GeV/c) mellett az atommag elektromos és mágneses sajátságai tanulmányozhatók. Nagyobb átadott impulzus esetén az atommagon belül nukleonok és mezonok vizsgálhatók. Nagyenergiájú ( $>0,5$  GeV) elektronok szóródásának precíziós vizsgálata lehetővé teszi a protonpályák térbeli eloszlásának vizsgálatát nehéz magokban. (e,e'p) reakciókkal vizsgálható a protonok impulzuseloszlása az egyes pályákon. Az izovektor mágneses alakfaktor mérésével információt nyerhetünk az atommagokban fellépő mezonáramokra vonatkozóan.  $>2$  GeV/c impulzusátadásnál az elektronok közvetlenül a hadronok elemi összetevőivel lépnek kölcsönhatásba (kvarkok, gluonok).

Mindezen energiatartományokban már rendelkezésre állnak elektrongyorsítók. Ezek közül egyesek Európában vannak: DAΦNE (nagy luminozitású  $e^-e^+$  ütközőnyalábok 1 GeV tömegközépponti energiával, Φ-gyár) Frascati, Olaszország; DESY (*Deutsches Elektronen-Synchrotron*), HERA (*Hadron-Electron Ring Accelerator*), elektronvagy pozitrongyorsítás 27,5 GeV-ig, protongyorsítás 920 GeV-ig, elektron/pozitron – proton tárológyűrű, Hamburg, Németország; MAMI (*Mainz Microtron*) elektrongyorsítás 855 MeV-ig; MAX Laboratórium, elektrongyorsítás 95 MeV, Lund, Svédország.

## Mérőberendezések

Az 1970-es évek végén megjelentek a  $4\pi$  *gamma-detektorrendszerek*, majd ettől kezdve hatalmas fejlődésen mentek keresztül. Szegmentált Ge-detektorok (Compton-háttér lenyomásával) forradalmi javulást hoztak a reakciócsatornaszelekcióban, a diszkrét és folytonos gammasugár-spektroszkópiában (TESSA, GAMMASPHERE, MINIBALL, EXOGAM, MARS, EUROBALL stb. berendezések Európában és az USA-ban). Az egyik legnagyobb berendezés a  $4\pi$  EUROBALL, amelynek  $\sim 10\%$  a teljes fotocsúcs-hatásfoka, nagyon jó feloldás és gammasugár-multiplacitás mellett. További jelentős fejlődés várható az elektronikusan szegmentált Ge-detektorok és a digitalizált elektronika alkalmazásától. A töltött részecske, neutron és elektron félvezető-detektorok és -spektrométerek is hatalmas fejlődésen mentek át.



2. ábra. Az atommagok vizsgálata távol a stabilitási sávától. Rövid áttekintés a fontosabb kutatási irányokról.  $Z$  az atommagok rendszáma,  $N$  a neutronszáma. A stabil magokat fekete négyzetek jelölik. A lépcsőzetes vonalakkal határolt és sátrózott terület az ismert izotópok tartományát mutatja. A  $B_p \sim 0$  és  $B_n \sim 0$  görbék a proton-, illetve neutronleszakadási határok.  $B_F$  a hasadáshoz szükséges gerjesztési energiát jelöli.

## Hideg atommagok

A hideg atommagok vizsgálata precíziós berendezésekkel még most is lényeges új információt szolgáltat. Példaként a Penning-ioncsapdát említhetjük, amely lehetőséget ad *nagy pontosságú tömegmeghatározásra*. Az ionok ciklotronfrekvenciájának mérése lehetővé tette, hogy különbséget tegyünk a  $^{84}\text{Rb}$  alap- és izomérállapotú tömege között [ $T_{1/2}$  (alap) = 32,3 nap,  $T_{1/2}$  (izomér) = 20 min] [Moore és mtsai 1990]. A tömegkülönbség  $464 \pm 7 \text{ keV}/c^2$ . E teljesítmény új korszak bekövetkezését jelenti a tömegspektrometriában. A Penning-csapdában való direkt tömegméréssel rendkívüli pontosság érhető el: stabil magoknál  $\Delta m/m \approx 10^{-10}$ . Az ISOLTRAP módszerek lehetővé teszik majdnem minden atommag vizsgálatát, melyek felezési ideje  $> 0,1 \text{ s}$ .

Elektronnyaláb hűtésével ellátott tárológyűrűk és repülésidő-spektrométerek is nagyon hatékony eszközök a magtömeg mérésére. E módszerekkel igen sok atommag tanulmányozható egész a nukleon leszakadási határokig (*drip lines*). A pontos tömegmérések nagyon fontosak, mivel a jelenlegi tömegformulák nagy eltéréseket mutatnak az erősen neutronhiányos vagy -többletes atommagok adatainak megjóslásában.

Az on-line izotópszeparátor mellé telepített komplex rendszerek (atommagok orientálása, hiperfinom optikai és lézerspektroszkópiai berendezések stb.) lehetőséget adnak az *atommag-töltéssugár*, *spin*, *elektromos kvadrupól* és *mágneses dipólnyomaték* méréseire széles magtartományokban. Nagy bombázóenergiáknál a reakciók hatáskeresztmetszetének mérésével vizsgálhatók *atommag-tömegsugarak* és *neutronbőr-effektusok*.

A radioaktív nyalábokkal létrehozott egy- és kétnukleon-átadással zajló reakciók, a rugalmas és rugalmatlan

szóródások és a Coulomb-gerjesztés igen hatékony módszerek, amelyek értékes információt szolgáltatnak az egzotikus atommagok alap- és alacsonyban fekvő gerjesztett állapotairól. Vizsgálható a bombázó részecske térbeli kiterjedése, a neutron- és protoneloszlás sugara, a neutronbőr, a kölcsönhatási potenciál, a kollektivitás fokozatos kialakulása atommagokban, az egyrészecskés nívórendszer természete, párkorrelációk, izomér állapotok, *proton- és neutronhalok* stb. Mindez igen sok atommagnál, távol a stabilitási sávától is.

Az  $(e, e'p)$  és  $(e, e'pp)$  reakciók lehetőséget adnak a nukleonpárok közötti rövid hatótávolságú korreláció direkt vizsgálatára. Az utóbbi reakciónál egyértelműen észlelték a két korrelált proton emisszióját [Kester és mtsai 1993].

Tárológyűrűkben vizsgálható a fordított elektronbefogás jelensége. Ez erősen ionizált atomokban lép fel, úgy

hogy az atommag  $\beta^-$ -részecskét bocsát ki atomi kötött állapotba. A GSI-ben (Darmstadt) sikerül teljesen ionizált  $^{187}\text{Re}$  atom  $\beta^-$ -bomlását megfigyelni kötött állapotba.

A sokdetektoros  $\gamma$ -sugár-mérőrendszerek sikeresen alkalmazhatók hideg atommagok vizsgálatára is.

## Atommagok távol a stabilitási sávától

Közéltőleg 6000 atommag létezhet kötött állapotban a proton és neutronleszakadási (*drip*) vonalak között, de kísérleti információnk csak körülbelül 2830-ról van (beleértve a kb. 260 stabil atommagot is). Lásd a 2. ábrát.

Az *ismert elemek határát* intenzív neutronnyalábokkal és radioaktív céltárgyakon létrehozott  $(\alpha, n)$  reakciókkal  $Z = 101$ , mendeleviumig, nehézionnyalábokkal  $Z = 112$ -ig sikerült kiterjeszteni. Előzetes kísérleti eredmények mutatják a  $Z = 114$  és  $118$  elemek létezését is. A vizsgálatokat folytatják még nehezebb elemek előállítására,  $Z = 114$ – $118$  és  $N = 178$ – $184$  körül. Erős zárt protonhéjffektus jósolható meg  $Z = 126$ -nál.

Intenzív neutrongazdag radioaktív nyalábok, kombinálva neutrongazdag céltárgyakkal, perspektívát nyújtanak az ismert elemek határának további kiterjesztésére. Mindazonáltal a nehézségek igen nagyok, mivel a reakció-hatáskeresztmetszetek rendkívül kicsik ( $n\text{barn} \rightarrow p\text{barn}$ ).

A jelenlegi gyorsítókkal előállíthatók *erősen neutronhiányos atommagok* a proton leszakadási görbéje környékén, sőt még azon túl is. A  $Z = N$  és szomszédos atommagok vizsgálata  $A = 100$ -ig információt adhat az izospin szerepéről, a tükrömágról, a szupermegengedett béta-bomlásról, proton-neutron párkorrelációkról, egzotikus magalakokról (szuper-, hiper-, oktupól-deformált állapotokról, háromtengelyű deformációról stb.).



Lehet vizsgálni az atommagokat a protonleszakadási görbén túl is, ahol kvázistacionárius állapotban létezhetnek. Ezek alapállapotból protonemitterek, de a bomlás a potenciálfalon át alagúteffektussal történik, véges valószínűséggel.

A könnyű, erősen neutrontöbbletes atommagokban (pl.  ${}^8\text{He}$ -,  ${}^{11}\text{Li}$ -, és  ${}^{14}\text{Be}$ -ben) vizsgálhatók a majdnem tiszta neutronanyag sajátosságai. Kiderült, hogy sok atommagban, például a  ${}^6\text{He}$ -,  ${}^{11}\text{Li}$ -,  ${}^{12}\text{Be}$ -,  ${}^{14}\text{Be}$ -, és  ${}^{17}\text{B}$ -ban az utolsó két neutron rendkívül lazán kötött, és ezekben neutronhalo alakult ki. A halo átmérője sokszorosan nagyobb, mint a törzsé, lásd [Hansen és mtsai 1995]. A két haloneutron a  ${}^{11}\text{Li}$ -ban lágy elektromos dipóloszcillációt végezhet. A nukleonok gyenge kötése a leszakadási görbe közelében a magfelület nagy diffúzióját eredményezi és a legkülső neutronok nagy térbeni kiterjedését.

A protonokra vagy neutronokra ható potenciál távol a stabilitási sávtól egész más lehet, mint annak közelében. A neutrongazdag atommagok szerkezetének vizsgálata egyike a jelenlegi magszerkezeti kutatások fontos témáinak. Várható például, hogy az erősen neutrontöbbletes atommagok felületén neutronbőr képződik.

Kiss és mtsai [1987] megfigyeltek diszkrét, nem kötött állapotokat a  ${}^{165}\text{Ho}+{}^{14}\text{N}$  ütközésben 490 MeV nitrogénion-energiánál. A neutronspektrumot koincidenciában detektálták a nehézion-ütközés fragmenseivel. A neutronbomlás a könnyű fragmens egy jól ismert gerjesztett állapotából történik.

Távol a stabilitási sávtól kétszeresen mágiikus atommagokat is előállítottak ( ${}_{28}^{88}\text{Ni}$ ,  ${}_{50}^{100}\text{Sn}$ ,  ${}_{50}^{132}\text{Sn}$ ). Ezek és szomszédai vizsgálata értékes információt szolgáltat az egyrészeske-energiákra és a maradék kölcsönhatásra, amelyek alapvető fontosságúak a környező atommagok héjmodellel történő leírásához. Az inverz kinematikában (egzotikus nyaláb, stabil és esetleg polarizált céltárgy) végrehajtott egyrészeskes transzferreakciók kitűnő lehetőséget nyújtanak a héjszerkezet széles tartományokban való vizsgálatához.

A radioaktív ionnyalábbal működő berendezések lehetővé teszik hosszú izotópláncok vizsgálatát. Ilyen módon a *kollektivitás kialakulására* is fény derülhet. Váratlanul erős deformációt észleltek a  $Z = N = 38$  környékén levő atommagoknál (ld. [Möller és mtsai 1995]). A félmágiikus  ${}_{12}^{32}\text{Mg}$  atommag szuperdeformáltnak bizonyult. Terasaki és mtsai [1997] által végzett Hartree-Fock-Bogoljubov-típusú számítások mutatják, hogy a héjszerkezetben lévő rés eltűnik a Mg-izotópoknál. A  ${}_{12}^{36,38,40}\text{Mg}$  atommagokban az alapállapotok erősen deformáltak, és a deformáció különböző protonokra, illetve neutronokra. Az instabil atommagok Coulomb-gerjesztésével nívók élettartama és kollektív vibrációs állapotok vizsgálhatók. Rendkívül változatos magalakok előállítása várható. Az  $N = 28$  héjlezáródás gyengülését a neutrongazdag  $S \rightarrow \text{Ar}$  atommagoknál is megfigyelték [Sobler és mtsai 2000].

Távol a stabilitási sávtól számos, nem hagyományos bomlásmód is tanulmányozható: *protonkibocsátás alapállapotból, késleltetett p-,  $\alpha$ -, n-emisszió, hasadás alap- és gerjesztett állapotokból*. Proton-radioaktivitást észleltek a  $Z = 51-55$  és  $69-83$  tartományokban. Nehéz atommagok,

például  ${}^{14}\text{C}$ ,  ${}^{24}\text{Ne}$  stb. emisszióját (csomó-radioaktivitást) is sikerült kísérletileg kimutatni (a csomó-radioaktivitás elméletével kapcsolatban ld. Lovas és mtsai [1998] összefoglaló közleményét).

A radioaktív részecskenyalábokkal végzett kísérletek perspektíváit részletesen elemzi Bennett és mtsai [2000] tanulmánya.

## Nagyspinű állapotok

Nehézionnyalábokkal lehetőség nyílik igen nagy ( $\geq 100 \hbar$ ) impulzusnyomaték átadására. Noha a hasadás határt szab a nagyspinű állapotoknak, kísérletileg észleltek  $\sim 70 \hbar$  impulzusnyomatékú állapotot, például  ${}^{149}\text{Gd}$ -nál (ld. Nolan [1993] összefoglaló munkáját). A nagyspinű állapotok vizsgálata sok érdekes jelenség felfedezéséhez vezetett. Néhányat felsorolunk közülük.

- A *visszahajlás (back-bending) észlelése*, azaz a tehetetlenségi nyomaték hirtelen megváltozása növekvő rotációs sebesség mellett. Az effektust egy (vagy több) nukleon impulzusnyomatékának a rotációs tengely irányába való hirtelen beállása okozza.

- A *szupravezető típusú párkorreláció feltörése* növekvő rotációs frekvenciánál. Ez a változás rendszerint fokozatos. Először a nagy  $j$ -vel rendelkező állapotok orientálódnak, a többiek később. A Coriolis-kölcsönhatás Hamilton-operátora arányos az impulzusnyomatékkal ( $j$ ).

- *Atommag szuperdeformációjának észlelése* [Twin, Nyakó és mtsai 1986]. Szuperdeformált állapotokban a kvadrupóldeformáció igen nagy, az ellipszoid tengelyarányai rendszerint 3:2:2 és 2:1:1 között vannak. Az erős centrifugális erő stabilizálhatja a szuperdeformált állapotokat még alacsony gerjesztési energiánál is. Az 1990-es évek második felében már több mint 170 szuperdeformált sáv volt ismeretes különböző tartományokban ( ${}^{60}\text{O}$ ,  ${}^{40,42}\text{Ca}$ ,  $A \approx 80, 150, 190$ ). A *hiperdeformált állapotok* (3:1:1 tengelyarány) vizsgálata is intenzíven folytatódik. Több  $\alpha$ -részecskéből álló láncok mutatják a rendkívül egzotikus alakok létét, ezeket magreakciókban rezonanciaként észlelték.

- Azt tapasztalták, hogy a *magalakok igen gazdag változatosságot mutatnak* a neutronsám és a spin függvényében. Például a Dy-izotópokban megnyúlt, háromtengelyű és belapult alakú állapotokat azonosítottak, amelyekben az egyes nukleonpályák orientálva vannak [Henning 1983]. Annak vizsgálata, hogy növekvő spin mellett hogyan viselkedik az atommag, a jelenlegi magszerkezet-kutatás egyik izgalmas témája. Nagy háromtengelyű deformációt észleltek, például a Lu-izotópokban.

- Bizonyos atommagokban *parallel pozitív és negatív paritású sávokat észleltek*, például a  ${}^{218,220,222}\text{Rn}$  és  ${}^{222,224,226,228,230}\text{Ra}$ -ban. Butler és mtsai [1998] szerint a 228-nál kisebb tömegszámú Ra-izotópoknak körte alakú deformációja van, míg a Rn-izotópok oktapól vibrátorként viselkednek.

- Bizonyos könnyű Pb és Bi atommagokban *kiemelten erős mágneses dipólátmeneteket észleltek*. Ez egy új típusú „mágneses rotáció” megnyilvánulása.

– Azonos szuperdeformált állapotok (sávok) észlelése a szomszédos atommagokban, amelyek néhány keV-en belül ugyanolyan kvantumenergiájú  $\gamma$ -sugarakat bocsátanak ki. Azonos sávokat észleltek például a  $^{151}\text{Tb}$  és  $^{152}\text{Dy}$ -ban [Byrsky és mtsai 1990]. A sávokban a dinamikus tehetlenségi nyomatékok is azonosak lehetnek. Ilyen konfigurációk stabilitása az egyrészeszkés mozgás egy új csatolási formájára utal.

– Nagy  $K$  kvantumszámmal rendelkező izomér állapotok észlelése, az állapotok bomlásajátságainak vizsgálata.

– A többfononos vibráció és multifononos állapotok fragmentációjának tanulmányozása deformált atommagokban.

– Atommagok molekuláris állapotainak vizsgálata. Ezekről például a nehézion-ütközésekben tapasztalható rezonanciák adnak felvilágosítást. A  $^{24}\text{Mg} + ^{24}\text{Mg}$  és hasonló rendszerek éles rezonanciákat mutatnak nagy gerjesztési energiáknál, ami jelzi az atommagok molekuláris rendszereinek létrejöttét.

A többdetektoros gamma-spektrométerek és a radioaktív bombázó nyalábok hatékonyan segíthetik a nagy-spinű állapotok vizsgálatát. Például a háromszoros, négy-szeres stb. incidenciák felhasználása a jel/zaj viszonyt lényegesen javítja.

## Forró atommagok

Növekvő gerjesztési energiáknál sok érdekes jelenség vizsgálható.

– Ezek egyike a Gamow–Teller-rezonancia ( $p, n$ ) reakciókban. Amikor a ( $p, n$ ) folyamatban a céltárgy atommagbéli neutronját kicserélik protonra, izobáranalóg-állapotok jönnek létre. A reakció lejátszódhat spin-átbillenés nélkül és átbillenéssel. Az előbbi tisztán Fermi-átmenetnek felel meg a  $\beta$ -bomlásban, míg az utóbbi Gamow–Teller ( $G-T$ )-átmenetnek. A  $G-T$ -rezonanciaerősség meghatározott állapot(ok)ra koncentrálódhat, és a rezonanciaerősség kvantitatív összefüggésben van a  $\beta$ -bomlás  $G-T$ -erősségével. Ez egy fajtája az  $M1$  óriásrezonanciának.

– Az atommagok  $M1$  rezonanciájának, a neutronok és protonok egymáshoz viszonyított kisszögű, „ollo” típusú vibrációjának vizsgálata szintén érdekes témája a magszerkezet-vizsgálatoknak. Mágneses dipólrezonanciát észleltek sok ritkaföld-atommagban rugalmatlan proton-, elektron- és foton-szórásban, körülbelül 3 MeV gerjesztési energiáknál.

– Néhányszor 10 MeV gerjesztési energiánál sokféle óriásrezonancia jelenhet meg. Az izoskalár, illetve izovektor kollektív gerjesztésekben a protonok és neutronok az atommagban fázisban, illetve fázison kívül mozognak. Az izoskalár óriás monopól- és kvadrupól-, valamint az izovektor dipólrezonanciák viszonylag jól ismertek, de több kísérleti adat szükséges az izovektor monopól- és kvadrupólgerjesztések megértéséhez. A monopól óriásrezonancia információt szolgáltat a maganyag kompresszibilitására. A kompresszibilitás vizsgálata a maghőmérséklet függvényében nagyon fontos mind magfizikai, mind asztrofizikai szempontból.

– Nagy gerjesztési energiáknál az atommag kaotikus sajátságokat mutathat. Ez például úgy tanulmányozható, hogy mérjük a távolságot az azonos kvantumszámhoz tartozó, egymás után következő nívók között. Az  $(n, \gamma)$  reakciók és proton-rezonanciaszórás kísérletek információt szolgáltatnak a magasan fekvő nívókról. A kvantumkáosz egyik jele, hogy a nívók „taszítják” egymást (az eloszlásuk kezd egyenletes lenni). A rezonancianívók energiájára vonatkozó adatok világosan mutatják a kaotikus viselkedés megjelenését az atommagokban [Haq és mtsai 1982]. A rend  $\rightarrow$  káosz átmenet további vizsgálata aktuális téma. Különösen fontos annak az energiának meghatározása, ahol megtörténik az átmenet a rendből a káoszba. A rotációs átmenetek hosszú láncai deformált atommagokban nagyon alkalmasak ilyen vizsgálatokra. A kísérleti adatok mutatják, hogy a rotációs erősségfüggvény a magasan fekvő állapotokra fragmentálódik, az atommag pörgésénél a rotációs frekvenciának bizonyos véges eloszlása van, a rotációt a termikus fluktuáció befolyásolja.

– A hadronok sajátságainak vizsgálata választ adhat arra a sarkalatos kérdésre, hogy *hogyan lehet megérteni a nukleon–nukleon kölcsönhatást kvark–gluon alapon.*

– A maganyag különböző fázisállapotainak vizsgálata egyike korunk magfizikájának legfontosabb problémáinak. A nehézion-ütközések lehetőséget adnak az atommag erőteljes felmelegítésére és összenyomására.

A Fermi-energia közelében ( $\sim 100 A \cdot \text{MeV}$ ) vizsgálható a maganyag fázisátmenete, amely analógiát mutat a klasszikus folyadék  $\rightarrow$  gáz átmenettel.

Relativisztikus ( $\sim 1 A \cdot \text{GeV}$ ) nehézion-energiáknál vizsgálható a nagyon forró és sűrű maganyag állapot-egyenlete, ami megadhatja a kulcsot például a nóva-, illetve szupernóva-robbanások megértéséhez is. Alapvetően fontos a maganyag kompresszibilitásának ismerete. Ez a mennyiség szabja meg a maganyag ellenálló-képességét a gravitációs nyomással szemben, és hatással van arra, hogy mikor omlik össze a neutroncsillag fekete lyukká. A monopól óriásrezonanciából – az alapállapot közelében – meghatározott kompresszibilitás azonban más lehet, mint a nagyon forró és nagyon sűrű maganyag kompresszibilitása. Extrém feltételek mellett a barionok és mezonok sajátságai módosulhatnak, ezért új kísérleti adatokra van szükség. Relativisztikus nehézion-energiáknál vizsgálható a multifragmentáció jelensége is.

Ultrarelativisztikus energiáknál ( $\sim A \cdot \text{TeV}$ ) tanulmányozható, hogy az elemi részecskék mikroszkopikus sajátságai alapján hogyan lehet megérteni kollektív jelenségeket és a makroszkopikus maganyag sajátságait. A kvantumszindinamikai (QCD) elmélet  $T_c \approx 170$  MeV kritikus hőmérsékletnél ( $\sim 1 \text{ GeV}/\text{fm}^3$  energiasűrűségnél) átmenetet jósol meg kvark–gluon plazmába.

Ultrarelativisztikus nehézion-ütközések vizsgálhatók Európában a CERN-SPS gyorsítónál. 2007 körül várható a CERN új gyorsítójának, az LHC-nek beindulása, ami lehetőséget ad például Pb–Pb atommagok ütközésének vizsgálatára 5,5 TeV/nukleon tömegközépponti energiánál. Ez körülbelül 30-szoros ugrást jelent az elérhető relativisztikus nehézion-ütközési energiában. Az USA-ban, a Brookhaveni Nemzeti Laboratóriumban működik relativisztikus nehézion-ütközési gyorsító.

## Hipermagok

A magszerkezet-kutatás egyik igen perspektivikus iránya a hipermagok vizsgálata.  $(K^-, \pi^-)$ ,  $(e, e'K)$  és más reakciókkal lehetőség nyílik hipermagok előállítására, amelyekben egy neutron ( $m_n = 940 \text{ MeV}/c^2$ ) egy kicsivel nehezebb  $\Lambda$  ( $m_\Lambda = 1116 \text{ MeV}/c^2$ ) vagy  $\Sigma^0$  ( $m_{\Sigma^0} = 1193 \text{ MeV}/c^2$ ) hiperonnal van helyettesítve. A hiperon egy belső maghéjon is mozoghat, ezt nem tiltja a Pauli-elv. Ilyen módon a belső héjak és a nukleon–hiperon kölcsönhatás tanulmányozható.

E vizsgálatok még kezdeti stádiumban vannak, de már van néhány sokat ígérő eredmény. Például a mélyen kötött  $\Lambda$ -pályák energianívóit lemérték több magnál egészen a  $^{208}\text{Pb}$ -ig [Hasegawa és mtsai 1996], és észlelték a  $^4\text{He}$   $\Sigma$ -hipermag kötött állapotait is [Hayano és mtsai 1989]. Néhány eredményről a 3. ábra ad tájékoztatást.

Európában a FINUDA kísérlet a DAΦNE gyorsító mellett (Frascati, Olaszország), a HESR program a GSI-ben (Darmstadt, Németország), valamint a COSY (Jülich, Németország) gyorsító melletti programok lényeges előrelépést ígérnek a közeljövőben a hipermagok spektroszkópiájában. Az USA-ban a Brookhaveni Nemzeti Laboratóriumban és a Jefferson Laboratóriumban (Virginia), Japánban a Japán Hadrongyárban szintén jelentős programok futnak a hipermagok vizsgálatával kapcsolatban.

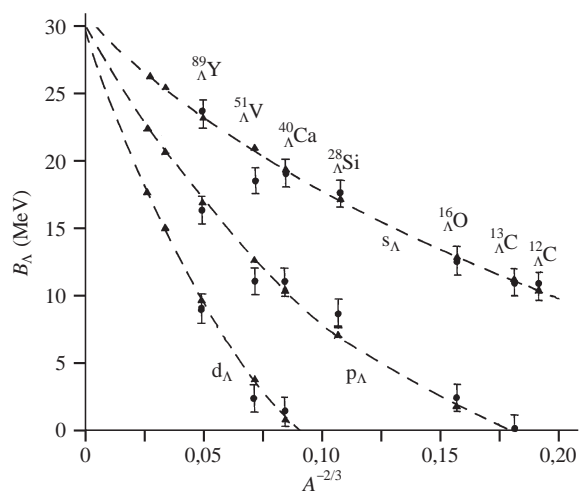
## Nukleáris asztrofizika

A magfizikai ismereteink fejlődése nagyban elősegíti az asztrofizika számos kulcsfontosságú problémájának megoldását. A következőkben a teljesség igénye nélkül felsorolunk néhány témakört, ahol a közeljövőben jelentős előrelépés várható.

A *hidrosztatikus égési folyamatok* pontosabb megértéséhez alapvetően fontos számos magreakció hatáskeresztmetszetének meghatározása a Gamow-csúcsnak megfelelő energianál. A Gran Sassóban lévő LUNA föld alatti laboratóriumban például sikerült különlegesen alacsony háttér mellett meghatározni a  $^3\text{He}(^3\text{He}, 2p)^4\text{He}$  és  $^2\text{H}(p, \gamma)^3\text{He}$  reakciók hozamát (asztrofizikai  $S$ -faktorát) olyan energianál, amely a Nap belsejében uralkodik. A föld alá telepített 400 kV-os gyorsítóval vizsgálják a  $^{14}\text{N}(p, \gamma)^{15}\text{O}$  reakció hozamát is, ami fontos a CNO ciklusban termelt neutrínófluxus meghatározásához.

Nagyenergiájú nehézionnyalábokkal új adatokkal gazdagíthatók a maganyag állapotegyenletével kapcsolatos ismereteink. Ezek viszont lényegesek a *super-nóva-robbanások*, a *neutroncsillagok* fizikájának megértéséhez.

A *nukleoszintézis s-folyamatának* pontos megértéséhez nagyszámú, új  $(n, \gamma)$ ,  $(n, p)$  és  $(n, \alpha)$  hatáskeresztmetszet-adatra van szükség, széles tömegszám-tartományban,  $10 < kT < 50 \text{ keV}$  tipikus neutronenergiáknál. Ehhez nagy neutronfluxusok és fejlett neutron-repülésiidőt mérő berendezések szükségesek, amelyek például a CERN-ben rendelkezésre állnak.



3. ábra. A  $\Lambda$  hiperon kötési energiája ( $B_\Lambda$ ) különböző maghéjakon a tömegszám ( $A$ ) függvényében. A szaggatott vonalakkal összekötött háromszögek elméleti eredmények. [Chrien, Dover 1989] alapján.

A nukleáris asztrofizikának különösen sokat adhat a stabilitási sávtól távol eső atommagok előállítása és vizsgálata intenzív radioaktív nyalábokkal (pl. a REX-ISOLDE, HIE-ISOLDE (CERN), EURISOL (GSI), SPIRAL2 (GANIL), SPES (LNL, Legnaro) stb. programok). Az *r-folyamatban* történő nukleoszintézis teljesebb megértéséhez alapvetően fontos az erősen neutrontöbbletes atommagok  $\beta$ -bomlási felezési idejének, tömegének és neutronbefogási hatáskeresztmetszetének ismerete. Nagyenergiájú nehézionnyalábokkal létrehozott hasadási és fragmentációs reakciókkal új neutrontöbbletes atommagok százai állíthatók elő. Tömegük lemérhető például tárológyűrűkben vagy más módszerekkel. A neutronbefogási hatáskeresztmetszetekre is nyerhetünk információt közvetve, radioaktív nyalábokkal létrehozott  $(d, p)$  reakciók segítségével. Számos laboratóriumban elérhető lesz pár MeV/nukleon energiára gyorsított radioaktív nyaláb a reakciók létrehozására.

E néhány kiragadott példán kívül sok más területen is várható lényeges előrelépés. Ezekkel kapcsolatban utalunk Corvisiero és mtsai tanulmányára, amely a *Harakeb* és mtsai [2004] által szerkesztett NuPECC-közleményben található.

## Kvantumkromodinamika

A Standard Modell lehetővé teszi, hogy az elektromágneses és gyenge, valamint az erős kölcsönhatás bizonyos sajátosságait egységes keretben lehessen tárgyalni. A magfizikai kutatások alapvető célja, hogy a Standard Modelltől kiindulva, azt meghaladva teljesebben meg lehessen érteni a magerőket és az alacsonyenergiájú magfizika, a magszerkezet jelenségeit is. Ez egy hosszú távú program, amely mind kísérleti, mind elméleti téren jelentős erőfeszítést igényel. A programhoz lényeges hozzájárulást ad az egzotikus, gyorsított nyalábok megjelenése és a detektálási, mérési módszerek folyamatban lévő fejlesztése. A számítógép-kapacitás növekedése ma már lehetővé teszi, hogy  $A \sim 12$  tömegszámig két-, illetve háromtest-erőkből kiinduló mikroszkopikus számításokat lehessen végezni.



Távolabbi cél olyan modell megtalálása, amely lehetőséget ad minden fizikai folyamat leírására (beleértve a gravitációs kölcsönhatást is), fogalmilag kielégítő, egységes keretben.

## Alapvető kölcsönhatások

Az alapvető kölcsönhatások és szimmetriák vizsgálata is sokat profitálhat a magfizikai gyorsítási és mérési módszerek fejlődéséből. Folyamatban vannak a következő kutatások:

- A neutrínó sajátosságainak vizsgálata (tömeg, oszcilláció stb.).
- Az invarianciaelvek érvényességének (sérülésének) vizsgálata (időinverzió, CP (egyesített töltés és paritás)-invariancia sérülése, molekulák, atomok és nukleonok elektromos dipólnyomatékának mérése, elektron–neutrínó korreláció vizsgálata  $\beta$ -bomlásban stb.). A CP-sértés fizikai alapjainak megértése különösen fontos, mivel közvetlen kapcsolatban van az Univerzum észlelt anyag–antianyag aszimmetriájával.
- A fizika alapvető állandóinak pontosabb meghatározása.
- A gravitációs kölcsönhatás kvantumos leírása.

## Függelék

Rövid áttekintés a nagyobb európai iongyorsító berendezésekről (intézmény neve, hely, gyorsító, gyorsított ionok, főbb magfizikai kutatási témák).

*CERN, Genf, Svájc.* Szuper Proton Szinkrotron (SPS), proton 450 GeV-ig; O-, S-, Pb-ionok 200 GeV/u ( $u = \text{tömegegység}$ ); REX-ISOLDE-hoz PS belövő gyorsító, 1,4 GeV proton. Részecskefizika, atommagok távol a stabilitási görbétől.

*GSI, Darmstadt, Németország.* Lineáris gyorsító UNILAC,  $H \rightarrow U$  ionok 20 MeV/u-ig; nehézion-szinkrotron SIS,  $H \rightarrow U$  ionok 2 GeV/u-ig; nehézion-tárológyűrű ESR,  $H \rightarrow U$  ionok 0,8 GeV/u-ig; pionnyalábok. Témák: magreakciók, maganyag állapotegyenlete, hadronanyag, szupernehéz elemek, egzotikus magok távol a stabilitási sávától, mag–atomháj kölcsönhatások.

*GANIL, Caen, Franciaország.* Két belövő és két szeparált szektorú ciklotron kaskád üzemben plusz egy nagy akceptanciájú CIME ciklotron radioaktív ionok gyorsítására. Stabil C-ionok (95 MeV/u-ig)  $\rightarrow U$ -ionok (24 MeV/u-ig); radioaktív nyalábok 20–80 MeV/u energiatartományban, röptében való szeparálással (SISSI berendezés), gyorsított radioaktív nyalábok <25 MeV/u-ig (SPIRAL berendezés). Témák: atommag-dinamika, forró atommagok, óriásrezonancia, egzotikus magok, ütközések másodlagos nyalábokkal.

*LNL, Legnaro, Olaszország.* Tandem–ALPI gyorsítókomplexum, 16 MV-os elektrosztatikus tandem gyorsítóval és szupravezető lineáris utángyorsítóval. Nehéz ionok  $A < 100$ , ekvivalens feszültség 25 MeV/q. Témák: magszerkezet nagy spineknél, szuperdeformáció, egzotikus magok, nehézion-ütközések, reakciók, óriásrezonanciák, magreakciók könnyű ionokkal és neutronokkal.

*LNS, Catania, Olaszország.* Elektrosztatikus 16 MV maximális terminál-feszültségű tandem,  $Li \rightarrow U$ -ionok;  $K = 800$  szupravezető ciklotron, nehéz és könnyű ionok, 10–70 MeV/u energia. Témák: a könnyű magok szerkezete, reakciómechanizmus, nagyspinű állapotok, hasadás, óriásrezonanciák, fragmentáció, állapotegyenlet, fázisátalakulás a maganyagban.

*KVI, Groningen, Hollandia.*  $K = 600$  szupravezető ciklotron AGOR, polarizált proton 190 MeV-ig, deuteron 180 MeV-ig; nehézionok  $6 \rightarrow 90$  MeV/u-ig. Témák: magszerkezet, óriásrezonancia, magok egzotikus körülmények között, nehézion-reakciók dinamikája, maganyag, nukleon–nukleon fékezési sugárzás.

*FZJ, Jülich, Németország.* Cooler Synchrotron (COSY) belövő ciklotronnal. p- és d-nyalábok 3,65 GeV-ig, tárológyűrű, a nyaláb hűtése elektronnyalábbal. Témák: közepes energiájú atommag- és hadronfizika.

*JYFL, Jyväskylä, Finnország.* AVF  $K = 130$  ciklotron ECR-ionforrással. Könnyű és nehézionok. Témák: atommagok és bomlásaik vizsgálata extrém spin, izospin és gerjesztési energiáknál. Nehézion-reakciók dinamikája.

*CRC, Louvain-la-Neuve, Belgium.* Három CYCLONE ciklotron.  $H \rightarrow Xe$ -ionok, például  $^{12}C$ -ionok 25 MeV/u-ig,  $^{40}Ar$ -ionok 10 MeV/u-ig. Utángyorsított radioaktív ionok 10 MeV/u-ig. Témák: magfizika és nukleáris asztrofizika radioaktív nyalábokkal. Atommagok távol a stabilitási sávától. Nehézion-reakciók mechanizmusa. Gyors neutronok kölcsönhatásai.

*ISL, Uppsala, Svédország.* Gustaf Werner-ciklotron és CELSIUS tárológyűrű elektronokkal való nyalábhűtéssel. p 1,36 GeV-ig, könnyű ionok  $A < 20$ , 470 MeV/u-ig. Témák: közepes energiájú magreakciók, neutronreakciók, mezonkeltés, mezonok ritka bomlása, nehézion-reakciók.

*Egyesített Atommagkutató Intézet (EAD), Dubna, Oroszország.* U-400 és U-400M nehézion-ciklotronok,  $K = 450$ ,  $K = 630$ . Témák: nehézion-reakciók, maghasadás, szupernehéz elemek, erősen neutron-többletes könnyű izotópok.

*Nehézion Laboratórium, Varsó, Lengyelország.*  $K = 160$  izokrón-ciklotron, ECR-ionforrás,  $He \rightarrow Ar$ -ionok. Témák: magszerkezet, in-beam spektroszkópia, óriásrezonanciák, Coulomb-gerjesztés, atommagok távol a stabilitási sávától.

## Irodalom

### Összefoglaló munkák

- BALDO M. et al., 2000: *Computational nuclear physics*, NuPECC Report (CERN-ISOLDE, Genéve)
- BENNETT R. et al., 2000: *Radioactive nuclear beam facilities*, NuPECC Report (CERN-ISOLDE, Genéve)
- FÁI GY., LÉVAI P., 2003: *Az Egyesült Államok magfizikusainak tízéves kutatási terve*, Fiz. Szemle 53/3 117
- GALÉS S. et al., 1998: *International access to nuclear facilities in Europe*, NuPECC Handbook, 4th ed. (ESN, NuPECC, Strasbourg)
- HARAKEH M. et al., eds., 2004: *Nuclear physics in Europe: Highlights and opportunities*, NuPECC Report
- LUNNEY D., PEARSON J.M., THIBAUT C., 2003: *Recent trends in the determination of nuclear masses*, Rev. Mod. Phys. 75 1021
- SCHIFFER J.P. et al., 1999: *Nuclear physics: the core of matter, the fuel of stars*, Nucl. Phys. International 9 No. 3, 4
- VERVIER J. et al., 1997: *Nuclear physics in Europe: highlights and opportunities*, NuPECC report (ESF, NuPECC, Orsay)

### Hivatkozások

- BUTLER P.A., COCKS J.F.C., GREENLEES P.T., 1998: *Heavy Ion Physics* 71
- BYRSKI T. et al., 1990: *Phys. Rev. Lett.* 64 1650
- CHRIEN R.E., DOVER C.B., 1989: *Ann. Rev. Nucl. Part. Sci.* 39 113
- HANSEN P.G., JENSEN A.S., JONSON B., 1995: *Ann. Rev. Nucl. Part. Phys.* 45
- HAQ R.U., PANDEY A., BOHIGAS O., 1982: *Phys. Rev. Lett.* 48 1086
- HASEGAWA T. et al., 1996: *Phys. Rev. C* 53 1210
- HAYANO R.S., ISHIKAWA T., IWASAKI M., OUTA H., TAKADA E., TAMURA H., SAKAGUCHI A., AOKI M., YAMAZAKI T., 1989: *Phys. Lett. B* 231 355
- HENNING W., 1983: *Nucl. Phys. A* 400 295c
- KESTER L.J.H. et al., 1993: *Nucl. Phys. A* 553 709c
- KISS Á., DEÁK F., SERES Z., CASKEY G., GALONSKI A., HEILBRONN L., REMINGTON B.A., KASAGI J., 1987: *Phys. Lett. B* 184 149
- LOVAS R.G., LIOTTA R.J., INSOLIA A., VARGA K., DELION D.S., 1998: *Phys. Rep.* 294 265
- MOORE R.B., ROULEAU G. (Mainz–CERN Coll.), 1990: *Progr. Rep. Foster R. Lab., Dept. Phys., McGill Univ.*; MOORE R.B., GULICK S., 1988: *Physica Scripta T* 22 28
- MÖLLER P., NIX J.R., MYERS W.D., SWIATECKI W.J., 1995: *Atomic Data and Nuclear Data Tables* 59 185
- NOLAN P.J., 1993: *Nucl. Phys. A* 553 107c
- SOHLER D. et al., 2000: *Int. symp. on exotic nuclear structures*, Debrecen, Hungary, Book of abstracts (ATOMKI, Debrecen) p. 40
- TERASAKI J., FLOKARD H., HEENEN P.-H., BONCHE P., 1997: *Heavy Ion Physics* 6 201
- TWIN P.J., NYAKÓ B. et al., 1986: *Phys. Rev. Lett.* 57 811

# RÉGI-ÚJ ÁRAMFORRÁSOK: A TÜZELŐANYAG-ELEMEK

Inzelt György  
ELTE, Fizikai-Kémiai Tanszék

Az utóbbi időkben sok sajtóközlemény jelent meg a tüzelőanyag-elemekről. Hallunk ezekről az áramforrásokról a többi tájékoztató eszköz műsoraiban is. Más tudományos vagy alkalmazott kutatási eredményről jóval kevesebb információt tesznek közzé. Még a tüzelőanyag-elemek olyan testvéréről sem, mint az utóbbi hat évben egyre jobban terjedő Li-ion-elemek. 1997-ben még nem gyártottak Li-ion-elemet, 2003-ban pedig már több mint egymilliárd darabot állítottak elő. Ez tette lehetővé a még kisebb mobiltelefonok elterjedését. Ha megnézzük a legújabb típusokat, azokban biztosan egy kisméretű, prizmatikus Li-ion-elemet találunk. Ezek teljesen új elven működő galvánelemek, míg a tüzelőanyag-elemek 165 éves múltra tekintenek vissza. Miért ez a hirtelen nagy népszerűség? Nem csigázom tovább a tisztelt olvasó kíváncsiságát. Elárulom, hogy ezektől az áramforrásoktól várjuk energiaigényünk egy részének kielégítését, és ami ugyanilyen jelentőségű, a környezetünk szennyeződésének csökkenését. Persze van még egy összetevője a hatványozott érdeklődésnek: a pénz. Hihetetlen összegek áramlanak ezeknek a kutatásoknak és fejlesztéseknek a támogatására. Bár sokan és sokat dolgoztak a területen – majd látni fogjuk, hogy nem is eredménytelenül – az események igazán az utóbbi időkben gyorsultak fel.

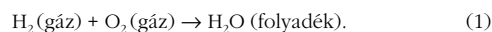
Kevés olyan eszköz, technológia van, amely több oldalon keresztül szerepel a White House honlapján, és amelyről az Amerikai Egyesült Államok elnöke az Unió helyzetéről szóló, országértékelő beszédében hosszan beszél [1, 2]. Még fényképek is megjelennek *Bush elnök tüzelőanyag-cellákkal* címmel. Az USA kormánya már évtizedek óta nagy pénzeket fordított e kutatásokra, de Bush elnök 2003. január 28-i beszédében újabb, minden eddiginél nagyobb összeget, 1,2 milliárd dollár támogatást jelentett be. Az elnöki beszéd címe *Hidrogén tüzelőanyag: a jövő tiszta és biztonságos energiája*. Kifejtette, hogy e kulcsfontosságú kezdeményezéssel olyan technológiát fejlesztenének, amely megállítja a külföldi olajbehozataltól való egyre növekvő függőséget. Az elérendő cél az, hogy hidrogén üzemanyaggal működő személy- és teherautók fussanak az utakon, és tüzelőanyag-cellákkal oldják meg a lakások és üzlethelyiségek energiaszükségletét csökkentve ezáltal a környezetszennyezést és az üvegházhatást okozó gázok mennyiségét is [3–5]. A számítások szerint, ha az USA-ban futó gépkocsik 10%-a használna tüzelőanyag-elemet, évente 60 millió tonnával lehetne a CO<sub>2</sub> és 1 millió tonnával a többi légszennyező kibocsátását csökkenteni. Az állami többletpénz „csak” 720 millió dollár az elkövetkező öt évben, mert a gépkocsik tüzelőanyag-celláira már vannak futó programok. Bush indította el a FreedomCAR programot 2002-ben, de ez tulajdonképpen korábbi projektek, például az USABC, PNVG folytatása [6–9]. Ezekben az állam és magánszektor 50–50%-ban osztozik a költségeken, 1991 óta az éves állami támogatás átlagosan 250 millió dollár (2004-re 273 millió \$) volt.

Nemcsak az Egyesült Államokban, hanem Európában, Japánban és a világ más országaiban is intenzív kutatás folyik. Érthető, hogy a nemes cél és annak anyagi ösztönzése megmozgatta az egyetemeket és a kutatóintézeteket. A vállalkozások is gombamód szaporodnak a „fuel cells” projektek területén. Számos olyan cég is beszállt az üzletbe, amelyek soha sem foglalkoztak ilyen kutatásokkal. Sajnos meg kell állapítanunk, hogy éppen ezektől származik a legtöbb „szenzáción”, tudományos ismereteket igencsak fogyatékosan tartalmazó bejelentés, amelyek megjelennek a magyar ismeretterjesztés fórumain is. A várható profit is rendkívül vonzó. Míg a 2000. évben 218 millió USA dollárért tudtak a gyártók tüzelőanyag-elemeket értékesíteni, a 2004. évre várható bevétel 2,4 milliárd dollár (850 millió \$ erőmű, 750 millió \$ gépjármű, 800 mil-

lió \$ kisebb teljesítményigényű elektromos eszközök, katonai és űrkutatás), míg a jószolt szám 2009-re 7 milliárd dollár. Fejezzük be e rövid bevezetést azzal a számunkra is jelentős hírrel, hogy az USA és az Európai Unió 2003. június 25-én egyezményt kötött arról, hogy tüzelőanyag-cellák fejlesztését közös ügynek tekintik és e területen együtt fognak működni.

## Az alapreakció és a tüzelőanyag-elemek történetének főszereplői

*Alessandro Volta* (1745–1827) 1800-ban alkotta meg azt a készüléket, amelyik folyamatosan tudott elektromos áramot szolgáltatni. *William Nicholson* (1753–1815) és *Antony Carlisle* (1768–1840) még ugyanebben az évben a Volta-oszlop segítségével végrehajtották az első vízbon-tásos kísérletet [6, 10]. Az elektromos áram hatására vízből hidrogén és oxigén keletkezett. Ami számunkra érdekes, az a fordított folyamat, azaz a hidrogén és oxigén egyesítése víz:

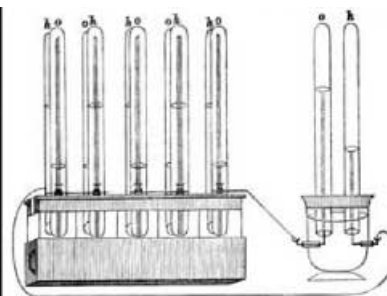


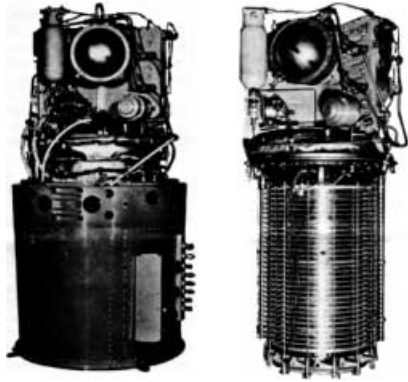
Ezt a reakciót durranógáz-reakciónak hívjuk, mert igen hevesen, nagy energiaszabadulással megy végbe. E folyamat reakcióhője, ha 25 °C-ra és 1 bar nyomásra adjuk meg, tehát a vízképződési reakció standard entalpiaváltozása,  $\Delta H^\circ = -285,83 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Ez a reakció csak bizonyos H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> arány (> 2) felett és 600 °C-nál nagyobb hőmérsékleten játszódik le. Platinakatalizátor jelenlétében a H<sub>2</sub> és az O<sub>2</sub> egyesülése robbanás-szerűen megy végbe. Ugyanezt a reakciót galváncellában szobahőmérsékleten igen jó hatásfokkal tudjuk energiatermelésre felhasználni. Erre *William Robert Grove* (1811–1896) jött rá, akinek személyében a tüzelőanyag-elemek atyját tiszteljük (1. ábrán balra). 1838-ban vette észre azt, hogy ha vizet elektrolizál, az alkalmazott áram kikapcsolása után ellenkező irányú áram kezd el folyni [11]. Ezt az áramot az okozza, hogy az egyik platinaelektrodnál fejlődő hidrogén oxidálódik, míg a másikonál keletkező oxigén redukálódik. Grove kihasználta a felfedezését, és megszerkesztette az első tüzelőanyag-cellát, amelyet – megkülönböztetésül a többi elemtől, amelyekben fémek és vegyületeik közötti reakció szolgáltatja az áramot – gázelemnek nevezett el [12, 13]. A gázelem két, kénsavoldatba merülő platinaelektrodból állt. Az egyik elektród a hidrogén-, a másik az oxigéntartályba nyúlt be. Grove észrevette azt is, hogy az oldatok szintje emelkedik, amikor áram folyik a két elektród között. Ez jelezte a hidrogén, illetve az oxigén fogyását. A Grove-féle tüzelőanyag-elemet az 1. ábrán jobbra mutatjuk be.

Elektrolíziskor a fordított jelenség észlelhető, vagyis a fejlődő hidrogén (h) a katódnál kétszer annyi folyadékot szorít ki, mint az anódon képződő oxigén (o). Ez jól látható Grove eredeti rajzán.

Grove másik elektrokémiai cellája a XIX. században nagyobb karriert futott be, mint a gázcella. Ennek egyik elektródja kénsavoldatba merülő cink, míg a másik koncentrált salétromsavba merülő platina volt. A két térrészt likacsos, égetett agyag diafragma választotta el. Ennek a cellának a kapcsoltszültsége kétszerese volt (1,8–2 V) a Daniell-féle elem kapcsoltszültségének. Ezt az elemet kezdte használni *Mi-*

1. ábra. *William Robert Grove* portréja és a Grove-féle tüzelőanyag-cella rajza az eredeti közleményből [13]. A rajzon öt „gázelem” soros kapcsolása látható, amellyel vizet bont a különálló cellában.





2. ábra. A Bacon-féle alkalikus hidrogén–oxigén tüzelőanyag-elem, amelyet az Apollo űrprogramban használtak. Kivitelező: Pratt & Whitney Aircraft [14].

Michael Faraday (1791–1867) is a Royal Institutionban tartott előadásain. Kezdetben (1840–1860) ev volt az amerikai távíróhivatalok kedvenc áramforrása is, mert hosszú időn át, folyamatosan jelentős nagyságú áramot, körülbelül 12 A-t szolgáltatott. Az 1860-as években, amikor a távíróforgalom megnőtt és sok Grove-elem működött ugyanabban a helyiségben, mégis áttértek a Daniell-elemre, mert a Grove-cellák mérgező nitrogén-dioxidot bocsátottak ki.

Ki volt Grove? A walesi Swansea-ban született. Magántanulmányok után került az oxfordi Brasenose College-ba. Jogász lett, de természet-tudományos kutatásokat is folytatott. A London Institution kísérleti filozófia (tulajdonképpen fizika) professzora (1841–46), illetve a Royal Society titkára (1847–49) is volt. Elismert még az *On the Correlation of Physical Forces* című könyve, amely 1846-ban jelent meg és az energia-megmaradás törvényének meggyőző kifejtését tartalmazza. Ügyvédként jól keresett, 1853-tól jobbjára már csak jogásként dolgozott és futott be szép pályát. Működött a brit Polgári Peres Bíróságon és Legfelsőbb Bíróságon is. 1872-ben lovaggá ütötték. Nemcsak a tudománytörténet, hanem a walesi nép is számon tartja Grove teljesítményét, és beszavazták a 100 legnagyobb walesi (100 Welsh Heroes) közé. Igaz, hogy csak a 88. helyen van. Megelőzik politikusok (A. Bevan munkáspárti miniszter, a Nemzeti Egészségügyi Szolgálat létrehozója, David Lloyd George, az Egyesült Királyság egyetlen walesi származású miniszterelnöke), nemzeti hősök, akik történetesen az angolok elleni szabadságharcokat vezették (Owain Glydwr, Llywelyn ap Gruffudd), jobb helyezést kapott az énekes Tom Jones, a színész Richard Burton, a költő Dylan Thomas, a filozófus Bertrand Russell, a Nobel-díjas fizikus, Brian Josephson, de még Arábiai Lawrence, a labdarúgó Ian Rush, H.M. Stanley újságíró (Livingstone megtalálója) vagy Henry Morgan, a kalóz, Jamaica kormányzója is. Viszont Grove mögött végzett a legendás Arthur király, sőt Rhys ap Gruffudd, Wales utolsó uralkodója. Azt hiszem, hogy a sorrend nálunk is hasonlóképp alakulna, Jedlik Ányos vagy Eötvös Loránd se jutna dobogós helyezéshez.

Azt szokták írni, hogy Grove után több mint 100 évig nem történt semmi a tüzelőanyag-cellák felhasználása tekintetében. Ez igaz is, meg nem is. Ténylegesen nem hasznosították ezt a jelentős találmányt, de erre folyamatosan voltak próbálkozások. F.W. Ostwald elméletileg értelmezte a tüzelőanyag-cellákban lejátszódó jelenségeket (1893), míg L. Mond és C. Langer durranógáz-eleme (1889), illetve W.W. Jacques szén/levegő-eleme (1890), működőképesnek bizonyult. Ahhoz azonban, hogy valóban jó hatásfokú, nagy áramsűrűségű eszközt szerkesszenek, csak akkor nyílt mód, amikor az elektród-folyamatok kinetikájának törvényszerűségeit sikerült feltárni (T. Erdely-Grúz, M. Volmer, 1930) [6], a katalizátorok kutatása fellendült, és megfelelő tulajdonságú elektrolitokat állítottak elő. A korai történet F.T. Bacon (1904–1992) az 1930-as években kezdődő kutatásaival zárul, amely egyúttal megnyitotta az utat a modern fejlődéshez [14]. Bacon szerkesztette az első alkáli-k tüzelőanyag-cellát, amely 25 év fejlesztőmunka után az Apollo űrhajón szolgált (2. és 3. ábra). (Nem Bacon hibája volt, hogy az oxigéntartály az Apollo-13 űrhajóban felrobbant, ami majdnem tragédiához vezetett.) A különböző típusú tüzelőanyag-celláknak persze megvan a saját története. A foszforsav sokáig mellőzött volt, mert sokkal rosszul vezeti az áramot, mint a kénsav. G.V. Elmor és H.A. Tanner 1961-ben jött rá arra, hogy nagyobb hőmérsékleten a foszforsav már kielégítően vezet, viszont nem redukálódik, mint a kénsav. 1965-re készült el az első 5 kW-os, foszforsavas Allis-Chalmers-cella az amerikai hadsereg



3. ábra. Az űrhajósok tesztelik a tüzelőanyag-cellát a súlytalanság körülményei között [18].

részére, és azóta a fejlődés töretlen. Az 50–100 kW-os cellákat éppúgy használják autóbuszok energiaforrásoként, mint nagyobb teljesítményű változatait épületek világítási, fűtési igényeinek kielégítésére. A szilárd oxidos tüzelőanyag-cellák története a Nernst-féle izzóig nyúlik vissza [15], E. Baur és H. Preis 1930-as munkái, majd H.H. Möbius és sok más kutató kitarása vezetett oda, hogy 2000-re a Siemens Westinghouse 1152 cellából álló, 200 kW-os erőművei már egyenként 200 épület áramellátását biztosítják. A karbonátolvadékos cellák története párhuzamosan futott a szilárd oxidos cellákéval, szintén az 1960-as évek közepén jelentek meg a már jól használható prototípusok. Ma már 2 MW-os erőművek üzemelnek, de már elkészültek a 100 MW-os erőművek tervei is. Minden cellatípusnál nagy szerepet játszottak a folyamatos fejlesztés, újabb és újabb anyagok, de a polimerelektrolit membránok előállítására valóban mérföldkövet jelentett, és kiváló példája annak, amikor egy új anyag, ötlet paradigmaváltást hoz egy adott területen. A polimerelektrolitos cellákat is az űrhajózás részére fejlesztették ki, és innen került át a technológia „földre” használatra, erőművekbe és gépkocsikba. A hatvanas évek végére az alapvető tüzelőanyag-elem-típusok már kézen álltak arra, hogy meghódítsák a világot. A klasszikus tüzelőanyag-elemek már korábban is szerepeltek a külföldi és magyar szak- és tankönyvekben, de a hatvanas években már az újabbról is hírt adtak [16, 17]. Ez időtől kezdve már sorra jelentek meg speciális könyvek a témakörben [18, 19]. Ezt a két művet azért is érdemes kiemelni, mert ezekben már megtalálható az összes ma használatos típus, és ehhez mérhető az azóta történt fejlődés. A haladás irányáról és sebességéről újabb könyvekből, folyóiratok különszámaiból, cikkeiből és speciális kiadványokból tájékozódhatunk [6, 10, 17–39].

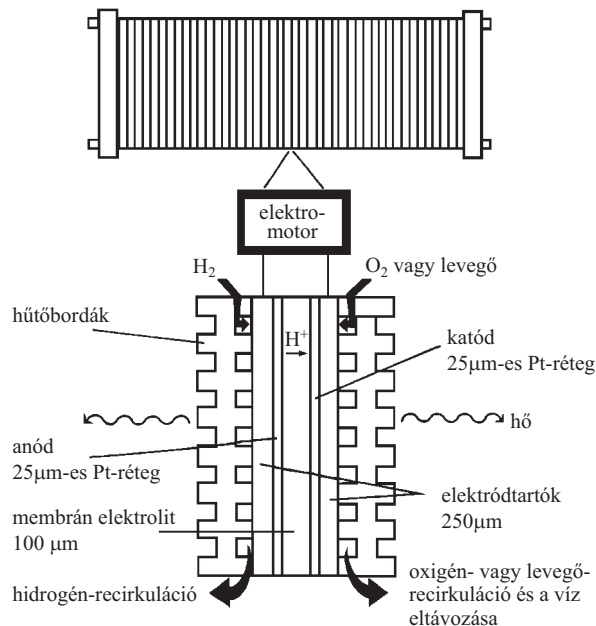
## A tüzelőanyag-elemek különleges helye az elektrokémiai áramforrások között

Az elektrokémiai áramforrások működésének lényege az, hogy egy kémiai reakció szabadentalpia-változását alakítják át munkává. Ez úgy történik, hogy az anódon (a negatív elektródon) oxidáció (elektronleadás), míg a katódon (a pozitív elektródon) redukció (elektronfelvétel) játszódik le. Az elektronok a két elektródot összekötő fémes vezetőláncban jutnak el az anódtól a katódig. Fogyasztó (pl. elektromotor) beiktatásával az elektronokkal munkát lehet végezteni, amelynek nagysága a két elektród közötti potenciálkülönbségtől és az áthaladt töltésmennyiségtől függ. A potenciálkülönbség nagysága az alkalmazott reakciópartnerek minőségétől, míg a hasznosítható töltésmennyiség azok mennyiségétől függ. Ha ugyanazt a mennyiségű tüzelőanyagot hőerőgéppel égetjük el (oxi-

dáljuk), a termelt hő által végzett hasznos munka hatásfoka a legjobb folyamatosan működő gépben is csak körülbelül 40%, hiszen a termodinamika II. főtétele elvi korlátot szab. A galvánelemek sokkal gazdaságosabban használják ki a kémiai reakciók szabadentalpia-változását, ezek hatásfoka 90% körüli. A galvánelemben adott mennyiségű anyag van, a kémiai reakció végbemenetele után több energia nem nyerhető már ki. A primer elemek nem regenerálhatók, míg a szekunder elemek (akkumulátorok) igen. Ez utóbbiak esetén ellenkező irányú árammal (elektrolízissal), tehát energiabefektetéssel az eredeti állapot visszaállítható (töltés). Természetesen ez bizonyos energiavesztéssel jár, és egy akkumulátor is csak meghatározott számú töltés-kisütési ciklust visel el. Az akkumulátorok jóságát a nagy töltés- és energia-hatásfok, illetve ciklusszám jelzi. A tüzelőanyag-elemek különlegessége abban rejlik, hogy a kémiai reakcióban részt vevő komponenseket folyamatosan vezetjük be a cellába, tehát mindaddig működnek, amíg az anyagutánpótlást biztosítjuk. A galváncellák elektronvezetőkből (legtöbbször fémekből) és ionvezetőkből (elektrolitoldatok, olvadákok, szilárd ionvezetők) hozhatók létre. Az egyidejűleg, de térbelileg elválasztva lejátszódó oxidációs-redukációs folyamatokban természetesen nemcsak ionok, hanem töltéssel nem rendelkező molekulák is részt vehetnek. Ez a helyzet a tüzelőanyag-elemek esetében is. A kémiai reakció egyébként is eredően semleges anyagokkal írható fel, hiszen például a Daniell-elemben a tényleges kémiai anyagoknak (Cu, CuSO<sub>4</sub>, Zn, ZnSO<sub>4</sub>) sincs töltésük. Az más kérdés, hogy az elektródokon ionok vesznek el töltésüket vagy elsődlegesen ionok keletkeznek. A termodinamika – tehát az energiatermelés – szempontjából közömbös, hogy Cu<sup>2+</sup>- és SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-ionokról vagy ezek semleges kombinációjáról van-e szó.

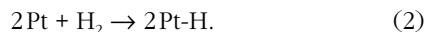
## A tüzelőanyag-elemek hatásfoka és teljesítménye

A galvánelemek hatásfokát legegyszerűbben úgy adhatjuk meg, hogy a kalorikus adatokból kiszámítható szabadentalpia-változás hányad részét alakíthatjuk át munkává. A veszteség jelentős része az ellenállásokon történő feszültségesséssel függ össze. A cellán átfolyó áram és a terhelő ellenállás nagyságától függ. Adott áramerősség ( $I$ ) esetén a cella belső ellenállása ( $R$ ) miatt  $IR$  ohmikus feszültségesséssel kell számolni. Ezért az alkalmazott ionvezetőt úgy választjuk meg, hogy ellenállása a lehető legkisebb legyen. Az elektrolitnak még sok más szempontot is ki kell elégítenie, így például stabilnak kell lennie az adott feszültségtartományban, vagy nem szabad megfagynia. Az elektrolit minőségével kapcsolatos megfontolások rávilágítanak arra, hogy mi a célja a jelenleg is folyó intenzív kutatásnak. Ez éppen a hatásfok és a teljesítmény növelése, ami csak úgy lehetséges, hogy az adott célra egyre jobb és olcsóbb anyagokat találunk. A másik veszteségforrás az elektródreakciók ellenállásával kapcsolatos. A töltésátlépésnek gyorsnak kell lennie. Ha bármelyik elektródreakciónak nem elegendően nagy a se-



4. ábra. Egy protoncserélő membránt tartalmazó tüzelőanyag-elem (PEMFC) felépítése.

bessége, az értelemszerűen meghatározza az áram nagyságát. A sebesség az aktiválási energia nagyságával függ össze, nagy aktiválási energia újfent energiavesztéseséget okoz. Ezért olyan elektródot kell választani, amely katalizálja az adott reakciót. A tüzelőanyag-cellánkban H<sub>2</sub>-t akarunk oxidálni. E folyamat csereáram-sűrűsége – ez jellemzi az adott elektródreakció sebességét – nyolc nagyságrendet is változhat attól függően, hogy milyen anyagból van az elektród. A legjobb katalizátor a platina. A platinával ugyanis a hidrogén reakcióba lép és disszociatív adszorpciót szenved:



Amikor ez a folyamat nem játszódik le, például higanyon, az igen stabil H<sub>2</sub>-molekula atomokra való bontásához 431 kJ mol<sup>-1</sup> energia szükséges. Az sem jó, ha az adott fém túl erősen köti meg a hidrogénatomokat, mert akkor ezek deszorpciója igényel nagy energiát. Az adszorpciónál, katalízisnél nemcsak a fém minősége, hanem a felület állapota is kritikus, ezért annak kialakítása (nagy felület/térfogat arány, aktív helyek számának növelése, a katalizátor mérgeződésének csökkentése) is meghatározó tényező. A platina a legjobb, viszont drága és ritka fém. Ezért a platinát vagy ötvözetét minél kisebb mennyiségben kell leválasztani a hordozó, például protoncserélő membrán felületére. Vannak olyan tüzelőanyag-cellák, amelyek nagy hőmérsékleten (600–1000 °C) működnek, ezekben a folyamat már elég gyors, és a platinaelektród is kiváltható más fémmel vagy ötvözetel. A nagyobb hőmérséklet előnye még, hogy a katalizátor mérgeződésével sem kell számolni a deszorpció sebességének növekedése miatt. A teljesség kedvéért megemlítjük még azt is, hogy az anyagtranszport sebessége is nagymértékben befolyásolhatja az elem működését. A pórúsos elektród és membrán, a cellageometria kialakítása, a gáz áramlási sebességének optimalizálása is komoly mérnöki feladat.

## A tüzelőanyag-elemek fajtái

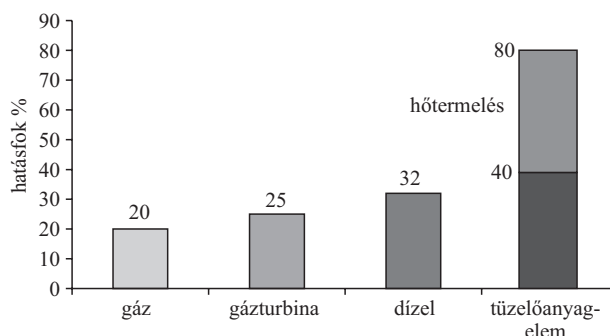
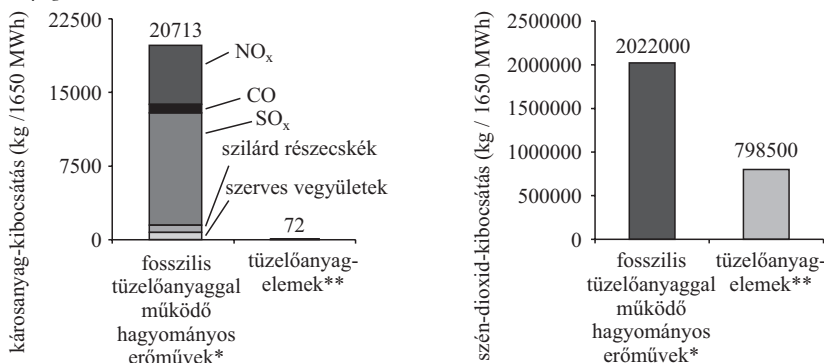
Sokféle tüzelőanyag-cellát fejlesztettek ki, de alapjában véve megkülönböztethetünk közönséges hőmérsékleten és nagy hőmérsékleten működőket. Az előbbieket könnyen elviselnek sok be- és kikapcsolást, ez előnyös például gépjárműveknél, míg az utóbbiak inkább folyamatos üzemben, például erőművekben hasznosíthatók. A tüzelőanyag fajtáját, az elektrolit és más komponensek minőségét, valamint a felépítésüket tekintve jelenleg számos, különböző típusú tüzelőanyag-cella van forgalomban. Nézzük meg a fontosabb típusokat!

*Szilárd polimer elektrolit membránt tartalmazó elemek* (PEMFC = *polymer electrolyte membrane fuel cell*, SPEFC = *solid polymer electrolyte fuel cell*)

Ilyen elemek lelke egy 0,1 cm-nél vékonyabb, hidrátált protoncserélő membrán, amely csak a H<sup>+</sup>-ionokat engedi át (4. ábra). A membránt mindkét oldalán porózus katalizátorral, általában platínával vonják be. A hidrogént és az oxigént (levegőt) a membrán két ellentétes oldalán vezetik a cellába. A hidrogénből keletkező H<sup>+</sup>-ionok áthaladva a membránon, annak másik oldalán az oxigénredukció termékével, az OH<sup>-</sup>-ionokkal vízzé egyesülnek. Az első protoncserélő membránt tartalmazó cella 1962-ben a Gemini űrhajón jutott fel az űrbe. 1967 óta a DuPont cégnek a NASA részére kifejlesztett termékét, a Nafiont, ami egy perfluorozott szulfonsav-membrán, használják legelterjedtebben. Ez a cella kis méretű, egy 1 kW-os egység 50 literes. Az energiaátalakítás hatásfoka 65%-os volt az űrmissziók során, amikor a keletkező vizet is hasznosították [6, 10]. Ezek a cellák aránylag kis teljesítményigényű, többszöri és gyors be- és kikapcsolással működő alkalmazásokra készülnek. A platina mennyiségének és a membrán árának csökkenésével egyre olcsóbbá válnak. Az elmúlt 10 évben már olcsóbb (20–100 USD/m<sup>2</sup>) membránokat is kifejlesztettek, de a Nafionnál is jobb Dow membránok ára 780 USD/m<sup>2</sup>. Ez a membrán tetrafluoretilén és viniléter kopolimerizációjával készül. A teflonszerű polimerlánchoz éterkötéssel csatlakoznak a szulfonát-csoportok, tehát a szerkezete igen hasonló a Nafionéhoz. A jobb vezetési, stabilitási tulajdonságait a rövidebb oldallánccal hozzák összefüggésbe [35].

Ilyen cellákban nemcsak hidrogén, hanem szerves vegyületek is oxidálhatók. Ezek közül a *metanollal mű-*

6. ábra. A károsanyag-kibocsátás összevetése. Forrás: United Technologies. (\* 83% szén, 11,5% földgáz, 5,5% olaj „átlagos” tüzelőanyaggal számolva, \*\* földgázzal működő tüzelőanyag-elemek.)



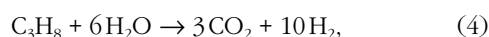
5. ábra. A foszforsavas tüzelőanyag-elem és más, elektromos energia-termelési technológiák hatásfokának összehasonlítása. Forrás: United Technologies.

*ködő tüzelőanyag-elemek* (DMFC = *direct methanol fuel cell*) tettek szert jelentőségre, amelyekben a következő cellareakció megy végbe:



Az Apollo űrhajókban és az űrkompokban azbesztszeparátoros *alkálikus H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> tüzelőanyag-elemeket* (AFC = *Alkaline fuel cell*) használtak. Ezekben az elektrolit kálium-hidroxid. Hatásfokuk kiváló, de drágák, és érzékenyek szén-dioxidra. Csak néhány speciális alkalmazásról tudunk.

A *foszforsav tüzelőanyag-elem* (PAFC = *phosphoric acid fuel cell*) jelenleg a legszélesebb körben használt típus. Ennek működési hőmérséklete körülbelül 200 °C és nagyobb mértékű energiaigények kielégítésére képes, így használható lakó- és irodaépületek, kórházak elektromos árammal való ellátására, de autóbuszok energiaforrásaként is. Épületeknél, ahol az árammal egyidejűleg keletkező hő is fel lehet használni fűtésre, 80%-osnál jobb hatásfokot is el lehet érni (5. és 6. ábra). Az aránylag nagy hőmérséklet csökkenti a platínakatalizátor dezaktivizálódását. Ennek következtében a hidrogénnek nem kell nagy tisztaságúnak lenni, mint az AFC-egységekben. A hidrogént reformálással szénhidrogénből, például propánból állítják elő:

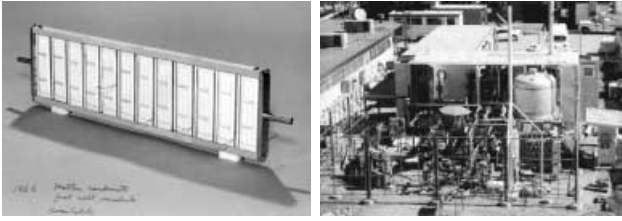


és ez a hidrogén, valamint a levegő oxigénje működteti a cellát. A hátránya egy hő- vagy atomerőműhöz képest a rövidebb élettartam.

A *karbonátolvadékos cellák* (MCFC = *molten carbonate fuel cell*), amelyekben az elektrolit K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>- és Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-olvadékkal impregnált kerámiahordozó, nagy hőmérsékletű, helyhez kötött nagy és folyamatos energiafelhasználásra tervezett áram- és hőforrások (7. ábra). Az anód nikkell, a katód nikkell-oxid, az oxidálószer levegő és szén-dioxid, a fűtőanyag metán, hidrogén és a reformálás melléktermékeként keletkező szén-monoxid. A hőfelhasználással együtt a hatásfok meghaladja a 85%-ot.

A *szilárd oxidos tüzelőanyag-elem* (SOFC = *solid oxide fuel cell*) névadója az itriummal stabilizált cirkónium-di-



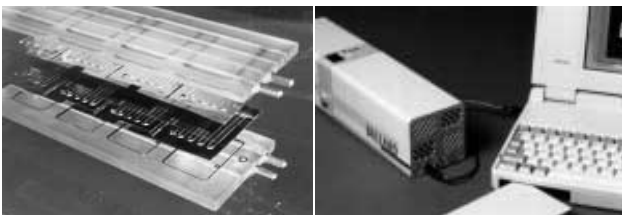


7. ábra. Karbonátolvadékos tüzelőanyag-elem, amelyet az amerikai hadseregnek készített a Texas Instruments 1966-ban (balra) és a 250 db karbonátolvadékos tüzelőanyag-elemmel működő, 210 kW-os erőmű, San Diego, California 1997 (jobbra).

oxid elektrolit, amelyben az unipoláris vezetést az  $O^{2-}$  ionok biztosítják. A katód  $La-Sr-MnO_3$ , az anód  $Ni-Zr_2O_3$ . A tüzelőanyag ebben is  $CH_4$ , reformált  $H_2$  és  $CO$ . Igen nagy a teljesítménysűrűsége ( $240 \text{ mW cm}^{-3}$ ), a hatásfoka körülbelül 45%. Működési hőmérséklete  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ , ezért kifejezetten ipari áramforrás, közlekedési eszközökben nem ajánlott.

A felsorolt tüzelőanyag-cellák azok, amelyeket a kereskedelemben már forgalmaznak, amelyekből már sok működik, illetve amelyeket a közeljövőben áramforrásként használni fognak különböző célokra (8. ábra), kisméretű számítógépelemként ( $50 \text{ W}$ ), közlekedési eszközök energiaforrásaként ( $50\text{--}100 \text{ kW}$ ), illetve áramtermelő erőművekben ( $250 \text{ kW} - 10 \text{ MW}$ ). Tüzelőanyagul szolgálhat még földgáz, hidrazin vagy más szerves vegyület, sőt szén is. Van olyan cella is, amelybe oxigén helyett klórt vezetnek, a  $Li$  fém az oxidálható anyag, a reakció terméke pedig  $LiCl$ , amelyből elektrolízissel regenerálhatók a kiindulási anyagok. Jó tapasztalatok vannak a  $Zn$ -levegő rendszerrel is. Egy cinkkazettával az autó körülbelül  $300 \text{ km}$ -t tud megtenni, az elhasználandó kazettát pillanatok alatt ki lehet cserélni. A gépjárművekben egyelőre az úgynevezett hibrid megoldás terjedt el. Ez azt jelenti, hogy a tüzelőanyag-elem mellett egy szekunder elem is van, például a Ford, a Daimler-Chrysler, a Nissan és a Toyota elektromos autóiba nikkél-fémhidrid akkumulátort is beépítettek. A robbanómotor-akkumulátor (tüzelőanyag-elem) hibrid pedig már régen alkalmazott megoldás, az utóbbi a városi közlekedés során szolgáltatja az energiát. Az akkumulátor-tüzelőanyag-elem, vagy újabban a szuperkapacitás-tüzelőanyag-elem kombinációinál az első elem az indításnál és fékezésnél, míg a tüzelőanyag-elem a folyamatos haladásnál szolgál energiaforrásként. Speciális célokra és igények kielégítésére is sokféle cellakonstrukció készült. Gondoljunk az űreszközök áramforrásaira, amelyeknél követelmény a nagy energia- és teljesítménysűrűség, szélsőséges hőmérsékletek és rázkódás elviselése, valamint a nagy élettartam. Itt az ár

8. ábra. Mobiltelefonokhoz kifejlesztett mikrotüzelőanyag-elem, 2000 (balra) és Ballard gyártmányú tüzelőanyag-elem, hordozható számítógépekhez, 2000 (jobbra).

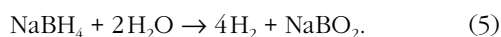


kevesbé számít, tehát drága anyagokat is alkalmazhatnak, viszont a tömeg és a térfogat a kritikus, hiszen az űrhajó mérete határt szab, és az egységnyi tömegnek az űrbe juttatása az igazán jelentős költség. A tömeggyártásnál viszont a lehető legolcsóbb anyagokkal és a legegyszerűbb konstrukcióval lehet csak versenyképes a termék. Éppen az ár csökkentése és az élettartam növelése az a két kritikus pont, amelyet minden elemzés megemlít. A hidrogén-oxigén-cellában a reakciótermék víz, míg más vegyületeknél mérgező köztitermékek és végtermékek képződhetnek. Ekkor éppen az egyik nagy előny vész el, hiszen a környezetvédelmi szempont az egyik legjelentősebb motiváció. A hidrogénnel és a platinakatalizátorral kapcsolatos gondokkal – alapvető fontosságuk miatt – külön is foglalkozunk.

## A hidrogén előállítása és tárolása

A hidrogén tisztasága kritikus tényező a közönséges hőmérsékleten működő tüzelőanyag-celláknál, mert a szennyeződés tönkretetheti a katalizátort. Tehát az ideális megoldás a hidrogén előállítására a víz elektrolízise lenne. Ez azonban nagyipari méretekben jelenleg drága. A jóslatok szerint a nap-, a szél- és a geotermikus megújuló energiaforrások jobb kihasználása az elektromos áramot olcsóbbá teheti, és akkor az elektrolízis versenyképes lehet. Hidrogén előállítható olyan molekulákból, amelyek tartalmazzák, ezen alapul a metanol vagy a földgáz reformálása. Ez megoldható a gépkocsiban is, tehát nem palackos hidrogént kell magukkal vinniük, hanem metanolt vagy szénhidrogént (pl. metánt) tankolhatnak. A reformálási reakció (ld. pl. a (4) egyenletet) úgy játszódik le, hogy az elpárologtatott metanolt (vagy szénhidrogént) katalizátor fölött vezetik át egy fűtött csőben, ahol is  $CO$ ,  $H_2$  és  $O_2$  keletkezik, majd az oxigén tovább oxidálja a szén-monoxidot  $CO_2$ -vé. E módszer hátránya, hogy a szén-monoxid egy része a levegőbe kerülhet, illetve mérgezi a katalizátort. A teljesség kedvéért megemlítjük még a hidrogén klasszikus előállítási módját, vagyis erős savak ( $HCl$ ,  $H_2SO_4$ ) reakcióját fémekkel ( $Zn$ ,  $Fe$ ). Jacques Charles ugyan 1783-ban e reakció segítségével töltötte meg hidrogénes léggömbjét, és a laboratóriumban még ma is használjuk a Kipp-készüléket, de ez az eljárás ipari mennyiségű hidrogén előállítására alkalmatlan. Kérdés az is, hogy ha a gépkocsi hidrogént visz magával, azt milyen módon tegye. A hidrogén gáz formában csak rövid útra elegendő, hiszen aránylag kis mennyiség nagy térfogatú tartályt igényelne. Folyékony állapotban tárolt hidrogénnél ugyan nagyobb az energiasűrűség, de ez csak kis hőmérsékleten, illetve nagy nyomáson valósítható meg. Az acélból készült palack, amelyet a laboratóriumokban is használunk, szóba jöhet a tárolásnál. A piros jelzésű palackokban a hidrogént  $150 \text{ bar}$  nyomáson hozzák forgalomba. Ezek a palackok nehezek, még nagyobb nyomáson is a hidrogén tömege csak az össztömeg  $0,5\text{--}1\%$ . Balesetnél a szétrepülő acéldarabok veszélyesek lehetnek. Valamivel jobb a helyzet kompozit (főleg polietilén alapú) palackoknál, itt a tömeg  $7\%$ , nagyobb nyo-

más is elérhető, a palack alakja a gépjárműhöz alakítható, és balesetnél az ütközési energia jelentős részét elnyeli. Az újabb törekvések közül említést érdemel a hidrid formájában való tárolás. Különösen a vas-titán-hidridek (FeTiH, FeTiH<sub>2</sub>), lantán-nikkel-hidridek (LaNi<sub>5</sub>H<sub>7</sub>), és a nátrium-bór-hidrid, nátrium-boranát (NaBH<sub>4</sub>), amelyek tárolóképessége mintegy 30 g H<sub>2</sub> / 1 kg hidrid, jutott eddig jelentősebb szerephez. Ezekből víz és katalizátor hatására szabadítható fel a hidrogén:



A másik termék, a NaBO<sub>2</sub> nem mérgező, sőt például mosószerek adalékanyagaként használják. A NaBH<sub>4</sub> alkalmazásával jelentősen megnövelhető az adott térfogatban szállítható hidrogén mennyisége, jelenleg egy „tankolással” 150–500 km tehető meg. Ezt a megoldást először a Daimler–Chrysler kisbuszánál alkalmazták 2001-ben. Az egyetlen, de nagy hátránya a vegyületek ára.

A legújabb ötletek közé tartozik, hogy nagy nyomáson és hőmérsékleten hidrogént préselnek szén nanocsövek vagy zeolitok üregeibe. A hidrogén közönséges hőmérsékleten nem, csak hevítés hatására szabadítható fel.

A hidrogénhez a benzinkutakhoz hasonló töltőállomásokon lehet (majd) hozzájutni. Ennek az infrastruktúrának kiépítése szintén központi kérdés. A jövő idő használata jogos, de tulajdonképpen már a jelenről beszélhetünk, hiszen 2002-ben már 8 töltőállomást, kettőt az USA-ban, négyet Japánban és kettőt Európában már megnyitottak.

Végezetül szólnunk kell a hidrogén használatával kapcsolatos biztonsági problémákról. Gondolom, hogy e témában mindenkinek a léghajó-katasztrófák jutnak eszébe. A Hindenburg léghajó katasztrófáját azonban igazából az éghető anyagból készült váz és a fedélzeten tárolt dízelolaj okozta. Az igaz, hogy a hidrogén éghető és robbanásveszélyes gáz, de sok szempontból biztonságosabb, mint a benzin, amelyet robbanómotorokban (!) használunk. A hidrogén kis sűrűsége miatt ugyanis igen gyorsan eltávozik a levegőbe, ha a tartály ereszt vagy kilyukad, így a robbanáshoz szükséges hidrogén–oxigén gázkeverék nem jön létre. Megjegyezzük, hogy hidrogénből négyszer akkora koncentráció kell a robbanáshoz, mint benzinből! Az Egyesült Államokban széles körű oktatási programot indítottak, hogy meggyőzzék az embereket a hidrogén használatának biztonságos voltáról.

Van néhány olyan kérdés, amelyeket viszont még meg kell vizsgálni. Eddig is került hidrogén emberi tevékenység nyomán a levegőbe. Ez azonban nem vethető össze a mennyiséggel, amely akkor keletkezne, ha több 10 vagy 100 millió jármű ezzel a gázzal üzemelne. A töltőállomásokon valamennyi – esetleg csak néhány ezrelék – hidrogén elszökhet. Ez a légkör felső rétegébe kerül, ahol a kifejett hatásáról még nincs világos képünk. (A felszínhez közeli levegőben  $5 \times 10^{-5}$  térfogatszázalék hidrogén van, a magassággal aránya egyre nő, 2000–20000 km magasságban pedig egy hidrogénből álló övezet húzódik. Ide jutna az újabb mennyiség is.) A sokat népszerűsített metanolnál azzal a veszéllyel kell számolnunk, hogy az erősen mérgező, vakságot, illetve halált okozhat. Vízrel korlátlanul elegyedik, tehát ha tartályból

vagy csővezetékéből élő vízbe kerül, súlyos károkat okozhat. Persze használhatnánk etanolt is a metanol helyett, de ennek komplikációit – úgy vélem – nem szükséges részleteznem.

## Lesz-e elég platina?

A platínát és a platinacsoport más fémait jelenleg is alkalmazzák katalizátoros autókban a mérgező CO- és NO-gázok ártalmatlan anyagokká, így szén-dioxiddá, illetve nitrogénné való átalakítására. Persze e fémek igen népszerűek más területeken is, orvosi implantátumok, nagy szilárdságú hőálló ötvözetek (turbinalapátok, rakétacsúcsok, téglék, fűtőszálak stb.), merevlemezek és ékszerkészítését említjük csak hamarjában. A történelem folyamán összesen körülbelül 3000 t platínát termeltek ki. A jelenlegi 150–250 t/év termelés (pl. 180 t 2000-ben) 63%-át már most is az autóipar használja fel. A cél az, hogy 2025-re az autók 25%-a hidrogénhajtású legyen. Egy-egy autó legalább 75 kW-os tüzelőanyag-cellát igényel. Ha a felhasználandó platinamennyiséget a kívánatos mértékben tudjuk csökkenteni (a cél 0,2 g Pt / 1 kW), akkor az éves platinaigény a tüzelőanyag-cellák gyártásához 150–300 t/év. Ez a mostani termelés (fő termelők: Dél-Afrika 50%, Oroszország 35%) szinten tartásával és a platina visszanyerésével biztosítható. A platinakészlet is még hosszú ideig elegendőnek tűnik, az ismert tartalék 5000 t (75%-a Dél-Afrikában), a további becsült mennyiség körülbelül 30000 t.

## Minek nevezzetek?

Az utóbbi időkben némi zavar keletkezett a „fuel cell” magyarázását illetően. Ennek egyik oka, hogy *Oláb György* Nobel-díjas kémikus több előadást tartott a témában, amelyek írásos anyaga is megjelent [40]. Ő az „üzemanyagcella” kifejezést használja. Ez a név a közlekedési eszközökben alkalmazott áramforrásokra utal, és legfeljebb e kategóriát indokolt e megnevezéssel illetni. A hivatalos magyar kémiai elnevezés: tüzelőanyag-elem [41], ami kifejezi az egyéb, például erőműi alkalmazásokat is. Régebben a „tüzelőszer-elem” volt használatban [16], ami érdekes asszociációkra ad lehetőséget, főleg egybeírva: „tüzelőszer-elem” [41].

## Az ember és a tüzelőanyag-elem

Az emberi szervezetben, ahol a vér az elektrolit, élelmiszert (cukrot, zsírt) égetünk el katalitikusan, enzimek segítségével, és így termelünk – többek között elektromos – energiát. *E. Schrödinger* szerint azért nem szentet vagy hidrogént fogyasztunk, mert az élő szervezet nagy szervezetségű, sajátos rendet képviselő anyag, amelynek szüksége van az entrópiájának csökkentésére, és ezt éppen a táplálék lebontásával érjük el [42]. Tetszetős, de nem teljesen helytálló Schrödinger elmélete. Mindazonáltal bizonyos azonosság köztünk és a tüzelőanyag-elemek között fennáll. Talán tökéletesebb szerkezetek vagyunk, mint a tüzelőanyag-elemek, viszont a zéró-emisszió szigorú követelményeinek nem felelünk meg.

## Európa is felzárkózik

Bush elnök említett beszéde természetesen szakértői anyagok alapján készült, és az amerikai kormányzat igencsak meggondolta azt, hogy mit támogat 1,2 milliárd dollárral. Az Egyesült Államok Energiaügyi Minisztériumának 2003. évi beszámolója a jelen helyzet és a tenniva-

lók sokoldalú összefoglalását tartalmazza, pontosan megjelöli a célokat és indokolja az állami szerepvállalás szükségességét. Ez utóbbi felöleli a megfelelő infrastruktúra létrehozását, valamint szabványok és biztonsági előírások megalkotását. D.K. Garman, az Energiaügyi Minisztérium felelős tisztviselője a részletes anyaghoz (*Fuel Cell Report to Congress*) mellékelte, C.H. Taylor képviselőházi bizottsági elnöknek küldött, 2003. február 28-i keltezésű kísérőlevele tartalmazza a legfontosabb tényezőket. Érdemes egy mondatát idézni, amely az ügy horderejét mindennél jobban fejezi ki, és amely a számunkra is iránymutatásul szolgálhat: „A tüzelőanyag-cellák egyedülálló lehetőségeket kínálnak a Nemzetnek a közlekedés és a helyhez kötött áramforrások energiafelhasználásának és károsanyag-kibocsátásának példa nélküli csökkentésére.”

Az Európai Bizottság is felismerte a tüzelőanyag-elemek jelentőségét, és már az 1970-es évek közepén elindított kutatás-fejlesztési programot. Ez a cél a különböző keretprogramokban (Joule, *Fourth Framework Program*) is szerepelt. Az erre szánt összegeket szerényebbek voltak, mint az amerikaiak (pl. 1999 és 2002 között összesen 127 millió euro). 2002-ben viszont igen nagy mértékben megemelték az összeget, 2003 és 2006 között összesen 2,12 milliárd eurót szánva erre a célra. Európában főleg a polimer-elektrolit-membrános tüzelőanyag-elemek fejlesztésére és ezek gépjárművekben való hasznosítására fordítottak figyelmet és pénzt. Európa nagy cégei fogtak össze. Az autógyártók (Renault, Peugeot, Citroën, Volvo, Volkswagen, BMW) tervezték, építették és tesztelték a kocsikat, a De Nora cég szállította a tüzelőanyag-elemeket, az Air Liquid of France a hidrogént, a Ballard cégtől vették a metanolreformert. Hasonló társulások alakultak erőművek építésére is. Az első 250 kW-os, PEMFC egységeken alapuló erőművet Berlinben mutatták be, 2003-ban kezdett működni egy 1 MW-os Siemens Westinghouse erőmű, amelyben SOFC egységek szolgáltatják az energiát. Hasonló törekvésekről érkeztek hírek Japánból, Dél-Koreából, Kanadából és Ausztráliából is. A magyar hozzájárulás egyelőre szerény. Az elektrokémikusok, az energiagazdálkodási és környezetvédelmi szakemberek szorgalmazzák, hogy a kutatás-fejlesztési irány nagyobb hangsúlyt kapjon hazánkban is. Az EU FP5 és FP6 programok lehetőséget nyújtanak nekünk is a pályázásra. Reméljük, hogy várhatóan Magyarországon is majd kapható elektromos gépjárművek és épülő erőművek tüzelőanyag-elemében a magyar kutatók és mérnökök szellemi munkája is testet fog ölteni.

#### Irodalom

1. <http://www.whitehouse.gov/news.html>
2. <http://www.h2fc.com/gov/federal.shtml>
3. *National Hydrogen Energy Roadmap document* – US Department of Energy, 2002
4. *Inventory of US Greenhouse Gas Emissions and Sinks 1990–2000* – Environmental Protection Agency, 2002. április
5. *Fuel Cell Report to Congress*, 2003. február
6. INZELT GY.: *Az elektrokémia korszerű elmélete és módszerei I–II.* – Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1999.
7. C.P. CHEN, M. VREEKE: *Report on the electrolytic industries for the year 1996* – J. Electrochem. Soc. 144 (1997) 3674
8. J.W. WEICHNER, M. DOYLE: *Report on the electrolytic industries for the year 1999* – J. Electrochem. Soc. 147 (2000) 3953
9. M. DOYLE, P. ARORA: *Report on the electrolytic industries for the year 2000* – J. Electrochem. Soc. 148 (2001) K1–K4
10. INZELT GY.: *Kalandozások a kémia múltjában és jelenében* – Vince Kiadó, Budapest, 2003

11. W.R. GROVE: *On Voltaic series and the combination of gases by platinum* – Philosophical Magazine and Journal of Science 14 (1839) 127
12. W.R. GROVE: *On gaseous Voltaic battery* – Philosophical Magazine and Journal of Science 21 (1842) 417
13. W.R. GROVE – Proc. Roy. Soc. 4 (1843) 463
14. F.T. BACON: *The fuel cell: Some thoughts and recollections* – J. Electrochem. Soc. 126 (1979) 7C
15. H.H. MÖBIUS: *On the history of solid electrolyte fuel cells* – J. Solid State Electrochem. 1 (1997) 2
16. ERDEY-GRÚZ T., SCHAY G.: *Elméleti fizikai kémia III.* – Tankönyvkiadó, Budapest, 1962
17. GÁSPÁR L., VÁRHELYI T.: *Vegyvi energiából villamos energia* – A technika fejlődése, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1966, 105–115
18. W. MITCHELL: *Fuel cells* – Academic Press, New York, 1963
19. J. O'M. BOCKRIS, S. SRINIVASAN: *Fuel cells* – McGraw-Hill, New York, 1969
20. A.J. APPLEBY: *Fuel cell handbook* – Van Reinhold, New York, 1989
21. KISS L.: *Bevezetés az elektrokémiába* – Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1997
22. L. BLOMEN, M. MUGERVA: *Fuel cell systems* – Plenum, New York, 1993
23. P. BREEZE: *Power generation technologies* – Financial Times Energy, London, 1998
24. M.P. HOGARTH, G.A. HARDS: *Direct methanol fuel cells* – Platinum Metals Rev. 40 (1996) 150
25. T.R. RALPH: *Proton exchange membrane fuel cells* – Platinum Metals Rev. 41 (1997) 102
26. C. O'DRISCOLL: *Fuelling the future* – Chem. in Britain (1995) 655
27. D. SIMONSSON: *Electrochemistry for a cleaner environment* – Chem. Soc. Rev. 26 (1997) 181
28. N.Q. MINH, T. TAKAHASHI: *Science and technology of ceramic fuel cells* – Elsevier, Amsterdam, 1995
29. D.S. CAMERON: *Developing a fuel cell manufacturing industry* – The Eighth Grove Fuel Cell Symposium (2003), Platinum Metals Rev. 48 (2004) 32
30. T.A. RAMANARAYANAN, S.C. SINGHAL, E.D. WACHSMAN: *High temperature ion conducting ceramics* – Interface 10/2 (2001) 22
31. D.P. WILKINSON: *Fuel cells* – Interface 10/1 (2001) 23
32. G. INZELT, M. PINERI, J.W. SCHULTZE, M.A. VOROTYNTSEV: *Electron and proton conducting polymers* – Electrochim. Acta 45 (2000) 2403
33. O. YAMAMOTO: *Solid oxide fuel cells* – Electrochim. Acta 45 (2000) 2423
34. F. BECK, P. RÜETSCHI: *Rechargeable batteries* – Electrochim. Acta 45 (2000) 2467
35. O. SAVADOGO: *Solid polymer electrolyte membranes for fuel cell systems* – J. New Materials for Electrochem. Systems 1 (1998) 47
36. *Electrocatalysis* – Electrochim. Acta 44/8–9 (1998), 45/25–26 (2000)
37. *Polymer electrolytes* – Electrochim. Acta 40/13–14 (1995), 43/10–11 (1998), 45/8–9 (2000), 46/10–11 (2001)
38. *Fuel cells* – Electrochim. Acta 40/3 (1995), 43/24 (1998)
39. V. SRINIVASAN, L. LIPP: *Report on the electrolytic industries for the year 2002* – J. Electrochem. Soc. 150 (2003) K15
40. OLÁH GY., ÁNISZFELD R.: *Új generációjú üzemanyagcellák* – Magyar Tudomány 12 (2002) 1564
41. ERDEY-GRÚZ T., FODORNÉ CSÁNYI P.: *A magyar kémiai elnevezés és helyesírás szabályai* – Akadémiai Kiadó, Budapest, 1972, II. kötet 575. o.
42. E. SCHRÖDINGER: *Mi az élet?* – Válogatott tanulmányok, Gondolat, Budapest, 1966

**A GE Consumer & Industrial, Lighting – a világ fényforráspárának meghatározó vállalata – Technológia Szervezetébe keres**

## KISŰLŐLÁMPA-FEJLESZTŐ MÉRNÖKÖT

#### Fő feladatai:

- Nagynyomású kisülőlámpa tervezése és fejlesztése;
- Alapvető kisülésfizikai és -kémiai ismeretek alkalmazása a lámpatervezés területén;
- Beszállítókkal és vevőkkel való kapcsolattartás új termékek bevezetésénél;
- Statisztikai eszközök magas szintű használata.

#### Az ideális jelölt:

- Fizikusi, villamos- vagy vegyészmérnöki végzettséggel (PhD előny);
- Középfokú angol nyelvtudással rendelkezik;
- Gyakorlott számítógépes felhasználó;
- Jártas a matematikai-statisztikai eszközökben;
- Képes nagy mennyiségű munka elvégzésére és a határidők betartására;
- Globális csapatban hatékonyan tud dolgozni.

**Kisülésfizika és/vagy terméktervezés területén szerzett tapasztalat előnyt jelent.**

**Amit kínálunk:** • Versenyképes jövedelem • Együttműködés nemzetközi csoportban • Tréning • Szakmai fejlődési lehetőség.  
Kérjük, hogy jelentkezését, mellékelte angol és magyar nyelvű önéletrajzzal a [marta.boddi@ge.com](mailto:marta.boddi@ge.com) email-címre szíveskedjen elküldeni.



# IDŐ A GEOLÓGIÁBAN – FÖLDTANI IDŐMEGHATÁROZÁS

Haas János, ELTE, MTA Geológiai Kutatócsoport

Árkai Péter, MTA Földtudományi Kutatóközpont Geokémiai Kutatólaboratóriuma

Császár Géza, ELTE, Magyar Földtani Intézet, Regionális Földtani Tanszék

Vörös Attila, Magyar Természettudományi Múzeum Föld- és Őslénytár

## A geológia történeti természettudomány

A geológia a Föld külső szilárd burkát felépítő kőzeteket kutatja. Ennek során vizsgálja a kőzeteket alkotó ásványokat, az élet kőzetekbe zárt nyomait, a fossziliákat, továbbá a hasonló körülmények között keletkezett kőzetekből felépülő, 3-dimenziós térbeli alakulatokat, a kőzetesteket. Ahhoz, hogy a kőzetek, kőzetestek keletkezését megértsük, egymással való kapcsolatukat kiderítsük, ismernünk kell keletkezésük folyamatát, gyakran igen bonyolult történetét. Itt lép be a geológiai megismerésbe az idő – a negyedik dimenzió –, amelynek a szerepe kulcsfontosságú. A kőzetek keletkezése, átalakulása, a kőzetekben lejátszódó folyamatok fizikai, kémiai, biológiai tényezőkre vezethetők vissza, de ezek a folyamatok sok esetben olyan hosszú idő alatt játszódnak le, hogy laboratóriumban nem is reprodukálhatók. Gondoljunk csak a földkéregben halmozódó feszültségekre, amelyek a kőzetek lassú deformációjához vezethetnek, de akár pillanatszerűen is kioltódhatnak, törések kialakulását, földrengések kipattanását eredményezve. Vagy például vannak olyan kémiai reakciók, amelyek a Föld felszínén uralkodó körülmények között csak évek, évszázadok vagy évezredek alatt mennek végbe. Ilyen például a hazai hegységeink felépítésében is jelentős szerepet játszó dolomit (CaMg-karbonát) keletkezése, amelyet laboratóriumban kis hőmérsékleten máig nem tudtak előállítani. A biológia területén a fajok kialakulása, az evolúció az a bonyolult folyamat, amelynek megértéséhez – éppen az időtényező fontossága miatt – a geológiai és paleontológiai ismeretek nem nélkülözhetők.

A Föld és a földi élet régmúltjáról szinte kizárólag a kőzetekben lelhető fel értékelhető információk, tárgyi bizonyítékok. Ezért olyan értékes számunkra egy-egy jelentéktelennek látszó szikla, vagy kőfejtő által feltárt, a föld történetének egy szakaszát megőrző rétegsor, amelyet – alapszelvénynek nyilvánítva – igyekszünk természetvédelmi oltalom alá helyezni. Máskor a kőzetekben található kővületek adnak pótolhatatlan információt a múlttól. Persze nem csupán a lenyűgöző dinoszauruszleletekre kell gondolnunk, hanem a csupán tized-, vagy századmilliméter méretű fossziliákra is, melyek a kor meghatározásában sokszor értékesebbek, mint a látványos ősmaradványok.

A geológia többnyire olyan hosszú időtartamokkal dolgozik, amely emberi mértékkel szinte felfoghatatlan. Legtöbbünknek azt is nehéz elképzelni például, hogy az 1860-as években pusztító szárazság idején a Velencei-tó és a Fertő-tó is teljesen kiszáradt, az előbbi helyén katonai gyakorlóter volt. Pedig azóta alig másfél évszázad telt el. Még nehezebb képet alkotnunk a Kárpát-medence 1000–1100 évvel ezelőtti, a honfoglalás, az államalapítás

idején uralkodó, a maitól jelentősen elérő természeti viszonyairól. A régészek joggal mondják, hogy az egyiptomi vagy a mezopotámiai kultúra kezdetei a múlt beláthatatlan mélységébe, 6–7 ezer évre nyúlnak vissza.

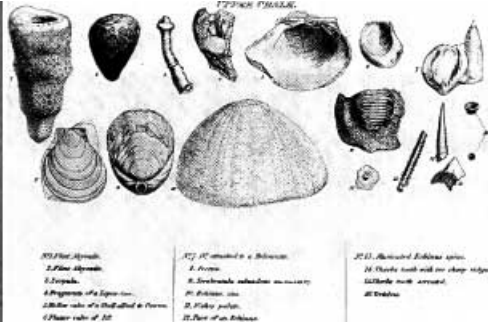
12 ezer évvel ezelőtt még a jégkorszak utolsó nagy eljegesedése tartott, és mivel a sarkvidékeken rendkívül nagy kiterjedésű, igen vastag jégsapkák alakultak ki, a világtenger szintje a mainál több mint 100 méterrel alacsonyabban volt. El lehet képzelni, hogy mennyivel más lehetett a Föld felszínének képe ebben az időben, klímájáról nem is beszélve. A Balaton még nem létezett, a Dunántúli-középhegységet rénszarvascsordák népesítették be. Pedig 10–20 ezer év a geológiában rendkívül rövid idő. A tengerekben ennyi idő alatt többnyire 10–20 cm, de a különösen gyors üledék-lerakódással jellemezhető trópusi tengerekben is csak 1–2 m üledék halmozódik fel. A geológia többnyire millió évekkel számol.

Az Alpok, a Kárpátok és a Dinaridák által körülölelt Pannon-medence 12 millió évvel ezelőtt alakult ki, előtte a mai Alföld területén is hegyláncok emelkedtek. Legnagyobb barnakőszéntelepeink 45 millió évvel ezelőtt, az eocénkorban keletkeztek. Mészköhegységeink uralkodó hányada, így a Bakony, a Vértes, a Budai-hegység, a Bükk, a Mecsek, 200–230 millió évvel ezelőtt sekély trópusi tengerekben lerakódott mészszipapból keletkezett kőzetekből épül fel. A mecseki gránit 330–350 millió évvel ezelőtt jött létre. A Magyarországon ismert legidősebb ősmaradványokat tartalmazó kőzetek több mint 500 millió évesek. Ennél is jóval idősebb, 1,1–1,7 milliárd éves kőzetekből épül fel az Orosz tábla, sőt az Ukrán masszívumban 3,2–3,3 milliárd éves kőzeteket is találtak. A legidősebb, radioaktív méréssel meghatározott földi kőzet Grönlandról ismert, mintegy 3,8 milliárd éves. A Holdról hozott legidősebb kőzetminták és számos meteorit kora 4,6 milliárd év, ezt tekintik a Naprendszer korának és – mai tudásunk szerint – a Föld is ezzel egy időben keletkezett.

## A Bibliától a radioaktív kormeghatározásig

Nem mindig gondolkodtak ilyen hatalmas időtávlatokban a Föld korát és történetét illetően. Hosszú ideig, egészen a XVII. század közepéig, a felvilágosodás koráig kizárólag a Biblia tanai adtak támpontot a kezdeteket illetően. A XVI. században a hírneves ír tudós teológus *Ussher* érsek a Biblia gondos tanulmányozása alapján arra a következtetésre jutott, hogy a teremtés Krisztus születése előtt 4004. október 22-én délután 6 órakor volt. Más Biblia-tudósok számításai ettől némileg eltérő eredményre vezettek, de kétségtelen, hogy az Írás szerint a teremtés hat napja mintegy 6000 évvel ezelőtre tehető.

Már az ókori görög kolofoni *Xenophanes*, majd jóval később a XV. század végén a zseniális reneszánsz polihisztor és természetmegfigyelő művész *Leonardo da Vinci* felismerte, hogy tengeri állatok vázai találhatóak a tengerektől távoli hegységek kőzeteiben, és azokat ősi tengerek nyomaként értékelték. *Nicholas Steno* dán udvari orvos és termé-



1. ábra. William Smith és a híres angliai írókréta általa jellemzőnek tartott ősmaradvány-együttese.

szetvizsgáló a rétegzett kőzeteket tanulmányozva 1669-ben arra a következtetésre jutott, hogy a rétegsorban mélyebben lévő üledékrétegek korábban keletkezettek, mint a felettük találhatóak. Ezzel megalkotta a rétegek szuperpozíciójának törvényét, amelyet ma a rétegtan első alaptörvényének tekintenek.

Georges Buffon a XVIII. század talán legnagyobb természetbúvára és a francia felvilágosodás kiemelkedő képviselője volt. A természet rendjére ésszerű magyarázatokat kereső, a dogmákban kételkedő tudósként kétségre vonta azt, hogy a Párizsi-medence sok ezer méter vastag, tengeri állatok vázait nagy tömegben tartalmazó rétegei a bibliai vízözön néhány hónapja alatt rakódhattak volna le. Úgy vélte, hogy ehhez hosszabb időre lehetett szükség. Arra gondolt, hogy a Föld korát egy hasonló méretű vasgolyó lehűléséhez szükséges idő kiszámításával lehetne megközelíteni, és ezt az időt 1749-ben kiadott *A Föld elmélete* című művében 74834 évben határozta meg.

Az angol William Smith csatornaépítő mérnök volt, aki munkája közben, már a XVIII. század végén felismerte, hogy az egymást követő rétegeknek nem csupán sajátos kézzelfogható jellegeik vannak, de ősmaradványaik is eltérőek. E tulajdonságaik alapján akár nagy távolságban lévő rétegeket is azonosítani lehet (1. ábra). Az ő munkásságával kezdődött a rétegtan kialakulása, amely a Föld kergét felépítő kőzettestek térbeli kapcsolatainak tisztázásával és keletkezésük időrendjének meghatározásával foglalkozik, és a geológia egyik legfontosabb tudományterületévé vált.

A korábban már említett Buffon tanítványa volt a XIX. század kezdetének két kiemelkedő francia őslénykutatója, Jean-Baptiste Lamarck és Georges Cuvier, akik az élővilág történetét illetően merőben különböző nézeteket vallottak. Lamarck munkáiban az élővilágnak a környezeti változások miatt lassan, fokozatosan végbement fejlődését hirdette és úgy gondolta, hogy ez év százmilliók alatt történhetett. 1802-ben megjelent dolgozatában a legelsőbb tengeri üledékek korát 900 millió évesre becsülte. Az ősi gerincesek kiváló ismerője Cuvier viszont fixista, azaz a fajok változatlanágának híve volt. Azt az akkor már jól ismert tényt, hogy egymás felett következő rétegsorok ősmaradvány-együttese különböző, természeti katasztrófákkal magyarázta. Követői azt is feltételezték, hogy a katasztrófákat újratemetések követték és ezek során új fajokkal népesült be ismét a Föld.

A XIX. század első felében az 1820–1840 közötti években vezették be a Föld történetének szakaszokra, időszakokra tagolását, és ekkor nevezték el, írták le a máig érvényben lévő geológiai időszakok jelentős részét (pl. szilur, devon, triász, jura, kréta stb.). 1841-ben John Phillips vetette fel az ősi állatvilág fejlettségén alapuló földtörténeti tagolást, megalkotva a paleozoikum, mezozoikum, kainozoikum fogalmát.

A paleontológusok és a rétegtan kutatóinak szemléletében Charles Darwin 1838-ban felismert és 1859-ban közzétett evolúciós tanai hoztak alapvető fordulatot. Darwin felismerte, hogy az evolúció igen lassú folyamat, de sebességének meghatározására nem volt eszköze. Becslés alapján arra következtetett, hogy a kainozoikum kezdete 300 millió évvel ezelőtt lehetett. Úgy vélte, hogy ennyi idő alatt alakulhattak át az akkori fajok a maiakká. Az ember kialakulásához szükséges időt 15 millió évre tette. Ma már tudjuk, hogy a kainozoikum „csak” 65 millió évvel ezelőtt kezdődött, Darwin tehát a valóságosnál körülbelül ötször lassúbb evolúciós tempót tételezett fel. Az emberi faj kialakulása is gyorsabban, de még így is igen hosszú idő alatt ment végbe.

Thomson, ismertebb nevén lord Kelvin, a világhírű fizikus, a termodinamika úttörője, 1862-ben a kihűlő gázgolyónak tekintett Nap korát mindössze 20 millió évesnek számította, és a belül még mindig meleg Föld korát pedig ennél is jóval rövidebbnek vélte, természetesen nem számolva az akkor még nem ismert radioaktív hőtermeléssel.

Kétségtelen, hogy a radioaktivitáson alapuló kormeghatározás felismerése előtt rendkívül nehéz volt reális becsléseket adni a Föld, illetve az egyes kőzetek korára vonatkozóan. Nagy elismeréssel adózhatunk tehát a XIX. századi magyar geológia kiemelkedő tudósának, Szabó Józsefnek (2. ábra), aki az *Előadások a geológia köréből* című ismeretterjesztő munkájában, 1893-ban rendkívül érdekes üledéktani alapú levezetést adott közre a rétegzett kőzetek korára vonatkozóan. Idézzük fel gondolatmenetének néhány részletét! „Szerencsére, van a változásoknak egy oly nagy ciklusa, mely gondos kutatásra alkalmas és számbeli kifejezést is szolgáltat; a Föld felületének a koptatása ez, mi igen lassu folyamatnak tetszik ugyan, de untalan tart.” ... „A kopadék és a lerakodás tömege egymásnak megfelel; ha tehát megmérjük, hogy valami folyó mennyi anyagot visz a tengerbe, kifejezést kapunk egyrészt arra, hogy azon folyó vízkörnyékéről évenként mennyi kőzetanyag hurcoltatott el, és hogy azzal a mélyed-ményben mennyi új réteg képződött” ... „A Föld rétegtudományában egészen véve, ott, a hol legjobban ki vannak fejlődve, nem kevesebb mint vagy 100,000 láb-ra tehető. Ha ezen rétegek a legsebesebb módon rakódtak le, akkor keletkezésükre 73 millió év kellett; ellenben ha a leglassabb módon, akkor nem kevesebb mint 680 millió év alatt jöttek létre.” Szabó József fenti becslése meglepően reálisnak bizonyult, hiszen a szilárd vázzal rendelkező élőlények maradványait már tartalmazó, legidősebb rétegek kora – azaz a fanerozoikum kezdete – mai ismereteink szerint 545 millió évre tehető.

Alapvetően új lehetőséget kínált a földtan számára a radioaktivitás felfedezése, bár ezt a XIX. században még nem tudták. 1896-ban Henri Becquerel francia fizikus a különböző urániumsókkaal végzett lumineszcenciakísérleteit ismertetve egy merőben új jelenségről számolt be: kimutatta, hogy az urániumsók és urániumtartalmú ásványok külső energia (pl. napfény) közlése nélkül is folyamatosan bocsátanak ki láthatatlan sugárzást. Ez a felfedezés messze ható következményekkel járt, a következő évtizedekben az atomfizika és a radiokémia kialakulását és fejlődését indította el.

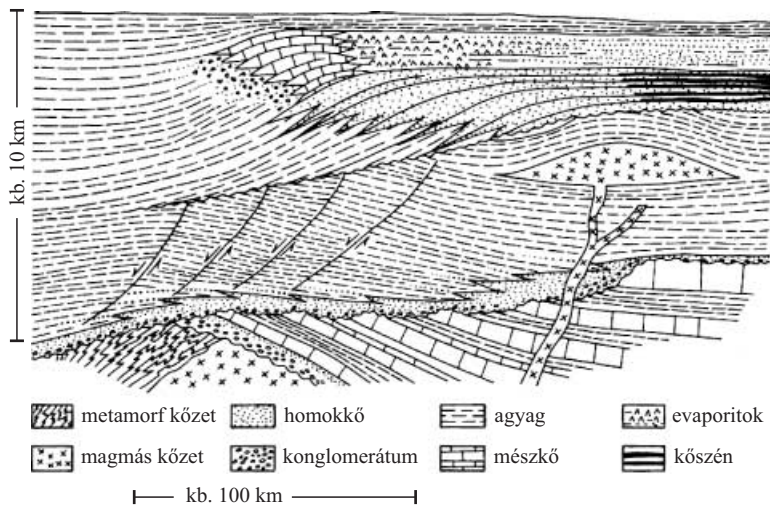
A Marie Curie által „radioaktivitás”-nak elnevezett jelenség kutatói közül elsőként Ernest Rutherford angol fizikus javasolta 1905-ben, hogy a radioaktív atommagok átalakulási sebességei kőzetek és ásványok korának meghatározására is felhasználhatók lehetnek. Azóta gyakorlatilag minden, természetben előforduló radioizotópot megvizsgáltak, vajon használhatók-e geológiai anyagok datálására. Ehhez az izotópok egész sorának felfedezésére, valamint a különböző kémiai elemek izotópjainak elkülönítésére alkalmas, a J. Thomson által 1914-ben leírt, úgynevezett „pozitív sugár” berendezésre, majd a Cambridge-i Egyetem Cavendish Laboratóriumában 1919-ben F.W. Aston által megalkotott tömegspektrométerre, illetve ennek állandó fejlesztésére volt szükség.

A radioaktivitáson alapuló kormeghatározás úttörői között tarthatjuk számon Hevesy Györgyöt, aki 1923-ban a kőzetekben megfigyelt ólom/urán és ólom/tórium arányból 6 milliárd évet számolt a Föld maximális korára, felismerve a radon eltávozásából származó problémát. 1927-ben a szamárium/neodimium arányból 4 milliárd évet kalkulált, ami már igen közel áll mai ismereteinkhez.

2. ábra. Szabó József, akit a magyar geológia atyjának tekintenek.







3. ábra. A litosztratigráfiai egységek kapcsolata (Hedberg, 1986 nyomán). A rétegsorokban az idősebb egységek általában mélyebben, a fiatalabbak felettük helyezkednek el. Az egyidősek a közettani jellegek fokozatos változásával oldalirányban átmennek egymásba vagy összefogazódnak. A rétegsor lehet folyamatos vagy eróziós határral megszakított. A rétegsorba nyomuló mágmás kőzettest fiatalabb, mint az, amelyikbe benyomult.

A tömegspektrométer alkalmazása nyomán az 1950-es évektől jelentős számban végeztek radioaktív kormeghatározást különböző kőzeteken, különböző módszerekkel a világ számos laboratóriumában. Magyarországon az ötvenes évek közepétől az MTA Atommagkutató Intézetében (Debrecen) folynak izotóp-geokronológiai kutatások: elsősorban K–Ar és Ar–Ar módszerrel végeznek világszínvonalú munkát a Kárpát-medence egész területéről származó geológiai mintákon. Az MTA Földtudományi Kutatóközpont Geokémiai Kutatólaboratóriumában az atommaghasadásvány-nyom (fission track) módszerrel értek el jelentős eredményeket.

### A geológiai időmeghatározás jelenlegi szemlélete és fontosabb módszerei

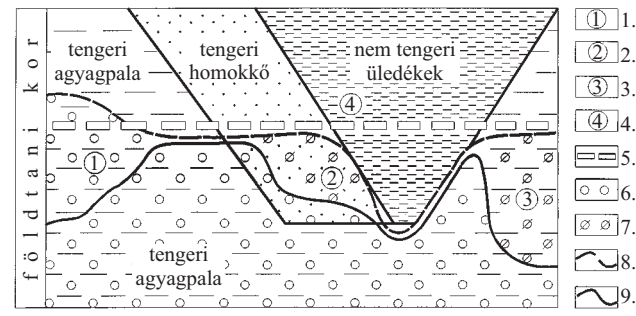
A földtan ma igen sok módszert igyekszik párhuzamosan alkalmazni a földtörténeti események, jelenségek, folyamatok időbeli elhelyezésének érdekében. A módszerek megválasztása a vizsgálandó kőzetek sajátosságaitól és az adott probléma, feladat jellegétől egyaránt függhet. Természetesen igen nagy jelentősége van annak, hogy ma már a kőzetek keletkezési korát években is meg tudjuk adni. Ez azonban nem minden kőzetfajta esetében lehetséges, és jelentős költségekkel is jár. A kőzetek keletkezése gyakran igen hosszú ideig tart, ilyenkor a keletkezési folyamat időbeli lezajlása, egyes részfolyamatok sebességének meghatározása a feladat. Számos esetben a kőzettestek keletkezésének egymáshoz viszonyított ideje, az egyidejű (izokron) szintek megállapítása a legfontosabb. Olyan módszereink is vannak, melyek – bár a keletkezés idejének megállapítását nem teszik lehetővé – bizonyos kőzetekben egészen finom, éves, évszakos vagy akár félnapos időtagolásra alkalmasak, megadva például az üledéklerakódás sebességét, vagy a periodikusan ismétlődő környezeti változások ütemét. Az alábbiakban áttekintjük a geológiai kormeghatározás néhány fontos módszerét, természetesen a teljesség igénye nélkül.

A *kőzetrétegtan* (litosztratigráfia) a kőzetfajták és azok jellegei alapján tagolja, sorolja egységekre a Föld szilárd kérgét (valójában csak a földkéreg felső részét) alkotó

kőzeteket. A litosztratigráfiai egységek (formációk) 3-dimenziós alakulatok és egyúttal a földkéreg építőelemei. A geológiai térképek és térmodellek e kőzettestek síkbeli, illetve térbeli megjelenítését mutatják be. A litosztratigráfiai egységek egymáshoz viszonyított térbeli helyzete ad információt képződésük sorrendjéről. A már említett Steno-féle szuperpozíciós szabály egyike az ilyen relációs értelmezési lehetőségeknek, de ezenkívül számos hasonló szabályszerűséget (egyidejű, korábbi, későbbi relációk) sikerrel lehet alkalmazni a geológia napi gyakorlatában. Ilyen összefüggéseket mutat be a 3. ábra. Az ábra alsó részén üledékes rétegsorba nyomult mágmás test látható. A mágmás test nyilván fiatalabb, mint a befoglaló kőzettest. Az ábra felső részén üledékes kőzetek összefogazódására látunk példát. Az összefogazódó rétegsorok különböző környezetben, közel egy időben keletkeztek.

Az *életrétegtan* (biosztratigráfia) a rétegeket ősmaradvány-tartalmuk alapján különíti el és sorolja egységekre. Bár „hatásköre” tulajdonképpen az üledékes kőzetekre korlátozódik, a biosztratigráfia mégis több, mint pusztán a sztratigráfia egyik ága. A bevezető részben láthattuk, hogy Smith, Cuvier és a rétegtan más alapító atyái az ősmaradványok felhasználásával tették meg üttörő lépéseiket. Ez nem volt véletlen, hiszen – amint ma már tudjuk – a bioszféra fejlődése folytonos és szakaszos, de mindenképpen egyirányú folyamat, melynek dokumentumai, az ősmaradványok nemcsak rétegazonosításra használhatók, hanem a földtörténeti idő meghatározásához közvetlen információkat is hordoznak. A biosztratigráfia legfontosabb kategóriája a biozóna, amely szintjelző ősmaradványok alapján mutatható ki és párhuzamosítható a Föld különböző pontjain. A biozóna alapulhat egyetlen faj előfordulásán (4. ábra), de több faj együttes előfordulásán is.

4. ábra. A biozóna térbeli kiterjedését egyes meghatározott ősmaradványok konkrét előfordulása határozza meg. A kronozóna az az időtartam, amelyet ezek az ősmaradványoknak az első és az utolsó megjelenése képvisel (Hedberg, 1986 nyomán). Jelmagyarázat: 1. Még nem találták meg a biozónát meghatározó ősmaradványokat, 2. Az őslények váza vagy nyoma nem maradt fenn, 3. Az ősmaradványok a metamorfózis során megsemmisültek, 4. Nem éltek a biozónát jelző őslények ebben a környezetben, 5. Elvileg egykorú (izokron) szint, 6. A biozónát meghatározó őslények időbeli és térbeli elterjedése, 7. A biozónát meghatározó ősmaradványok keletkeztek, de később megsemmisültek, 8. Az eredetileg a kőzetbe zárt, biozónajelző ősmaradványok elterjedésének felső határa, 9. A biozónajelző ősmaradványok ismert, jelenlegi előfordulásának felső határa (A biozóna mai ismereteink szerinti felső határa).

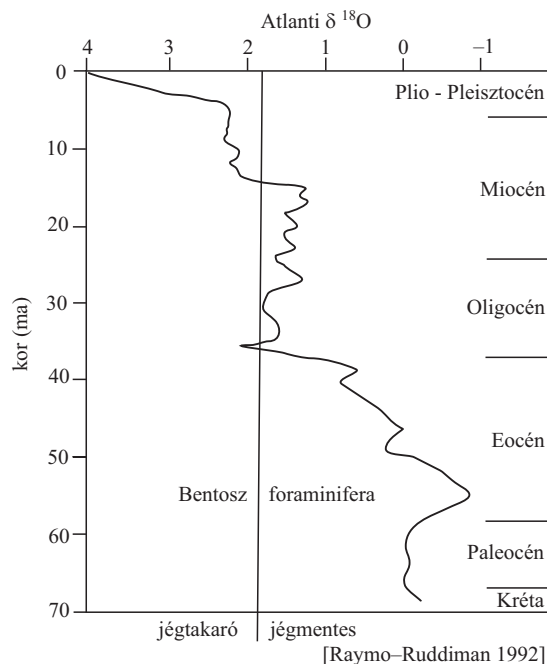


Egy fosszilis faj egyedei akkor használhatók egy időszint követésére – azaz szintjelzőként, vagy régiesen szólva: vezérkövetésként –, ha a faj viszonylag rövid élettartamú és nagy földrajzi elterjedésű volt, megjelenése és eltűnése a teljes elterjedési területen azonos időpontban történt, valamint, ha maradványai gyakoriak, és sokféle környezetben előfordulhatnak. Ez a számos feltétel rendkívül ritkán teljesül egyszerre. Az egymással azonosított (korrelált) biozónák mozaikjából épül fel a biosztratigráfia rendszere.

A *magnetosztratigráfia* a kőzetek mágneses ásványiban rögzült, a Föld egykori mágneses mezejére vonatkozó információk értékelésén alapul. Az 1960-as években a kőzeteken mérhető mágneses irányok meghatározása alapján jutottak arra a következtetésre, hogy a földtörténet során a mágneses pólusok gyakran felcserélődtek, azaz mágneses térfordulás következett be. A további vizsgálatok azt is kiderítették, hogy a pólusátfordulások geológiai értelemben igen rövid idő alatt mentek végbe. A magnetosztratigráfia segítségével az egész Földre érvényes időintervallumok, illetve határszintek határozhatók meg, melyek az elmúlt évtizedekben az időkorreláció rendkívül fontos eszközeivé váltak, különösen a földtörténet fiatalabb (kainozoos) szakaszaira vonatkozóan.

A rétegsort regionális üledékhézagokkal tagoló *szekvencia-sztratigráfia* az 1970-es években született, elsősorban a mesterségesen keltett földrengéshullámok értékelésén alapuló geofizikai mérések (szeizmikus szelvények) értelmezésének fejlesztése érdekében. A szekvenciák létrejöttét relatív vízszintváltozásra vezették vissza, amely az aljzat süllyedő–emelkedő mozgásának és a világtengerek millió éves nagyságrendű vízszintváltozásainak az eredője. A millió éves nagyságrendű tengerszintváltozások oka azonban ma is vitatott, és ebből kifolyólag a szekvenciákon alapuló globális korreláció elvi alapjai sem tisztultak meg le.

Mai ismereteink alapján is kielégítően magyarázható viszont a 10 ezer – 100 ezer éves nagyságrendű üledékciklusok kialakulása. A *ciklussztratigráfia* elsősorban erre épül. Ciklusos üledékképződésről akkor beszélünk, ha az egymást követő rétegek sorozatában szabályszerű ismétlődés van. *Milankovic* szerb mérnök, csillagász és matematikus az 1920-as években olyan elméletet dolgozott ki, amely a jégkorszakok kialakulását, az eljegesedési és a felmelegedési szakaszok váltakozását a Föld keringési pályaelemeinek módosulása miatt bekövetkezett besugárzásváltozásokra vezette vissza. A 100 és 410 ezer éves periodicitású excentricitással, a ferdeség kismértékű változásának 41 ezer éves periódusával és a 21,7 ezer év átlagos periodicitású precesszióval számolt. Később az is kiderült, hogy nem csupán a jégkorszaki, hanem különböző korú és különböző környezeti egységekben keletkezett ciklusos rétegsorok is az említett periodicitásokat mutatják. A pályaelemek periodikus változása (az ún. Milankovic-ciklicitás) bonyolult áttételeken keresztül hagy nyomot az üledékes rétegsorokban. A pályaelemek módosulása a besugárzás szezonálisát és ezen keresztül a klímát befolyásolja, de a tengerszintváltozásokra is hatással lehet, amennyiben az adott időben a Föld sarki jégspaknával rendelkezik.



[Raymo–Ruddiman 1992]

5. ábra. Az Atlanti-óceán üledékéből származó egysejtű állatok (Foraminiférák) mészvázában megfigyelt oxigénizotóp-összetétel változásai a kainozoikum idején (Raymo és Ruddiman, 1992 nyomán).

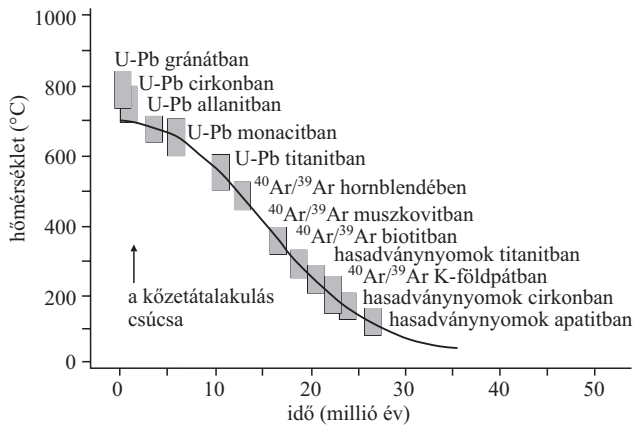
Az utóbbi évtizedben igen gyorsan fejlődő *kemosztratigráfia* az óceánvíz kémiai (elem- és izotóp-) összetételének időbeli változásain alapul. A jelenleg alkalmazott módszerek elsősorban az izotóparányok változására épülnek, és főként az ősmaradványok vázainak vizsgálatán alapulnak. Az 5. ábra az Atlanti-óceán üledéksorában felhalmozódott egysejtű planktonállatok – Foraminiférák – mészvázában mutatja az oxigénizotóp-arány változását a kainozoikum folyamán (Raymo és Ruddiman, 1992). A változások elsősorban a víz hőmérsékletének ingadozását tükrözik, ami globális klímaváltozásokra vezethető vissza. Ez ad lehetőséget arra, hogy pontosabban nem ismert korú rétegsorokat az oxigénizotóp-arányok alapján korreláljunk.

A *radioaktív izotópos kormeghatározás* lényege az a felismerés, mely szerint a radioaktív bomlás sebessége egyedül az adott radioaktív atommag stabilitásától függ. A bomlás sebességét külső tényezők (pl. a hőmérséklet, nyomás stb.) nem befolyásolják. A radioaktív kor azt az időt adja meg, amely a vizsgált ásványnak, kőzetnek szilárd fázisban történő kiválása, vagy átkristályosodása óta eltelt.

A radioaktív izotópos kormeghatározásának alapfeltételei a következők:

- a vizsgált ásványban a „szülő”- (radioaktív, elbomló) izotóp és a bomlás eredményeként keletkezett „leány”-izotóp koncentrációiban az ásvány kiválása után végbement változások kizárólag csak a radioaktív bomlás eredményei legyenek (az ásvány kiválásakor csak „szülő”-izotóp legyen jelen);
- az adott izotóprendszer szempontjából a vizsgált ásvány vagy kőzet keletkezésétől a jelenig zárt rendszerként viselkedjék.

Ezek a feltételek azonban a természetben szinte sohasem, vagy csak nagyon ritkán teljesülhetnek. Ezért a radioaktív izotópos kormeghatározás eredményeinek értel-



6. ábra. Metamorf kőzetek ásványainak különböző izotóprendszerekre vonatkoztatott, úgynevezett záródási hőmérsékletei, Spear F.S. (1993) nyomán.

mezése rendkívül összetett feladat, amely a fizikus-geokronológus, a földtan különböző szakterületeit művelő petrográfus, mineralógus, sztratigráfus szakemberek együttműködésével lehet csak sikeres.

E tekintetben alapvető jelentőségű a geológiai objektumok vizsgált izotóprendszere vonatkozó úgynevezett záródási vagy blokkolási hőmérsékletértékeinek meghatározása, amely *Dodson* (1973) nevéhez fűződik. Egy ásvány záródási hőmérsékletét a következő tényezők határozzák meg:

- a  $dT/dt$  lehülési sebesség;
- a kémiai diffúzió aktivációs energiája;
- a kristályn belüli diffúziós domének.

A 6. ábrán a kormeghatározásoknál gyakran alkalmazott izotóprendszerek különböző ásványokban meghatározott záródási hőmérsékletei (pontosabban: hőmérséklet-intervallumai) láthatók, viszonylag lassú lehülési sebességet feltételezve.

A fentiek miatt, különböző kőzetfajták esetén eltérő izotóp-geokronológiai módszerek alkalmazhatók, és az értelmezés is eltérő megfontolásokat tesz szükségessé.

Az üledékes kőzetek esetében a radiometrikus kormeghatározás, illetve a mérési eredmények értékelése komoly nehézségekbe ütközik. Az üledékes kőzetek jelentős része ugyanis nem tartalmaz radioaktív kormeghatározásra alkalmas ásványt. Kedvező esetben azonban a kőzetben található az üledékképződés során keletkező vagy az üledékfelhalmozódással egyidejű vulkáni tevékenység során az üledékbe jutott ásványok, melyek kora megadhatja az üledékképződés, illetve a kőzetté válás korát. Más ásványok azonban korábban keletkezett kőzetek lepusztulásából származnak, ennél fogva nem az üledék lerakódásának, hanem a lepusztulási területet alkotó földtani képződményeknek a korát adják meg.

Magmás kőzeteknél az izotópos korok értelmezése a magmatitok képződési körülményeitől, elsősorban a lehülési sebességtől függ. A gyors lehülésű vulkáni kőzeteknél az izotópos korok gyakorlatilag a magmás működés korával egyeznek meg. Lassú lehülésű plutoni (intruzív) kőzeteknél a magmás működés tényleges koránál fiatalabb, úgynevezett lehülési korokat kaphatjuk meg, tehát azt az időpontot, amikor a vizsgált kőzet vagy ásványa az adott izotóprendszer szempontjából zárttá vált.

Metamorf (átalakult) kőzetek esetében a különböző záródási hőmérsékletű ásványok/izotóprendszerek tanulmányozásával lehetőség nyílik a metamorf események ismétlődésének (polimetamorfózis) kimutatására és a metamorf összeleték lehüléstörténetének rekonstrukciójára is.

## Geológiai időskála

Napjaink földtudománya a fentiekben tárgyalt, valamint számos, itt nem említett geológiai időmeghatározási, időtagolási módszert együttesen igyekeznek felhasználni a földtörténet, azaz a földtani folyamatok időbeli lefolyásának felderítésére. Ezt a sokoldalú megközelítést nevezik integrált sztratigráfiának. A rétegtani vizsgálatok eredményeként a kőzettesteket geológiai korok szerint úgynevezett kronosztratigráfiai egységekbe sorolják. Ezek időtartamát fejezik ki a geokronológiai egységek, melyek hierarchikus rendszere alkotja a geológiai időskálát, melynek alapjait – mint láttuk – a XIX. század első felében fektették le. Azóta a kutatók folyamatosan dolgoznak a skála tökéletesítésén, az egységek határainak definiálásán és koruk minél pontosabb meghatározásán. A földtörténet fő fejezeteinek, magasabb rangú egységeinek a határát már a XIX. században is az élővilág jelentős változá-

7. ábra. A mezozoikum geológiai időskálája (*Gradstein* és *mtsi*, 1994 nyomán). Az ábra jobb oldalán lévő görbe a rétegtani egységek években kifejezett korának hibatarományát mutatja.

év	idő	időszak	kor	korszak	hiba ( $\pm$ ) M év
65	Kz			dániai	2 4
70				maastrichti	65 $\pm$ 1
80		kréta	késő	campaniai	
	santoni				
	coniaci				
	turon				
	cenoman				
100				albai	
110		kora		apti	
120				barremi	
130				hauterivi	
	valangini				
	berriasi				
150		jura	késő	tithon	
	kimmeridgei				
	oxfordi				
	callovi				
	bath				
170		középső		bajoci	
	aaleni				
	toarci				
190		kora		plienbachii	
	sinemuri				
	hettangi				
210		késő		rhaeti	
	nori				
	karni				
230		középső		ladini	
	anisi				
240		kora		olenyoki	
	indusi				
250	Pz	perm		tatár	248,2 $\pm$ 4,8

saihoz kötötték. Ezek többsége valóban drasztikus változásokhoz, globális természeti katasztrófákhoz köthető, amelyek mintegy szelektálták a többnyire már korábban meggyengült élőlénycsoportokat, jöllehet a legnagyobb katasztrófák sem vezettek az élővilág nagy csoportjainak teljes megsemmisüléséhez. Ilyen esetekben természetes határokról beszélhetünk, és ezek megkeresése, pontos meghatározása a feladat. Más esetekben azonban – ez a helyzet a részletesebb tagolást adó, rövidebb időtartamot átfogó egységek (emeletek, illetve korszakok) nagy részének esetében – nem történt a Föld egészére kiható lényeges változás, zavartalan az evolúció, ezért nincs természetes határ, azt valamilyen módon, nemzetközi megegyezéssel ki kell jelölni. A globális geológiai skála minden egységének alsó határát egy konkrét helyen, a Föld egyetlen pontján jelölik ki, amelyet sztratotípusnak, illetve határpontnak neveznek. A határok kijelölése – ami nemzetközi program keretében jelenleg is folyik – természetesen előfeltétele annak, hogy években kifejezett korukat viszonylag pontosan meg tudjuk határozni, de ennek egyéb nehézségei is vannak.

Ma már a kréta időszak középső részéig, hozzávetőlegesen 100 millió évig visszamenve a geológiai időskála években meghatározott kora viszonylag pontos, a határok korát legfeljebb néhány 100 ezer éves hiba terheli. Eddig ugyanis támaszkodhatunk a mai óceánok aljzatán végezett mágneses mérések adataira, kiváló magnetosztratigráfiai skálával, biosztratigráfiai rendszerrel és nagyszámú radioaktív izotópos koradattal rendelkezünk. A fanerozoikum korábbi szakaszait illetően már sokkal kevesebb a közvetlen adat, és a hibahatár emiatt 4–5 millió évre nő (*Gradstein és mtsai, 1994, 7. ábra*). A fanerozoikumnál korábbi, azaz 545 millió év előtti földtörténeti szakaszra nézve még sokkal nagyobb a bizonytalanság, hiszen itt már biosztratigráfiai rendszert nem használha-

tunk. A geológiai kormeghatározáshoz kizárólag a litosztratigráfiai egységek kapcsolatai és a radiometrikus adatok adhatnak támpontot.

A geológiai időmeghatározás módszereinek kidolgozása, rendszerének felépítése és az időskála megalkotása a földtudomány kiemelkedő teljesítménye, amely több mint 200 év kutatásainak, kutatók ezreinek eredményeire épül. A skála alapját egymáshoz kapcsolódó, de független elvi alapokon álló ismeretek hálózata képezi. Az ismeretek természetesen állandóan bővülnek, a skála egyes elemei módosulhatnak, a határok kora pontosabbá válik. A földtörténet utolsó, mintegy félmilliárd éves szakaszára nézve már ma is jól használható, tudományosan sokoldalúan megalapozott időskálával rendelkezünk az élettelen természet és az élővilág változásainak időbeli elemzéséhez. Az időmeghatározás módszereinek és magának az időskálának a fejlesztése azonban ma is a földtudomány egyik legfontosabb feladata. Ebben kiemelkedő szerepe van a fizikai alapú módszereknek, jöllehet a geológiai időtagolás ma és a jelenleg belátható jövőben is az élővilág egyirányú evolúcióján alapul.

#### Irodalom

- DODSON M.H. (1973): *Closure temperature in cooling geochronological and petrological systems* – Contributions to Mineralogy and Petrology 40 259–274
- GRADSTEIN F.M., AGTERBERG F.P., OGG J.G., HARDENBOL J., VAN VEEN P., THIERRY J., HUANG Z. (1994): *A Mesozoic time scale* – Journal of Geophysical Research B99 24051–24074
- HEDBERG H.D. (1986): *International Stratigraphic Guide. A Guide to Stratigraphic Classification, Terminology, and Procedure* – ISSC
- RAYMO M.E., RUDDIMAN W.F. (1992): *Tectonic forcing of Late Cenozoic climate* – Nature 359 117–122
- SPEAR F.S. (1993): *Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths* – Mineralogical Society of America, Monograph, p. 799, Washington, D.C.
- SZABÓ J. (1893): *Előadások a geológia köréből* – Természettudományi Társulat, Budapest

## INTÉZETEINK, TANSZÉKEINK

# BEMUTATKOZIK A PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM KÍSÉRLETI FIZIKA TANSZÉKE

Berkes József, Buzády Andrea, Pálfalvi László

## A Tanszék története

A Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Karának Kísérleti Fizika Tanszéke nagyon fiatal az ország más hasonló intézményeihez viszonyítva, mégsem előzmények nélküli. A Tanszék története, fejlődése szervesen összekapcsolódik a felsőfokú fizikaoktatás történetével Pécsen, amely a Pécsi Pedagógiai Főiskola megalakulásával 1948-ban indult.

A Fizika Tanszék az alapítók között szerepelt, melynek első vezetője 25 éven keresztül, nyugdíjba vonulásáig *Jeges Károly* volt. Őt 1973-ban *Litz József* követte,

1983-ig. Ebben az időben a Tanárképző Főiskolán a főiskolai szintű tanárképzés rendszere a minőségi fejlődés jegyében többször átalakult. Ennek megfelelően a fizikaoktatás tematikája állandóan fejlődött, több főiskolai jegyzet, számos ötletes kísérleti eszköz készült, amelyek tanári ankétokon is bemutatásra kerültek. Tudományos kutatómunka már 1957-től folyt a Tanszéken. Az első eredmények az elektrolumineszcencia területén *Jeges Károly* nevéhez fűződtek, természetes, majd mesterséges ön-dioxidon észlelte az elektrolumineszcens hatást. Eredményeiről számos cikkben számolt be. Ezekbe a vizsgálatokba kapcsolódott be *Litz József*, aki több



elektrolumineszcens anyagot állított elő, majd elsősorban a kalcium-sztannáttal végzett kísérleteket. Kvantitatív összefüggéseket állapított meg a kristályon átfolyó áram erőssége, a fényáram, a felvett teljesítménysűrűség és a kristályra jutó feszültség között. A kísérletező tudóstanárr Jeges Károly emlékére 2000-ben emléktáblát avattunk az Intézetben.

1982 mérföldkő a Tanszék életében, ekkor alakult meg a Janus Pannonius Tudományegyetem és a Tanárképző Kar. 1983-ban *Kozma László* lett a Fizika Tanszék vezetője, a Tanszék az egyetemi oktatás és a tudományos kutatás iránt elkötelezett kollégákkal bővült, megkezdődött a majdani egyetemi képzés előkészítése. A Tanárképző Kar megalakulásakor megfogalmazott céloknak megfelelően a természettudományi területen folyamatos fejlesztőmunka kezdődött, jelentős tárgyi beruházások történtek. Az épületegyüttes 1989-ben megkezdett teljes rekonstrukciója 1999-ben fejeződött be, aminek eredményeként korszerű infrastruktúrájú campus jött létre. Új hallgatói és kutatólaboratóriumok, konferenciaterem, könyvtár, étterem, aula, sportcsarnok, sportpálya, uszoda kerültek átadásra. Az „egyetem-mé válás” jegyében mind a természettudományi, mind a bölcsészettudományi területen jelentős személyi fejlesztés valósult meg, indokoltá és lehetségessé vált a két terület szétválása. 1992-ben a Tanárképző Kart átszervezték, és megalakult a Természettudományi Kar és a Bölcsészettudományi Kar.

A Fizika Tanszéken, a szegedi hagyományokon felnőtt oktatói gárda lézerfizikai, lézerspektroszkópiái és lumineszcencia-spektroszkópiái kutatásokkal kezdett el foglalkozni. A témában több nemzetközi konferenciát is szerveztünk. Az oktatás fejlesztése, átszervezése után 1989-ben megkezdődhetett az egyetemi szintű fizikaoktatás. A kilencvenes években a kutatási terület bővült, megjelent az elméleti magfizika, a plazmafizika, szükségessé vált a Tanszék újraszervezése. Első lépésként 1995-ben megalakult az Elméleti Fizika Tanszék és a Kísérleti Fizika Tanszék. Előbbi vezetője *Korpa Csaba* lett. Majd 1997-ben *Sánta Imre* vezetésével megalakult az Általános Fizika és Lézerspektroszkópia Tanszék. *Kozma László* nyugdíjba vonulása után, 1999-ben *Hebling János* lett a Kísérleti Fizika Tanszék vezetője, akivel új tudományos kapcsolatok és témák jelentek meg a Tanszéken. A TTK-n eközben az egyes szakterületek intézeti struktúrába szerveződtek. Ennek keretében 1998-ban létrejött a Fizikai Intézet is, amelynek az első években *Bergou János*, majd 2001-től *Janszky József* lett az igazgatója.

## A mai Kísérleti Fizika Tanszék

A Tanszék munkájában jelenleg 10 fő vesz részt a következők szerint: a Tanszék vezetője *Hebling János* egyetemi docens, további három egyetemi docens: *Almási Gábor*, *Erostyák János*, *Kublevszkij Szergej*, három egyetemi adjunktus: *Berkes József*, *Buzády Andrea*, *Kozma Ida Zsuzsanna*, egy tudományos munkatárs: *Pálfalvi László*, egy tudományos segédmunkatárs: *Nyitrai Gergely* és egy PhD-hallgató: *Bartal Balázs*.



A Tanszék épülete

*Hebling János* Széchenyi Professzori, *Erostyák János* Bolyai János-, *Buzády Andrea* Békésy György-ösztöndíjat nyert el. *Kozma Ida Zsuzsanna* jelenleg Humboldt-ösztöndíjas a Ludwig Maximilian Egyetemen (Németország, München).

## Oktatási tevékenység

Oktatási feladatainkat az Intézet másik két tanszékével együttműködve látjuk el. Munkatársaink a fizika és más szakterülethez tartozó hallgatók oktatásában egyaránt részt vesznek. Hallgatóink egyrészt egyetemi szintű *fizikatanár* szakon, másrészt az újabb képzési igényeknek megfelelően, nem régen indított, főiskolai szintű *alkalmazott fizikus* és *vegyész-fizikus laboratóriumi operátor* szakon tanulnak. Idén ősztől pedig elindul a régióban egyetlen egyetemi szintű informatikusképzés, az *informatikus fizika* szak. Ez utóbbi a kötelező alapkollégiumok teljesítése után a rugalmas tanrendnek köszönhetően mind fizikus, mind informatikus orientációt lehetővé tesz.

Az előadásokon a jobb megértés és szemléltetés érdekében igyekszünk kihasználni a korszerű multimédiás lehetőségeket. A már régebb óta meglévő, videolemezen rendelkezésünkre álló oktatási anyagokon kívül felhasználunk a világhálón elérhető anyagokat is. Ezenkívül továbbfejlesztjük a demonstrációs eszközparkot, hogy növelhessük az élő kísérletek számát.

A kísérleti fizikai alapkollégiumok közül a mechanikát (*Hebling János*), az elektromosságtant (*Almási Gábor*), az optikát (*Erostyák János*) és az anyagszerkezetet (*Hebling János*) tanítják előadások, szemináriumok és laboratóriumi gyakorlatok formájában. A felsőbb évfolyamok számára lézerfizika, fluoreszcencia-spektroszkópia, hullámvezető optika, plazmafizika, fizikai informatika témakörökben speciális kollégiumokat hirdetünk.

A képesítési törvénynek megfelelően a TTK más, nem a fizika szakterülethez tartozó hallgatói is tanulnak fizikát. A biológushallgatók számára *Erostyák János* tartja a két féléves bevezető jellegű *Fizika* tárgyat.

A fizikatanár szakon a nappali tagozatos képzésen kívül levelezőoktatást is szervezünk. A már főiskolai fizi-





A Tanszék munkatársai

katanári oklevéllel rendelkezők számára kiegészítő, az új diplomaszerezők számára főiskolai és egyetemi szintű képzés folyik. A vegyész-fizikus laboratóriumi operátor levelező, alapidomás képzésünk nagyon népszerű, különösen a laboratóriumokban dolgozó középfokú vegyésztechnikus végzettségűek körében.

Litz József és Erostyák János az utóbbi években több egyetemi tankönyv szerkesztésében és írásában vett részt. Litz József *Eletromosságban és mágnességben* című tankönyve az *Általános Fizika* tankönyvsorozat II. köteteként a Műszaki Könyvkiadó kiadásában jelent meg 1998-ban. A sorozat további kötetei a Dialóg-Campus Kiadónál jelentek meg. Az *Általános Fizika* III. kötetében a *Fénytant* Erostyák János írta, ebből a könyvből az 1999-es első kiadás után 2003-ban javított kiadás is készült. A 2001-ben megjelent *Általános Fizika* I.b. kötetében a *Hőtant* Litz József írta. A nem fizika szakosok számára készült a Nemzeti Tankönyvkiadó gondozásában, 2003-ban megjelent *Fizika alapjai* című könyv. Kollégáink a kísérleti fizika alapjait tartalmazó könyv alkotó szerkesztői és több fejezetének szerzői is egyben.

A Fizikai Intézetben a tanárjelöltek tantárgy-pedagógiai, szakmódszertani képzése, felkészítése a Kísérleti Fizika Tanszéken történik. A területtel kapcsolatos előadásokat Berkes József tartja, vezeti a gyakorlatokat, el látja a záróvizsgával kapcsolatos teendőket és szervezi, irányítja a hallgatók gyakorlati képzését.

Az előadásokon a hallgatók megismerik a fizikatanítás folyamatát, a legfontosabb módszereket, eszközöket, a szemléltetés különféle változatait, a szervezési formákat, az ellenőrzés, értékelés alapvető lehetőségeit. Gyakorlat keretében megismerik, elvégzik azokat a legfontosabb tanári, illetve tanulói kísérleteket, melyek alkalmazására majd az általános iskolai vagy a középiskolai munkájuk során szükségük lesz. Ezekhez a gyakorlatokhoz kapcsolódva megismerkednek a jelenleg érvényben lévő többféle tankönyvvel és a tanításra kerülő tananyaggal. A negyedéves általános iskolai és a negyedéves középiskolai tanítási gyakorlatokon az iskolákban rájuk váró feladatok kerülnek előtérbe, az egyetemen tanultakat kezdik alkalmazni tapasztalt szaktanárok irányításával három gyakorlóiskolában.

A hallgatók jelentős része szabad idejében vállalja a tanulásban lemaradt, illetve az iskolai lehetőségeknél többre vágyó diákok felkészítését, ami jelentősen hozzájárul későbbi munkájuk végzéséhez, a gyerekek alaposabb megismeréséhez. A hallgatóknak módjukban áll a

területtel kapcsolatos diákköri munkában, illetve a fizika-tanári ankétokon részt venni. Néhányan diplomamunkájuk témáját is a fizikatanítás köréből választják.

A Tanszéken fontosnak tartjuk a város, a megye és a régió iskoláival, pedagógiai intézeteivel történő kapcsolattartást. Ebben a munkában Intézetünk más tanszékén dolgozó kollégák is szerepet vállalnak. Most 22 éve annak, hogy Berkes József és *Kotek László* Pécsen először írtak ki versenyfeladatokat a város hetedik és nyolcadik osztályos diákjai számára. Ebből később háromfordulós megyei, illetve területi (Baranya, Somogy és Zala) verseny lett. Az országos Öveges József-fizikaverseny 1991-es elindításával, ahhoz kapcsolódva ma is működik a rendszer. Az elmúlt évek során két feladatgyűjteményben – *Alapfokú fizika versenyfeladatokban* (1993), *Felkészítő feladatok fizikából* (2000) – jelentettük meg azokat a feladatokat, amelyek az évente ismétlődő versenyeken szerepeltek. Berkes József 1992-től feladatkitűzőként és verseny szervezőként vesz részt az Öveges József-fizikaverseny munkájában. Az országos verseny első öt évének feladatai nyomtatásban is megjelentek. Az ELFT minden évben (az utóbbi években Berkes József szerkesztésében) megjelenteti az országos döntőről készített kiadványát, mely a verseny krónikáját, a kitűzött feladatokat, azok megoldásait, az eredménylistát stb. tartalmazza. Berkes Józsefet az Öveges József-fizikaverseny szervezésében és az ELFT Általános Iskolai Szakcsoportjának irányításában végzett tevékenységéért az ELFT idén Eötvös-éremmel tüntette ki.

Az iskolákkal, intézettekkel, kollégákkal való jó kapcsolatok következményei a tanártovábbképzésekre, az iskolanapokra, a kísérleti bemutatókra szóló meghívások, amelyek Sarkadtól Sopronig, Egertől Lentiig az ország számos iskolájából érkeztek hozzánk. Ezek a szakmai, módszertani előadások, kísérleti bemutatók, versenyek a Tanszék munkájának megismertetése mellett hozzájárulnak beiskolázási elképzeléseink megvalósításához is. Több alkalommal fogadtuk az egykori tanítványaink vezetésével az ország különböző iskoláiból érkező országjáró diákokat, akik intézményünk megismerésére, kísérleti bemutatókra látogattak el hozzánk.

A közoktatás átalakítása kapcsán új tankönyvek, feladatgyűjtemények megírására került sor. Ebben az Intézet szakemberei is részt vettek, *Szűcs József* a tankönyv-írásban, Berkes József és *Kotek László* az egységes érettségi feladatgyűjtemény gyakorló feladatainak megírásában vett részt. Évek óta mindhárman érettségi elnöki és fizika szaktárgyi szakértői feladatokat is végeznek.

## Tudományos kutatások

A Tanszéken elsősorban lézerekkel kapcsolatos kutatásokkal foglalkozunk. Ide tartozik a különböző lézerek, optikai erősítőrendszerek tervezése, építése, fejlesztése, lézerek spektroszkópiai alkalmazása, illetve különböző fény–anyag kölcsönhatások vizsgálata. Ehhez csak részben kapcsolódó téma a fluoreszcencia-spektroszkópia. Az új tanszéki irányításnak köszönhetően a Tanszék tudományos életére az utóbbi öt évben a dinamikus fellendülés volt a jellemző. A kutatási témák, a hazai és nemzetközi kapcsolatok jelentősen bővültek. Mindez több sikeres pályázatban is megmutatkozott (NKFP, OTKA), az elnyert műszerpályázatok (OTKA, OMFB) az eszközpark jelentős fejlődését eredményezték. Ez utóbbi öt évben született egy MTA doktora (Hebling János) és öt PhD doktori fokozat (Almási Gábor, Buzády Andrea, Kozma Ida Zsuzsanna, Nyitray Gergely, Pálfalvi László). Ez idő alatt kollégáink 57 nemzetközi, referált folyóiratcikket jelentettek meg, és 25 előadással szerepeltek nemzetközi konferencián. A tudományos munkába a hallgatók is bekapcsolódnak, a módszertani témán kívül többen választanak a kutatáshoz kapcsolódó diplomamunka-témát.

A Tanszék kutatási témái három fő irányvonal köré csoportosulnak.

A különböző *nemlineáris optikai folyamatok és nemlineáris optikai anyagok vizsgálatával* kapcsolatos kutatások irányítója Hebling János. Mivel a legjobb tulajdonságú lézerek csak bizonyos frekvenciatartományban tudnak működni, a nemlineáris optikának évtizedek óta legfontosabb területe a lézerek frekvenciájának átalakításával foglalkozik. Az ultrarövid ( $< 10^{-12}$  s) impulzusok előállításával kapcsolatos alkalmazás orientált kutatások különösen igényelték a különböző nemlineáris frekvenciaátalakító berendezések fejlesztését. A szinkronpumpált optikai parametrikus oszcillátor (OPO) egy rezonátorba helyezett nemlineáris kristály, melyet ultrarövid fényimpulzusokkal pumpálunk, és amely a pumpáló fénynél kisebb, általában változtatható frekvenciájú fényimpulzusokat állít elő. Az ultrarövid fényimpulzusok előállítása esetén az egyik legfontosabb feladat a fényimpulzusnak az optikai berendezések anyagi diszperziója miatt bekövetkező időbeli megnyúlásának az ellensúlyozása, az úgynevezett csoportkésés-diszperzió kompenzálása. Hebling János elsőként tervezett és épített olyan OPO-kat, amelyek a csoportkésés-diszperzió kompenzálására speciális tükröket tartalmaztak. KTP kristályt, illetve periodikusan polarizált  $\text{LiNbO}_3$ -ot (PPLN-t) tartalmazó berendezéssel sikerült az eddigi legrövidebb (34 fs) infravörös, illetve legnagyobb (1 GHz) ismétlési frekvenciájú OPO-működést elérnie. A kísérleti munka végzésére eddig a stuttgarter Max-Planck-Institut für Festkörperforschungban, illetve a Bonni Egyetem Alkalmazott Fizikai Intézetében volt lehetőség. Az OPO-kal kapcsolatos elméleti számításokban Bartal Balázs és Pálfalvi László vesz részt. Az OPO működését számítógépes programmal szimulálva, a bemenő paramétereket (pumpálás, jel, kristály jellemzői) szisztematikusan, széles tartományon változtatva kívánják megtervezni minél rövidebb és minél nagyobb energiájú OPO-impulzusokat. A Tanszék mun-

katársai által tervezett OPO Németország öt egyetemén, illetve kutatóintézetében működik. Jelenleg egy OPO az MTA SZBK, egy másik pedig a PTE ÁOK Biofizikai Intézete számára készül.

A nemlineáris optikai folyamatok során a legjobb hatásfok eléréséhez úgynevezett fázisillesztésre vagy sebességillesztésre van szükség. Ezt a legtöbb anyag, így a  $\text{LiNbO}_3$  esetén is csak úgy lehet elérni, ha a nemlineáris kölcsönhatásban részt vevő hullámok polarizációja nem egyezik meg. Márpedig a  $\text{LiNbO}_3$  nemlineáris optikai tenzorának az a  $d_{33}$  komponense, amely azonos polarizációjú hullámok kölcsönhatásával kapcsolatos, közel tízszer nagyobb, mint az összes többi komponens. Az átalakítás hatásfoka  $d$  négyzetével arányos. Ezért volt nagyon fontos az a mintegy 15 éve született felismerés, miszerint  $\text{LiNbO}_3$  esetén elektromos úton megvalósítható, hogy periodikus doménstruktúra alakuljon ki (ezt a folyamatot nevezzük periodikus polarizálásnak), és ezzel (kvázi)fázisillesztést lehet elérni azonos polarizációjú hullámokra is. Mivel az akár közel két nagyságrendnyi hatásfok-növekedés hatalmas fejlődési lehetőséget jelent a lézerfizika területén, továbbá az MTA-SZFKI Kristálytechnológiai Osztályán a világ egyik legjobb minőségű (különleges összetételű)  $\text{LiNbO}_3$ -kristályait tudják előállítani, 1999-ben javasoltuk *PPLN kristályok közös hazai előállítását*. E téma tanszéki irányítója Almási Gábor. A gyakorlat orientált kutatásokat és fejlesztéseket a 2000-ben Sánta Imre vezetésével megalkult PTE – Dél-Dunántúli Kooperációs Kutató Központ (DDKKK) Nemlineáris Optikai Osztályán végezzük, melynek vezetője Hebling János. A frekvenciaátalakítóban történő alkalmazás szempontjából legígéretesebb összetételű  $\text{LiNbO}_3$  kiválasztásához az anyag ferroelektromos és nemlineáris optikai tulajdonságainak az összetételtől (Li/Nb arány, Mg-adalékolás) való függésének vizsgálatára van szükség. A polarizálás folyamata szempontjából fontos koercitív erő mérését Almási Gábor végzi. A frekvenciaátalakítóként történő alkalmazás során fellépő fényindukált törésmutató-változás jelentős nyálábtorzuláshoz vezethet, ami az alkalmazás szempontjából hátrányos. Pálfalvi László olyan kísérleti elrendezést és elméleti modellt dolgozott ki, mely alkalmas a nemlineáris effektusok okozta törésmutató-változás nagy érzékenységgel történő vizsgálatára. A módszert a  $\text{LiNbO}_3$ -ra alkalmazta, és megállapította, hogy a nagyintenzitású alkalmazások során két egymástól független eredetű, zavaró hatású nemlineáris jelenség lép fel: a fotorefrakció és a termooptikai nemlinearitás. A kvantitatív eljárást az alkalmazás szempontjából legmegfelelőbb kristályösszetétel kiválasztásához használja. Pálfalvi László ebből a témából készítette el PhD-értekezését Hebling János vezetésével.

A Tanszéken folytatott nemlineáris optikai kutatások egy másik területe a *THz-es frekvenciatartományú (távoli infravörös) elektromágneses impulzusok előállítása*. A THz-es spektrumtartomány először a múlt század ötvenes éveiben volt az érdeklődés középpontjában, akkor ennek elsősorban hadászati okai voltak. A lézerek elődei a mézerek is a THz-es tartományon működtek. Az érdeklődés azután nőtt meg újra a THz-es sugárzás iránt, hogy mintegy húsz éve, ultrarövid fényimpulzusok segítségével lényegében egy periódusból álló ultrarövid THz-es im-

pulzusokat tudtak előállítani, és lehetőség nyílt ezen impulzusok elektromos térerőssége időbeli lefutásának a mérésére. Ez a THz-es impulzusok több mint két nagyságrendnyi frekvenciaszélességével együtt a legkülönbözőbb anyagok azonosítását teszi lehetővé akár egy levél vagy csomag belsejében is, hiszen a papíron áthatol a THz-es sugárzás. Nagy hatásfokú THz-es impulzus előállítására céljából Hebling János olyan sebességillesztési elrendezést valósított meg, amelyben a pumpáló lézérimpulzus frontja döntött a fázisfronthoz képest (azaz nem merőleges az impulzus haladási irányára). A Huygens-elv alapján a THz-es sugárzás erre a döntött impulzusfrontra merőlegesen terjed. A sebességillesztést a pumpáló impulzus frontjának megfelelő mértékű döntésével lehet elérni. Az elrendezés fontos előnye, hogy kiterjedt pumpáló nyaláb alkalmazását és így nagyenergiájú THz-es impulzusok előállítását teszi lehetővé. A THz-generálás optimalizálására vonatkozó modellszámításokat Almási Gábor, Bartal Balázs és Kozma Ida Zsuzsanna végzi. A THz-es impulzusok előállítása és a LiNbO<sub>3</sub> fejlesztése terén elért eredményeink alapján a japán RIKEN kutatóhálózat THz-es csoportja együttműködési ajánlattal kereset meg tanszékünket.

Kuhlevszkij Szergej nevéhez fűződik *Európában az első elektromos kisüléssel gerjesztett röntgen (Ar<sup>18</sup>) lézér* kísérleti megvalósítása. A lézérfolyamat a neon-szerű argon (Ar<sup>18</sup>) 46,9 nm hullámhosszú 3p–3s ( $J = 0-1$ ) átmenetén működik. Ez az eredmény magyar–olasz együttműködés keretében jött létre, melyet az Italian National Institute of Nuclear Physics, az Olasz–Magyar TÉT program és az OTKA támogatott. A csoport relatíve lassú és alacsony áramú kisülést alkalmazva elérte, hogy még nagyon hosszú (~ 0,5 m) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-kapillárisban is stabil és hatékony lézerműködés jöjjön létre. A lézérimpulzus energiája 300 μJ, időtartama 2 ns-nál rövidebb. Az előállított nyaláb divergenciája közel diffrakció által határolt (szub mrad) volt. A lézér nagy impulzusenergiája és ismétlési frekvenciája, valamint a sugárzás jó térbeli koherenciája és a lézernyaláb Gauss-alakú intenzitáseloszlása számos alkalmazást tesz lehetővé. Ilyen potenciális alkalmazás az anyagmegmunkálás, a mikrolitográfia, a röntgen-mikrofluoreszcencia, a plazmadiagnosztika, a röntgenholográfia vagy a biológiai minták leképezése. A csoport nemrég a lézérrel megmutatta a szubmikrométer felbontású leképezés lehetőségét. Ezekben a kísérletekben lítium-fluorid kristályban létrehozott színcentrumokat alkalmaztak detektálásra. A kísérleti adatok összevetése az elméleti számításokkal azt mutatta, hogy a nyaláb kis divergenciáját a hosszú plazmaoszlopon belüli hullámvezetési mechanizmus hozza létre. A hullámvezetés a lézér aktív közegében csökkenti a veszteségeket. Ez különösen nagy jelentőséggel bír kis erősítés esetén, amikor a sugárzásnak hosszú plazmaoszlopon kell keresztülhaladnia. A hosszú plazma-hullámvezetők előállításának önmagában is számos potenciális alkalmazása van, mint például részecskegyorsítás ultranagyintenzitású lézérimpulzusokkal vagy magasrendű felharmonikusok előállítása.

A *hullámvezetők elméleti vizsgálatával* Kuhlevszkij Szergej és Nyitray Gergely foglalkozik. Kuhlevszkij Szergej, a többmódusú hullámvezetők jelentős csoportjához

új szemléletű megközelítést dolgozott ki. Ezt nyalábkiejtés módszernek (NKM-nek) nevezzük. Ez jól ismert módszerek (virtuális források, skaláris diffrakcióelmélet) egyéni alkalmazásaként épül föl. Az NKM alapján a hullámvezetés diffrakciós problémaként is megfogalmazható. Az NKM-ben a hullámvezető falainak hatása az adott hullámvezető alakjától függő ekvivalens forrásból álló úgynevezett Fresnel-rendszerrel helyettesíthető. A Fresnel-rendszer a hullámvezető transzverzális méreténél szélesebb, a hullámvezető belső szimmetriái alapján fölépülő fényforrás. A hullámvezetőn belüli pontokban az adott térjellemzők értékét (amplitúdó, fázis) az ekvivalens forrásokból kiinduló nyalábok interferenciája határozza meg. Elképzelhető, hogy a jövőben ezen megközelítés alapján úgynevezett Fresnel-hullámvezetőket fognak készíteni, amelyek fizikai szerepüket tekintve a Fresnel-lencséhez hasonlíthatók. A nyalábkiejtés módszer szemléletes képet szolgáltat a hullámvezetés alapvető folyamataihoz és számos, ma aktuális téma (röntgen-kapillarisoptika, ultrarövid impulzusok terjedése, nemdiffraktáló nyalábok) vizsgálatához, kutatásához jól alkalmazható. A módszer használható a közeltér-optika és az anyagmegmunkálással kapcsolatos problémák megoldásában is. Nyitray Gergely e témában védte meg PhD-értekezését.

A *fluoreszcencia-spektroszkópiai kutatások* története egészen a 90-es évek elejéig nyúlik vissza, amely témáknak művelői Erostyák János és Erostyákné Buzády Andrea. Ebben az időben az intra- és intermolekuláris energia átadást vizsgálták lantanida-komplexekben. A különböző európium(III)-komplexek oldataiban és pormintáiban a gerjesztő fényt a központi Eu(III)-ionhoz kapcsolt szerves ligandok abszorbeálják. Ezután megjelenik mind a ligand, mind az Eu(III) lumineszcencia-emissziója, amely a ligandról az Eu(III) ionra történő energia-átadás következménye. Ez a molekuláris rendszer széles körben nyer alkalmazást a „fluoroimmunoassay” vizsgálatoknál. A jelenség lefolyását vizsgálták különböző kísérleti feltételek között.

Az utóbbi néhány év alap kutatásai a makromolekulákban lejátszódó oldószer-dinamikával és a dipoláris relaxációval kapcsolatosak. Humánszérum-albumin (HSA) és acrylodan emissziós hullámhossztól függő fluoreszcencia-lecsengését és rotációs anizotrópiáját vizsgálják fázisfluoriméter, időkorrelált egyfotonszámlálás és fs-os tranziensjel-spektroszkópiai módszerek alkalmazásával. A kooperáló partnerek: PTE ÁOK, Biofizikai Intézet; Department of Physical Chemistry, University of Jyväskylä; LURE CNRS-CEA, Université Paris-Sud, Orsay és MPI für Festkörperforschung, Stuttgart. A projektet OTKA-pályázat, az ULTRA ESF Femtochemistry and Femtobiology programja és Magyar–Francia TÉT pályázat is támogatta. A fluoreszcencia- és az anizotrópialecsengések élettartam-eloszlása oldószerösszetétel- és viszkozitás-függését a makromolekula (HSA) emittáló fluorofórja közelebbi és távolabbi környezetének változásaival, széles, ps–ns időtartományon lejátszódó relaxációs folyamataival magyarázták. A fehérjénél több mint két nagyságrenddel kisebb tömegű fluoreszcens jelölőmolekula, az acrylodan hasonló vizsgálata során a fs–ns időskálán széthúzó, egymással versenyző relaxációs folyamatok időbeli fejlődését mérték és magyarázták meg.

A fluoreszcencia-emisszió időbeli változásával kapcsolatban csatolt differenciálegyenlet rendszer segítségével modellezik a gerjesztett állapotok közötti újrendeződést és ennek hatását a fluoreszcenciaidő-emissziós mátrixára.

Az alkalmazott fluoreszcencia-spektroszkópiai kutatásokhoz tartozik a természetes vizek urán tartalmának kvantitatív meghatározása. A Pécshez közeli uránbányák környéken a talaj urántartalmú vegyületekkel szennyezett. Ez a szennyeződés jelen van a terület természetes vizeiben is. A víz urántartalmát az urán-ion fluoreszcenciájának detektálásával határozzák meg. A PTE TTK Általános és Fizikai Kémiai Tanszékével közösen fejlesztett módszert a Paksi Atomerőmű vizeinek vizsgálatára is eredményesen alkalmazták. Ezt a projektet NKFP-pályázat segíti.

Egy szintén régióspecifikus kutatás a mecseki karsztvizek fluoreszcenciás nyomjelzése. Kollégáink egyfoton-számláló fluorométerrel  $10^{-11}$  M detektálási koncentrá-

cióhatárt értek el. A különlegesen érzékeny kimutatási technikájuknak köszönhetően a vízfestések idejére sem kell a vizsgált területeket lezárni, a vízkivételi rendszerrel szeparálni.

Természetes vizek pigmenttartalmának vizsgálatára is alkalmas integráló gömbök fejlesztése és kísérleti tesztelése folyik az MTA SzBK Növénybiológiai Intézetével együttműködésben, alkalmazott K+F pályázat keretében. A kifejlesztett integráló gömbök az alacsony koncentrációjú minták abszorpciós és emissziós vizsgálata mellett szóró közegek korrekt színképeinek meghatározására is alkalmasak.

Pécsi Tudományegyetem, TTK Kísérleti Fizika Tanszék  
H-7624 Pécs, Ifjúság útja 6.  
Telefon: (72) 503600, fax: (72) 501571  
Honlap: <http://physics.ttk.pte.hu>

## VÉLEMÉNYEK

### MINDEN MÁSKÉPP VAN?

*Hetvenéves koromban megkért egy fiatalember, hogy mondanék egy nagy és bölcs aforizmát: mondanék egy egyetemes nyilatkozatot, melyben világnézetemet egybefoglalom. Ennek a fiatalembernek azt feleltem: Minden másképp van. Amivel nem a szkeptikusok és kételkedők közé sorozom magam, mert a szkeptikusok csak azt mondják: nem bizonyos, hogy minden úgy van, ahogy hisszük – én pedig határozottan és meggyőződéssel mondom, bizonyos, hogy semmi sincsen úgy. Ez az egyetlen tétel, amiben fanatikusan binni szabad és amitől eltántorodni bolondság: minden másképp van.*

Karinty Frigyes

Korom Gyula könyve is pontosan ezt az üzenetet közvetíti: a fizikában valójában minden másképp van.

### Relativitáselmélet

A fénysebesség szigorú állandóságát bizonyítani látszó mérések kiértékelése téves, ezért a valóságban nem a fénysebesség állandósága, hanem éppenséggel a változékonysága a kísérletileg bizonyított tény (11).<sup>1</sup>

Az írás a Szerkesztőség felkérésére készült Korom Gyula: *Einstein tévedett! Relativitáselméletek az ókortól napjainkig* (Magánkiadás, Budapest, 2003) könyvének bírálataként.

<sup>1</sup> Zárójelben az oldalszám, ahonnan az idézet származik. A szemelvényekben a fizikára vonatkozó idézetekre korlátozódtam. Nem válogattam be olyan becsmélő jelzőket tartalmazó mondatokat, amelyeket Korom Gyula időnként megenged magának az övétől eltérő nézetekre vonatkozóan, és olyanokat sem, ahol tisztán tudományos kérdésekbe vallási szempontokat kever bele (mint például a 215. oldalon).

Az *aberráció* és a fénynek a *fényforrástól függetlenül terjedő* jellegzetessége közötti logikai összhangot mind a mai napig egyedül az éterhipotézis tudta megteremteni (53). Ezt az *éter kettős természete* teszi lehetővé. Fénysebesség közeli hatásokra az éter képes szilárd testként reagálni, míg lassú mozgások előtt akadálytalanul kitér. Mint a víz (670). Ugyanakkor az éter szuperfolyékony állapotban van (350).

Az éter kettős természetének az elmélete sokkal hihetőbb és érthetőbb, mint a fény-foton és az anyag kettős természetéről szóló modern mítosz, amely utóbbiról egyébként bebizonyosodott, hogy nem tartható (132).

A nyugvó fényforrás miniatűr oszcillátorainak rezgései az éteranyaggal úgy ütköznek, hogy az erőhatások átadásának iránya merőleges a koordináta-rendszer valamennyi tengelyére nézve (74).

Az összes állítólagos, a fénysebesség állandóságát bizonyító méréseken nem a fénysebességet, hanem a frekvenciát mérték meg. Ezeket a *frekvencia állandóságát* igazoló mérési eredményeket az *einsteinisták* úgy értékelik, hogy a fénysebesség állandó (234). Ez így van a Michelson–Morley-kísérlet esetében is, amelyben a berendezés megfigyelője és forrása az éterhez képest azonos sebességgel halad (98). Hiába változik a kísérleti berendezés éterhez viszonyított sebességének nagysága és az éterszéllel bezárt szög, a megfigyelő által észlelt frekvencia nem változik (99), ez a null-effektus oka.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> A Michelson–Morley-kísérletben az éterszélnek az interferenciakép eltolódásában kellett volna jelentkeznie változatlan frekvencia mellett. A kísérlet negatív eredményét ezért képtelenség a frekvencia állandóságára fogni.

A relativitás elve értelmében teljesen mindegy, hogy ki mozog és ki áll, a két test között sebességkülönbség van, ezért a megfigyelőhöz képest minden körülmények között nagyobb a sebessége a fényforrásnak, így a megfigyelő minden körülmények között alacsonyabb frekvenciát észlel. Az einsteinista ezzel a tapasztalati adattal meg van fogva, mert a tényleges mérések során a megfigyelő magasabb frekvenciát (kékeltolódást) észlel, ha közeledik a fényforráshoz (232).

Hogyan magyarázható, hogy az éter tagadásán alapuló relativitáselmélet képletei működnek? Elárulom, hogyan lehetséges ez. A relativisztikus jelenségek döntő többségét erőterek egymásba történő elmozdulása során fellépő nyíró (a közegellenálláshoz hasonló) jellegű erőhatások okozzák (speciális elmélet), ezért nincs semmi közük az éterhez. A relativisztikus jelenségek másik részét az erőterközpontok által a körülöttük lévő elektromágneses és gravitációs szempontból semleges jellegű éteranyagra (a mezőre) gyakorolt geometriai („gyeplő”, vagy szerkezeti) jellegű formáló hatás magyarázza (általános elmélet), ezért nem száműzhetette *Einstein* a gravitációból az éterközeget (333–334).

Az Általános Relativitáselmélet egyébként nem a gravitáció elmélete, hanem valamennyi olyan erőter (pl. a pontszerű töltés körüli elektromos erőter) elmélete, amely gömbszerűen épül fel és benne gyorsuló mozgások jönnek létre, gyorsító hatások befolyása miatt (667).

A *tér-időnek* és geometriájának semmi köze a térhez és az időhöz (669).

## Az új paradigma

Az Általános Relativitáselméletet a szerző Dinamikus Erőter-kölcsönhatások Relativitáselméletével kell helyettesíteni, amely szerint azok a jelenségek, amelyek az Általános Relativitáselméletnek tulajdonított relativisztikus módosulásokat mutatnak, a gravitációs erőterek *dinamikus kölcsönhatásaitól* származtathatók (678).

Az új paradigma lényege: éter van, amely a fény és az erőhatások – más szóval, az elektromágnesség és a gravitáció – közös közvetítő közege. Az éter és az atomos testek között semmiféle kölcsönhatás nincs, a relativisztikus jelenségeket az erőterek egymásban történő elmozdulása során ébredő nyíró jellegű erőhatások okozzák (355).

Mostantól kezdve egy darabig *Lorentz* és *Poincaré* (Einstein által módosított) gondolatmenetét követem, de a transzformációnak Lorentztől és Einsteintől eltérő dinamikai értelmezést adom. A levezetés azonban kizárólag az étermező azon területén alkalmazható, ahol az egymásra ható erőterek térereje kiegyenlített, tehát ahol a *dinamikus erőter-kölcsönhatás* (nyíró erők) következményei a maximálisak (371).<sup>3</sup>

Ma még csak a logikai egyszerűség (Occam borotvája) áll a szerző által javasolt felfogás mellett. Ellene viszont

<sup>3</sup> Mint az előre sejtethető, az új paradigma alapján is a Lorentz-transzformáció (381), a Lorentz-kontrakció és az idődilatáció (387), valamint a relativisztikus sebesség-összeadás képlete (433) jön ki eredményül.

nem szól semmi. Annál inkább szól minden a manapság oly divatos *nemérteksemmitdemindentudokszámolni* felfogás ellen (688).

Összegezve meg kell állapítanunk, hogy az Általános Relativitáselmélet, tehát a gömbszerű erőterek matematikája terén a *Nyíró Jellegű Erőter-kölcsönhatások Elmélete* és az einsteinizmus között kísérletileg nem lehet különbséget tenni. Mindkét elmélet ugyanazokat a számszerű eredményeket javasolja valamennyi mérési eredmény tekintetében. Különbség csak az egyszerűségben, az átláthatóságban, a fogalmak tisztaságában van. Mondanom sem kell, hogy a *Nyíró Erőter-kölcsönhatások Relativitáselmélete* javára (694).

## Kozmológia (208–209)

A távoli csillagokról érkező fényrezgések frekvenciájának – a távolsággal egyenes arányban növekvő – eltolódása a vörös felé nem a távolodás miatt fellépő Doppler-jelenség következménye, hanem a fényrezgések a távolság növekedésével arányosan fokozatosan csillapulnak<sup>4</sup> („elfáradnak”), ami a *vöröseltolódásban* mutatkozik meg.

A csillagászati vöröseltolódás nem az égi objektumok távolodási sebességével, hanem azok tömegével arányos. Ha a vöröseltolódás a kvazárok távolodásának a következménye lenne, akkor a csillagászati aberrációnak a kvazárok esetében kétszer akkorának kellene lennie, mint a csillagoknál észlelt érték.<sup>5</sup>

Ezáltal az ősrobbanás minden tudományos alapot nélkülöző materialista mítosza megdől.

## Atomfizika

Einstein fotonhipotézise bizonyítatlan és bizonyíthatatlan abszurdítás (109).

Az atomok nem néhány elemi részecske összeépüléséből állnak, hanem rendkívül sok, igen finom mikrorészecske nagyon bonyolult építményei (121). Az atommag körül nem keringenek elektronok (683), és a magnak nincs pozitív töltése (588).

A vonalas színképek két vagy több (leginkább sok) éteron ütközésekor felvett energiából állnak (608). Az éteronok az éteranyag apró részecskéi, amelyek sokkal kisebbek az elektronnál (81). Az atom rezgések formájában energiát ad ki magából és teljesen mindegy, hogy ez az energia milyen frekvenciával lép ki az atomból, az egyetlen rezgési ciklusra jutó energia ugyanaz marad<sup>6</sup> (547).

A részecskék a kristályrácsan áthaladva nem azért hoznak létre interferenciaszerű képet, mert a rés mögött hullámszerűen kezdenek terjedni. Az ok az, hogy az elektron vagy a neutron erőtere *dinamikai kölcsönhatás-*

<sup>4</sup> A fizikában a csillapodás mindig az amplitúdó, nem pedig a frekvencia csökkenésében jelentkezik.

<sup>5</sup> Az aberráció a Föld keringésének a következménye, ezért nem függ a csillagok sebességétől vagy Földtől mért távolságától.

<sup>6</sup> Ez nyilván nincs így, mert  $bv/T = bv^2 \neq b$ .



ba kerül a rácsatomok körüli erőterrel és magával a mezőrács anyagával (623).

Az annihilációnál energiamérleg-hiány van! Kevesebb energia szabadul fel, mint amennyinek az  $E = mc^2$  összefüggés alapján fel kellene szabadulnia akkor, ha a tömeg valóban energiává alakul át. Ezzel kísérleti bizonyítást nyert, hogy az annihiláció során az energia felszabadulása nem az  $E = mc^2$ , hanem csak az  $E = hv$  összefüggés szerint megy végbe<sup>7</sup> (560).



A könyvből, de talán már a fenti szemelvényekből is kiderül, hogy *Korom Gyula* a fizikában mindenhez ért, amivel csak összetalálkozik, és a legnehezebb kérdésekben is aggálytalan kompetenciával nyilatkozik. A válaszai nyomasztóan egyhangúak: a fizikusok tévednek, szükségtelenül elkomplikálják a dolgokat, azonban ő ismeri az igazságot, amely egyszerű, mindenki számára kézzel fogható – és főleg *más*.

Korom Gyula nem sokat bajlódik azzal, hogy az állításait igazolja is, legalább megközelítően azon a színvonalon, ahogy ez a természettudományokban általánosan elfogadott. Magyarázatai verbálisak és metaforikusak, a precizitásnak még a nyoma sem lelhető fel bennük. Ez egyenes következménye annak a meggyőződésnek, amely a modern fizika ellen indított keresztshadjárátának vezérmotívuma: a szemléletesség minden, a matematika semmi.

A tartalmi kérdésekre áttérve négy olyan problémát látok, amelyek Korom Gyula könyvében állandóan vissza-visszatérnek, és önmagukban is érdekesek: a tömeg és az anyag viszonyát, a részecskék interferenciáját, a Michelson–Morley-kísérlet szerepét, valamint a szemléletesség igényének megalapozottságát vagy megalapozatlanságát.

## 1) a tömeg és az anyag viszonya

Korom Gyula a „tömeg” és az „anyag” terminusokat szinonimnak tekinti, pedig különböző jelentésük van. Ennek a félreértésnek köszönhetően ragaszkodik körömszakadtáig ahhoz, hogy a fény az anyagi természetű éter rezgése, nem pedig foton, amelyet szerinte a fizikusok színtiszta anyagtalan energiának tartanak.<sup>8</sup>

A tömeg jól meghatározott jelentéssel bíró *terminus technicus*. Azt a paramétert jelöli, amely a Newton-egyenletekben a gyorsulást szorozza, és a számértékét ezekből az egyenletekből kiindulva (vagy súlyméréssel)

<sup>7</sup> A „kísérleti bizonyítás” úgy történik, hogy a szerző kiszámítja a  $v = E/b$  frekvenciát és az eredményt elosztja a fénysebesség négyzetével. Az így módon kapott  $s/cm^2$  dimenziójú szám 1-nél kisebbnek adódik (százalékos formában 27%). Ebből vonja le a vastagbetűs következtetést, hogy „kevesebb energia szabadul fel, mint amennyinek az  $E = mc^2$  összefüggés alapján fel kellene szabadulnia”.

<sup>8</sup> A foton lényegesen különbözik a hullámcsomagtól, noha mindkettőre egyformán igaz, hogy energiájuk az impulzus  $c$ -szerezésével egyenlő. A hullámcsomagot azonban féligáteresztő tüskörrel ketté lehet osztani és mindkét részt lehet egyidejűleg észlelni. A foton ezzel szemben oszthatatlan, a fénynyaláb szétválasztása után mindig egészben regisztrálható az egyik vagy a másik résznyaláiban. A fotonkorrelációs kísérletek, amelyeket Korom Gyula figyelmen kívül hagy, ezt meggyőzően igazolják.

lehet meghatározni. Azonban a Newton-egyenletek nem vonatkoznak minden fizikai objektumra: az elektromágneses mezőt például nem ezek, hanem a Maxwell-egyenletek írják le, amelyekben nincs se gyorsulás, se tömeg. Ezek a tömeg nélküli objektumok azonban éppúgy *léteznek*, mint a tömegesek, ezért az „anyag” terminus – amely inkább filozófiai, mint fizikai fogalom, mert nem létezik mérési eljárás, amellyel számszerűsíthető – rájuk is vonatkozik.

Az  $E = mc^2$  képletben a *tömeg* szerepel, ezért a képlet csak tömeggel bíró objektumokra érvényes. Az annihiláció során például a meghatározott  $m$  tömeggel rendelkező pozitronium alakul át két fotonná, amelyek összenergiája  $mc^2$ -tel egyenlő. Nem történik anyag átalakulása energiává, ami ellen Korom Gyula olyan vehemensen – és teljesen szükségtelenül – tiltakozik: az anyag véges tömeggel jellemezhető formája alakul át tömeggel nem rendelkező formájává, miközben az energia számértéke változatlan marad.

## 2) a részecskék interferenciája

A szemelvényekben idéztem Korom Gyula véleményét a neutronok interferenciájáról. A könyvben ennél bővebben van szó róla. Említést tesz a nevezetes kétréskísérletről, de azzal a megjegyzéssel, hogy az általa javasolt modell szerint a kristályrácsban a neutron nem résekkel találkozik (622), és az interferenciakép a végig részecskeként viselkedő neutron és a bonyolult felépítésű kristályrács kölcsönhatásának a következménye.

Korom Gyula nyilván nem tud róla, hogy a neutronok interferenciáját a kétréskísérlettel teljesen analóg körülmények között is ki lehet mutatni.<sup>9</sup> Az ilyen típusú, „vegytiszta” interferenciakísérletek lehetővé teszik az egyes résznyalábok egymástól független letakarását. Amikor az egyik résznyalábot letakarjuk, azt tapasztaljuk, hogy a *letakarás következtében* a neutronok olyan irányokban is *megjelennek*, amelyekben sohasem lépnek ki, amikor mindkét rés nyitva van. Ez a tapasztalat nem egyeztethető össze azzal, hogy amikor mindkét rés nyitva van, a neutron határozottan az egyik vagy a másik résen haladjon át, ami pedig elkerülhetlen lenne, ha végig részecskeként viselkedne. Hullámok interferenciájaként azonban könnyen megérthető.

Ebben áll a hullám–részecske dualizmus: a neutron *mozgását* hullámegyenlettel *kell* leírunk annak ellenére, hogy mindig egész részecskeként *észleljük* őket.

## 3) a Michelson–Morley-kísérlet szerepe

A Michelson–Morley-kísérlet sem a relativitáselmélet genezisében, sem későbbi fejlődéstörténetében nem játszott olyan mindent meghatározó kulcsszerepet, mint ahogy az Korom Gyula könyvéből látszik – és ahogy egyébként

<sup>9</sup> Erről részletesebben lásd a *Kvantummechanikai alapkísérletek neutronokkal* című előadásomat a *Könyvtár foglya* című könyvemben (Typotex, 2001).

általában gondolják. A tévhit alapja az, hogy a relativitáselméletéről szóló tankönyvek – elég félrevezető módon – többnyire a Michelson–Morley-kísérlet ismertetésével kezdődnek annak ellenére, hogy Einstein alapvető cikkében erről a kísérletről egyáltalán nem esik szó.

Polányi Mihály 1953-ban levélben megkérdezte Einsteinot, hogy mi volt a Michelson–Morley-kísérlet szerepe a relativitáselmélet létrejöttében. Einstein válasza akkori asszisztense, nemrég elhunyt kollégánk, Balázs Nándor közvetítésével jutott el Polányihoz:<sup>10</sup>

„Ma beszéltem Eisteinnel azokról az alapeszmékről, amelyek a speciális relativitáselméletbe elvezették. Az eredmény nagyjából a következő: lényegében két problémán való elmélkedésnek volt alapvető jelentősége. 1) Az egyik, amelyre utal önéletrajzi vázlatában, annak a megfigyelőnek a benyomásaival kapcsolatos, aki fénysebességgel mozog és egy fénybullámot néz; 2) a másik a szimmetria hiánya volt az áramelemek és a mágnesek között (a mozgó közegek elektrodinamikájában a relativitáselmélet előtt nagy különbséget jelentett, hogy valaki egy árammal átjárt vezetőt mozgat egy mágneshez viszonyítva, vagy pedig egy mágneset a vezetőhöz képest). 1) azt sugallta neki, hogy a fénysebességnek kitüntetett szerepet kell játszania; 2) azért tűnt különösnek, mivel úgy érezte, hogy ha más esetekben a jelenségeket mindig a relatív sebesség határozza meg, miért lenne a vezető és a mágnes esete kivétel?

A Michelson–Morley-kísérletnek nem volt szerepe az elmélet megalapozásában. Akkor ismerkedett meg vele, amikor Lorentz cikkét olvasta ennek a kísérletnek az elméletéről (természetesen nem emlékszik pontosan rá, hogy mikor, de még a saját cikkének megírása előtt), de ez nem hatott Einstein megfontolásaira, és a relativitáselméletet egyáltalán nem azért hozta létre, hogy megmagyarázza a kísérlet eredményét.”

A relativitáselmélet igazsága sohasem múlt egyetlen laboratóriumi kísérlet kimenetelén. A megjelenésekor azért fogadták el, mert összhangba tudta hozni az inerciarendszerek ekvivalenciáját Maxwell elektrodinamikájával, amelyeket külön-külön jelentős tapasztalati anyag támasztott alá. Azóta az is kiderült, hogy az elmélet teljesítőképesége egészen rendkívüli. Az elemi részecskék fizikájától kezdve a kvantumelektrodinamikán, az atomenergetikán, a szupergyorsítókon keresztül a modern gravitációelméletig – ezek a nagy és eredményes tudományterületek mind „ugyanazon operációs rendszer alatt” működnek, amelynek a neve: speciális relativitáselmélet.

Tisztelettel kell közelednünk hozzá.

#### 4) a szemléletesség követelménye

A fizikus természetkutatók mindig szemléletes magyarázatok alapján próbálják megérteni a fizikai jelenségeket, de ha ez sehogy sem sikerül, a megértést a szemléleteség elé helyezik.

Az első ilyen kompromisszumra maga Newton kényszerült rá. Egy olyan korban, amikor a józan ész nevében a testeknek csak közvetlen érintkezés útján történő egymásrahatását voltak hajlandók elfogadni, a Naprendszer egy olyan elmélet alapján sikerült megérteni, amely homlokegyenest ellentmondott ennek a felfogásnak. Hogy ezt milyen súlyosnak tartotta, kiviláglik a következő, sokat idézett mondatából:

„Hogy a gravitáció az anyag vele született, inherens és lényegi tulajdonsága, melynek révén egy test egy másikra vákuumon keresztül távolhatást gyakorolhatna bármi másnak a közbejötté nélkül, ami az erőhatást az egyiktől a másikhoz közvetítené, mindez számomra oly nagy képtelenségnek tűnik, hogy úgy hiszem, nincs ember, aki elfogadja, ha megfelelően jártas a filozófiai gondolkodásban.”

Természetesen mondbatta volna, hogy a Naprendszer teljesen kitölti egy érzékelhetetlen közeg. De ha ez a közeg érzékelhetetlen, akkor hogyan lenne képes érintkezés útján olyan hatást gyakorolni az égitestekre, amely azok mozgását meghatározza? Ilyen hipotézisek gyártására, amelyek csupán a szemléletes magyarázat illúzióját keltik, nem volt hajlandó.

A későbbi kompromisszumokat – a fénysebesség állandóságát vagy a neutronok kettős természetét – kényesebbnek érezzük, de nem vagyok benne biztos, hogy jogosan. Mindenesetre mindig voltak és most is vannak olyanok – közéjük tartozik Korom Gyula is –, akik az ilyen kompromisszumokat elfogadhatatlannak tartják, ezért meg kell vizsgálni, megalapozható-e a szemléleteség iránti feltétlen igény.

Azt hiszem, nincs olyan respektábilis világszemlélet, amelyből ez következne egy olyan tudományágra vonatkozóan, amelybe a kvarkok és a galaxisok egyaránt beletartoznak. Számomra, aki „az evolúcióban hiszek”, ez azért természetes, mert a szemléletünket a túlélés igénye alakította, és ebben nem volt szerepe se kvarkoknak, se galaxisoknak. Ezért egyáltalán nem meglepő, hogy ezek olyan tulajdonságokkal rendelkeznek, amelyek esetenként a szemléletünk korlátain kívül esnek. Szerencse, hogy az evolúció a maga értelmetlen vakságában olyan tulajdonságokat is létrehoz, amelyeknek nincs túlélési értéke. Az absztrakt gondolkodás képessége, amely talán csak ilyen evolúciós melléktermék, a kezünkbe adja a matematikát és ezzel lehetővé teszi, hogy olyasmit is megérthessünk, amit nem tudunk elképzelni.

De a szemléletesség kérdésében azok sem lehetnek nagyon más véleményen, akik úgy hiszik, hogy Isten teremtményei vagyunk. Az Alkotó ugyan a maga hasonlatosságára teremtett minket, de azt semmiféle teológia sem állítja, hogy ennek a hasonlóságnak a mindentudásra is ki kell terjednie – arra, hogy a mikrokozmoszt és a makrokozmoszt egyforma természetességgel legyünk képesek a tekintetünkkel átfogni. Az absztrakt gondolkodás képességével olyan *talentumot* kaptunk, amellyel aligha sáfárkodnánk jól, ha nem gyarapítanánk az érzékszerveink számára közvetlenül hozzáférhetetlen Kozmosz megértésére irányuló törekvésünkkel.

<sup>10</sup> POLÁNYI MIHÁLY: *Személyes tudás I* (Atlantisz 1994), 31. oldal. Az angolból fordított szövegen stiláris javításokat végeztem.

# A MAGYAR FIZIKUSHALLGATÓK EGYESÜLETÉNEK KÖZHASZNÚSÁGI JELENTÉSE, 2003

### Általános adatok

Az Egyesület taglétszáma: 150 fő  
Választott tisztségviselők: 15 fő

### Az Egyesület közhasznú céljai

A tudományos tevékenység, kutatás, nevelés és oktatás, képességfejlesztés, ismeretterjesztés, euro-atlanti integráció elősegítése.

### Területi szerkezet

Az Egyesület a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen, az Eötvös Loránd Tudományegyetemen, a Debreceni Egyetemen, a Szegedi Tudományegyetemen rendelkezik képvisellel (Helyi Bizottsággal). Az Egyesület központja 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.

### Támogatások, bevételek

A 2002-es évi személyi jövedelemadó 1%-ából:	228.907 Ft
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem:	200.000 Ft
Pázmány–Eötvös Alapítvány:	57.000 Ft
Részvételi díj (gólyatábor):	409.500 Ft
Részvételi díj (CERN)	648.000 Ft
Részvételi díj (NYIFFF)	254.400 Ft
Részvételi díj (TDK hétvége)	79.100 Ft
Banki kamat:	100.133 Ft
Magánszemélyek felajánlása:	10.000 Ft
<b>Összesen:</b>	<b>2.060.140 Ft</b>

### Kiadások

Bankköltség:	46.280 Ft
Gólyatábor költségei (szállás, utazási költség):	218.000 Ft
Mafigyelő:	120.960 Ft
IAPS-tagdíj:	68.684 Ft
ELFT-tagdíj:	18.000 Ft
Szállásköltség (CERN):	86.504 Ft
Buszbérlés (CERN):	500.000 Ft
Szállásköltség (egyéb):	214.100 Ft
Utazási költségek (egyéb):	141.890 Ft
Irodai költségek, nyomtatványok:	72.607 Ft
Számítógépes tartozékok:	44.965 Ft
Telefonköltség:	87.187 Ft
Étel, ital, egyéb:	293.029 Ft
<b>Összesen:</b>	<b>1.912.206 Ft</b>

### A 2003. évi tevékenység rövid összefoglalója

**1. Nyíltbelyi Fifikus Fizikus Feladatmegoldó verseny (NYIFFF)** – 2003-ban 11. alkalommal rendeztük meg a programot május 1–4-ig Szigligeten. A versenyzőknek kreativitást és egyéni kezdeményező-készséget igénylő feladatokat kell megoldaniuk szabadtéren. 6 csapat volt, 26 versenyző és 12 vendég vett részt a programon.

**2. CERN-kirándulás** – A programot márciusban rendeztük meg, 57-en vettek részt rajta. A program során meglátogattuk a Genf melletti kutatóintézetet. A program négy napos volt, ebből kettőt utazással töltöttünk.

**3. Fizikaverseny** – A Fizikaversenyt Szegeden rendeztük. A versenyen gondolkodtató, ötletet igénylő, néha tréfás feladatokat kell megoldani, ami próbára teszi a résztvevők kreativitását is, fizikai ismereteik mellett. Részt vevő csapatok száma: 6.

**4. TDK-hétvége** – November 15–16-ig tartott a program. Tanárok tartottak előadásokat a kutatási területükről és tudományos diákköri témajavaslatokról. Ez a program nagyban ösztönzi a hallgatókat, hogy részt vállaljanak a tudományos életben.

**5. Nemzetközi Ortvay Feladatmegoldó-verseny** – 2003. október 31. – november 10. Nemzetközi, levelező, egyéni, fizika feladatmegoldó-verseny. Számos országból érkeztek megoldások a kitűzött feladatokra. A részvétel ingyenes, a verseny rendezésében, lebonyolításában az Egyesület segédkezett.

**6. Szkeptikus Konferencia** – A konferenciát Székesfehérváron tartották. A Mafihe infrastrukturális segítséget nyújtott. Ez a konferencia a köztudatban elterjedt téves eszmék ellen harcol, és igyekszik egyfajta kételkedést kialakítani az emberek fejében a médiában manapság burjánzó áltudományos hírekkel szemben.

**7. Közösségi programok** – ELTE Gólyatábor fizikus és bölcsész elsőéveseknek 2003. augusztus 24–31., résztvevők száma: kb. 200 fő. Gólyaavatási programok az ELTE-n, SZTE-n, DE-n, résztvevők száma: kb. 150 fő. Egyéb közösségi programok (DHB teaház, szakest).

**8. Mafigyelő – egyesületi folyóirat szerkesztése, terjesztése** – Havilapunk a szorgalmi időszakban 3-szor, tehát évente 6-szor jelenik meg. A 6 számból az egyik a NYIFFF-ről szól. Újságunkat 400 példányban nyomjuk, és az egyesület összes tagja számára ingyenesen hozzáférhető. Ezenkívül a gólyák számára különszámot, úgynevezett Gólyamafigyelőt készítettünk.

**9. Nemzetközi nyári cseregyakorlat szervezése** – A program során lehetőséget biztosítunk néhány hallgatónak, hogy külföldi kutatóintézetben vagy egyetemen vegyen részt gyakorlaton. Cserébe Magyarországon keresünk hasonló kutatómunkát külföldiek számára. A Mafihe feladata a kutatóhelyek megszerzése, a jelentkezők elbírálása és a szerződés-kötés.

# A FIZIKA ORSZÁGOS KÖZÉPISKOLAI TANULMÁNYI VERSENY HARMADIK FORDULÓJA A HARMADIK KATEGÓRIA RÉSZÉRE, 2002–2003

Vannay László, Fülöp Ferenc, Máthé József, Nagy Tamás, Vankó Péter  
BME TTK, Fizikai Intézet, Kísérleti Fizika Tanszék

A Fizika Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny – a korábbi évekhez hasonlóan – ebben a két évben is három kategóriában került megrendezésre. Külön-külön csoportban versenyeztek a szakiskolák tanulói, az általános-, valamint az emelt szintű fizikaoktatásban részesülő diákok. Mind a három csoport részére három fordulóból álltak a versenyek. Az első két forduló során elméleti problémákat kellett megoldaniuk a versenyzőknek, míg a harmadik fordulóban mérési feladatokkal kellett megbirkózniuk. A harmadik fordulóban az első két forduló legjobbjai mérték össze tudásukat és ügyességüket.

A BME Fizikai Intézet az emelt szintű fizikaoktatásban részesülő diákok (harmadik kategória) versenyének harmadik fordulóját rendezte. A versenyeknek ebben a fordulójában húsz-húsz fiatal vett részt. Közleményünkben ezekről a 2002-ben és 2003-ban lezajlott versenyekről számolunk be. Intézetünk 1994 óta vesz részt a versenyek lebonyolításában. A korábbi versenyekről évente rendszeresen beszámoltunk a *Fizika Módszertani Lapok*ban.

Dolgozatunkban bemutatjuk a versenyfordulók kezdetkor kiadott írásos anyagokat úgy, ahogy a versenyzők megkapták. Ezen anyagok segítségével akartuk megismertetni a versenyzőket a megoldandó feladatokkal és a feladatok megoldásához rendelkezésükre álló eszközökkel. A kiadott írásos anyagok bemutatása után vázoljuk a kitűzött feladatok megoldásának módját, majd beszámolunk a verseny közben és az értékelés során szerzett tapasztalatokról, a versenyzők eredményeiről, végül köszönetet mondunk mindazoknak, akik közreműködtek a versenyek előkészítésében vagy lebonyolításában.

## A versenyzők részére 2002-ben kiadott írásos anyag

Feladat a Fizika OKTV harmadik fordulójára, a harmadik kategória részére

### Dominósor eldőlésének vizsgálata

A magyar televízió az utóbbi időben kétszer is sugárzott műsort dominósorok feldőléséről. 1999 novemberében a hollandiai Zuidlarenben 3,112 millió dominót döntöttek fel egy Guinness-rekordkísérlet során. 2000 novemberében egy újabb rekord felállításakor 3,750 millió dominó látványos feldőlésében gyönyörködhetek a nézők.

Ha egy nagyobb számú dominóból álló összeállítás feldőlését szeretnénk megtervezni, és a feldőlés során események időbeli egybeesését is tervezzük, ismernünk kell a dominók feldőlésének törvényszerűségeit.

### A feladat

A verseny során azt kell megvizsgálnia a rendelkezésére álló eszközök segítségével, hogy hogyan viselkedik egy egymástól azonos távolságban felállított dominókból álló sor, eldőlés közben. Milyen tényezők, és milyen mértékben befolyásolják a sor dőlésének folyamatát?

Legalább elerendő cél, hogy vizsgálati eredményeként egy képzeletbeli dominó döntési terv elkészítéséhez arra tudjon válaszolni, hogy a rendelkezésére álló dominókból, különböző, tetszőlegesen megválasztott dominótávolság (például: mindegyik dominó 15 mm, vagy valami más távolságra van egymástól) esetén mennyi idő alatt dől el egy egyenes sor adott szakasza (például egy hosszabb dominósor 2. és 3. méter közötti szakasza).

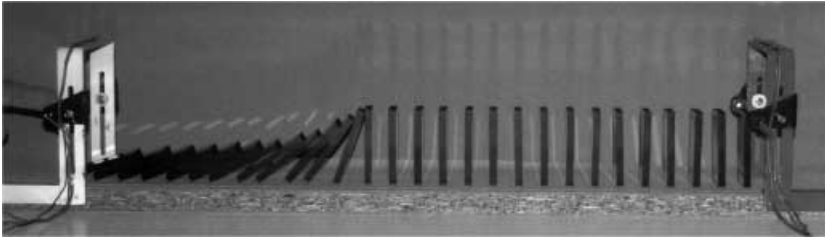
Gondolja végig, hogy milyen méréseket kell elvégeznie, végezze el a szükséges méréseket, mérési adatait dolgozza fel, és értékelje kapott eredményeit.

### A rendelkezésére álló anyagok és eszközök

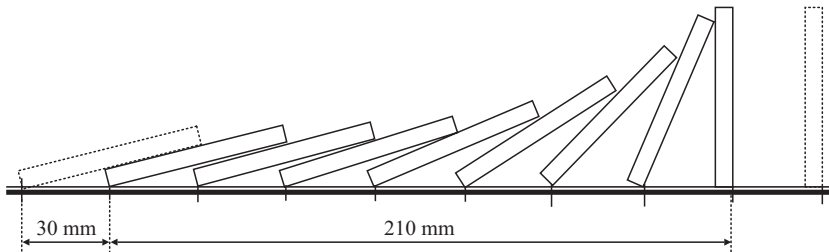
- 35 db dominó
- 1 db pozdorjalemez milliméterpapír borítással
- 2 db fénykapu, időmérő elektronikával (alkalmazásukat lásd később)
- 1 db tápegység az időmérő elektronikához
- 2 db derékszögű vonalzó
- 1 db mérőszalag milliméterpapír

### A fénykapuk használata

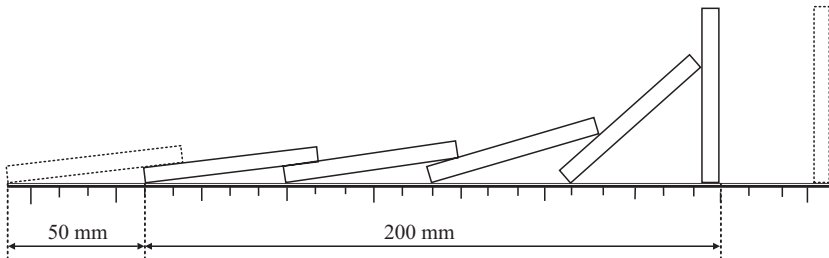
A két darab fénykapu közül az egyik az indító (fehér színű), a másik a leállító (piros színű). Ha az indító kapu fényútját valami megszakítja, az elektronika elkezd az időt mérni, és mindaddig mér, míg a másik kapu fényútja meg nem szakad. A kapukon a fényforrás és az érzékelő magassága állítható, figyeljen arra, hogy a két elem azonos magasságban legyen. Indítás előtt az elektronikát az előlapján található gombbal *nullázni kell*. A mért idő számok formájában, *ezred másodpercekben* leolvasható az elektronika kijelzőjéről. Az elektronika működéséhez 4,5 V-os feszültség szükséges, ezt a tápegység biztosítja.



1. ábra. Dőlő dominósor.



2.a ábra. Az egymástól 30 mm-re elhelyezkedő dominók eldőlése.



2.b ábra. Az egymástól 50 mm-re elhelyezkedő dominók eldőlése.

A kiadott „További tudnivalók” tájékoztatott a verseny időtartamáról, a használható segédeszközökről, javaslatot tartalmazott az elkészítendő jegyzőkönyv tartalmára, megadta az eszközök esetleges meghibásodása esetén szükséges teendőket, és felhívta a figyelmet a gondos mérés fontosságára. Egy dőlő dominósorról készült felvett mutat az 1. ábra.

### A 2002. évi feladat megoldása

A feladat megoldása két részre bontható: meg kell állapítani, hogy a dominósor elején, a dőlés kezdeténél hogyan alakul a dőlési sebesség, majd ezután következnek az állandósult dőlési sebességre vonatkozó vizsgálatok.

A feladat megfogalmazásakor úgy gondoltuk, hogy nem hívjuk fel a versenyzők figyelmét az eldőelő sor elején lejátszódó folyamatokra. Ha ezt megtesszük, a versenyt az nyerte volna meg, aki a leggyorsabban tudta volna a dominósorokat felállítani, hiszen gondolkodás nélkül, csak a sorok felállítását és az eldőléshez szükséges idő mérését kellett volna elvégezni.

Belátható, hogy az eldőelő sor eleje másként viselkedik, mint egy távolabbi szakasz. A sor elején várhatóan változik az eldőlési sebesség, s egy tranzienst viselkedés játszódik le, míg a távolabbi szakaszokon a dőlési sebesség már állandósul.

A sor eldőlésekor a második dominónak egy dől neki, a harmadiknak már kettő, és így tovább. A dőlési sebesség várhatóan addig változik, míg az eldőelő dominókból kialakul egy olyan szakasz, amelynek utolsó tagja (ha balról

jobbra döntjük a sort, a bal szélső elem) már fekszik a következőn, míg az első (a szakasz jobb szélén lévő elem) még éppen áll. Ettől kezdve a dőlési sebesség állandó, és a részben eldőelő dominókból álló szakasz ezzel a sebességgel mozog előre.

Itt megjegyezzük, hogy a „dőlési sebesség”-et úgy határozzuk meg, hogy két megfelelő dominó távolságát osztjuk a síkok azonos helyzetéhez tartozó időpontok különbségével. Tehát nem vizsgáljuk egy-egy dominó sebességének változását a dőlés kezdetétől a nyugalmi helyzet kialakulásáig. Azt, hogy az állandósult sebesség a sor elején mekkora szakaszon alakul ki, szerkesztéssel és méréssel is megvizsgáltuk.

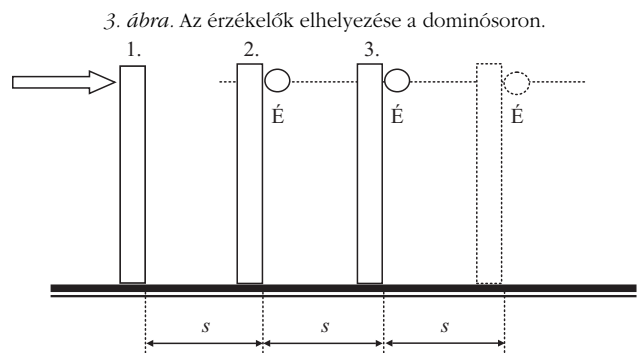
A tranzienst jelenség lezajlásával kapcsolatban elmondottaknak megfelelő szerkesztésre mutat példát a 2. ábra, ahol az adott méretű (60×30×6 mm-es) dominók megfelelő síkjai 30, illetve 50 mm-re helyezkednek el egymástól.

A szerkesztésből (a már teljesen eldőelő és a még függőlegesen álló dominó távolságából) az látszik, hogy az adott méretű dominókkal, a különböző dominótávolságok esetén elvégzett szerkesztések hasonló eredményt adnak. Ilyen méretű elemek alkalmazásakor az állandósult sebesség kialakulása 20–21 cm-es szakasz után várható.

A sorok elején lejátszódó tranzienst folyamatot méréssel úgy vizsgáltuk, hogy a fénykapu indító érzékelőjét a második dominónak a dőlés irányába eső második határoló síkjával, a leállító érzékelőt a harmadik, a negyedik stb. dominó második határoló síkjával helyeztük egy vonalba. Az érzékelőket azonos magasságra – a dominók tetejéhez – állítottuk, hogy a vizsgált síkok azonos helyzete indítsa, illetve állítsa le az időmérést. Az érzékelők elhelyezését a 3. ábra mutatja. Az előbb elmondottak szerint a dőlési sebességet a két vizsgált sík egymástól való  $s$  távolságának és az érzékelők által mért időtartamnak a hányadosa adja, azaz:

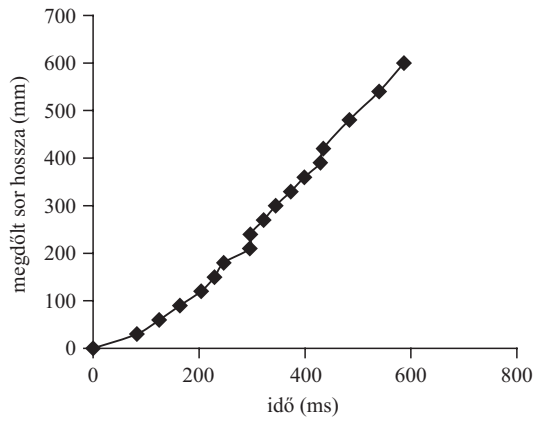
$$v = n \frac{s}{t},$$

ahol  $n$  a figyelembe vett dominók száma.

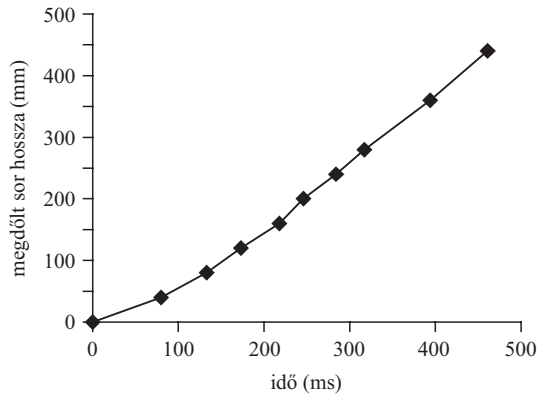


3. ábra. Az érzékelők elhelyezése a dominósoron.





4.a ábra. Dőlő dominósor út-idő grafikonja ( $s = 30$  mm).

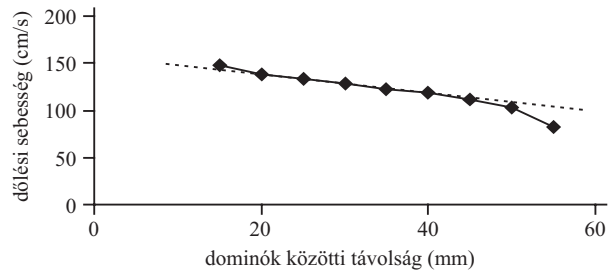


4.b ábra. Dőlő dominósor út-idő függvénye ( $s = 40$  mm).

A sor dőlését az első dominó óvatos döntésével indítottuk úgy, hogy igyekeztünk azt az egyensúlyi helyzetén kissé túlvinni és ott elengedni, magára hagyni.  $60 \times 30 \times 6$  mm-es dominókkal végzett mérés eredményeit tünteti fel a 4.a ábra, amikor  $s = 30$  mm volt. A 4.b ábra az  $s = 40$  mm mellett végzett mérés eredményeit jeleníti meg.

A kapott grafikonok alapján a következőket állapíthatjuk meg:

- a dőlési sebesség egy adott ideig növekszik, majd állandósul,
- az állandósult sebesség 10–15 cm-es út megtétele után alakul ki. (A szerkesztés segítségével végzett vizsgálá-



5. ábra. A dominósor állandósult dőlési sebessége a dominók közötti távolság függvényében.

lat alapján ez az út hosszabb. Ennek az lehet az oka, hogy az éppen csak megdől dominók már nem befolyásolják lényegesen a dőlési sebességet.)

A grafikonok segítségével az állandósult sebességek is meghatározhatók a lineáris szakasz meredekségéből. Az  $s = 30$  mm esetén a grafikon lineáris szakaszára illesztett egyenes meredeksége, a dominósor állandósult dőlési sebessége: 126,2 cm/s-nak, míg  $s = 40$  mm-nél 116,3 cm/s-nak adódott. Ha a dominósor egyes elemei közötti távolságot 9 mm-től kezdődően (amikor a vizsgált síkok közötti távolság:  $s = 9 + 6 = 15$  mm) 5 milliméterenként szeretnénk növelni 49 mm-ig (ekkor  $s = 55$  mm), és az előbbi módon felvett grafikonokat akarjuk felhasználni az állandósult sebesség meghatározásához, igen sok mérést kellene elvégezni. Erre a négy órás idő nem elegendő. Ezért célszerű úgy eljárni, hogy olyan távolságon mérjük az eldőléshez szükséges időt, amely már olyan messze van a sor elejétől, hogy itt már biztosan állandósult a sebesség. Ezért az időkapu indító érzékelőjét a felállított sor elejétől legalább 21 cm-re, és a leállító érzékelőt lehetőleg minél messzebbre helyeztük. A méréshez használt elrendezés egyezik a 3. ábrán bemutatottal. A dőlés indítását a már ismertetett módon végeztük. A mérések eredményét az 1. táblázatban tüntettük fel, ahol az első oszlopban a korábban értelmezett  $s$  értékeket tüntettük fel. A „Mért idő”-et több (három-öt) mérés számtani közepékként kaptuk.

A méréseket azért kezdtük az  $s = 15$  mm-nél, mert kisebb  $s$  értékek esetén az „indító” dominó csak nekidől a következő elemnek, és nem indítja el a sor dőlését. A dominók közötti távolság növekedésével a még álló dominókra a nekik dőlő dominók egyre nagyobb sebességgel érkeznek. A mérés egyre érzékenyebb arra, hogy a felállított elemek mennyire párhuzamosak egymással. A dominótávolságok növekedésével növekszik a mérési adatok szórása. Hibás felállítás esetén egyes elemek valósággal „kirepültek” a sorból. A dominók mérete:  $60 \times 30 \times 6$  mm.

Az 1. táblázat adatainak felhasználásával készítettük el az 5. ábrát, ahol az  $s$  távolság függvényében tüntettük fel az állandósult dőlési sebességet. Az ábra alapján azt állapíthatjuk meg, hogy a sebesség egy

Különböző elemtávolságú dominósorok dőlésének adatai					
1. táblázat					
$s$ távolság (mm)	Indító kapu helye (mm)	Leállító kapu helye (mm)	Kapuk közti távolság (cm)	Mért idő (s)	Sebesség (cm/s)
15	210	465	25,5	0,173	147,4
20	300	600	30	0,218	137,6
25	300	600	30	0,225	133,3
30	300	600	30	0,234	128,2
35	280	630	35	0,285	122,8
40	240	600	36	0,302	119,2
45	270	630	36	0,324	111,1
50	250	700	45	0,435	103,4
55	220	660	44	0,530	83,0

kezdeti, viszonylag nagyobb érték után egy darabig közel lineárisan, majd egyre erősebben csökken. A kitűzött feladatot a versenyen használt dominóktól eltérő méretű mintákkal is elvégeztük, és a sebesség–dominótávolság kapcsolat mindegyik esetben az 5. ábrán látható jellegűt mutatta.

### A versennyel kapcsolatos megjegyzések, eredmények

Ebben az évben – a korábbi évekhez viszonyítva – az elméleti fordulók után szélesebb tartományban változott a versenyzők teljesítménye. A 3. fordulóra bekerült versenyzők teljesítménye az első két forduló eredményeit figyelembe véve 75% és 100% közé esett. Két teljesítményérték volt, amelyet több versenyző ért el: öt-öt fő teljesített 93,3, illetve 75%-ra.

A harmadik forduló során a versenyzők teljesítményének megállapításánál értékeltük a tranziens folyamat vizsgálatát, a dőlési sebesség meghatározását, a hibaszámítást, és néhány pontot adtunk a kiadott feladatok között nem szereplő, de azt kiegészítő mérések elvégzéséért.

A tranziens viselkedés kérdésével két versenyző egyáltalán nem foglalkozott, kilencen minden vizsgálat és magyarázat nélkül különböző számú – általuk „előtagnak” vagy „felvezető dominónak” nevezett – dominót alkalmaztak, és mindössze heten végeztek valamilyen vizsgálatot arra vonatkozóan, hogy a sor elején hogyan alakul a dőlési sebesség.

Azok, akik a tranziens jelenség kérdésével egyáltalán nem foglalkoztak, a dőlési sebességet mindig a sornak a második dominóval kezdődő szakaszán mérték. Így mérési eredményeik nem az állandósult sebességet adták meg.

Az „előtag” vagy „felvezető dominó” azt jelentette, hogy a dőlési sebességet csak a dominósor elején lévő néhány dominó utáni szakaszon mérték. Az „előtagok” száma „néhány”-tól 15-ig változott. Volt olyan versenyző is, aki mindig felállította a rendelkezésére álló 35 dominót, és a sebességet csak a sor végén mérte.

Azok közül, akik vizsgálatokat végeztek az állandósult sebesség kialakulására vonatkozóan, néhányan nem a dőlési sebesség változását vizsgálták a sor elején, hanem azt mérték ki, hogy adott számú dominó dőlési ideje hány „előtag” után állandósul. Állandó számú (10–15 db) dominóból álló szakasz feldőlésének idejét mérték, változó számú (2, 3, 4, ... db) „előtag” alkalmazása esetén.

A versenyzők viszonylag kevés (négy-öt) különböző dominótávolság esetén határozták meg az állandósult sebességet, egy-egy mérést rendszerint háromszor megismételve. A sebesség és a dominótávolság közötti kapcsolatot lineárisnak találták.

Néhányan foglalkoztak a dőlés indításának kérdésével is. Azt vizsgálták, hogy az első dominó meglökése hogyan befolyásolja a sor dőlési sebességét. Ők azt találták, hogy az első elem „elhanyagolható kezdősebességétől” az „igazán nagy impulzusig” az indítás sebessége „nem igazán befolyásolja” a 11. és 16. dominó közötti szakasz dőlési sebességét.

A versenyzők nagy része végzett hibaszámítást. A mérési eredmények relatív hibáját határozták meg.

Többen végeztek vizsgálatokat „elfektetett” (60 mm-es oldalra állított) dominókkal is. Őket néhány plusz ponttal jutalmaztuk.

Az érzékelők magassága állítható volt. A legtöbben – helyesen – azonos magasságba állították az indító és a leállító érzékelőt, és a 3. ábrának megfelelően állították be őket. Akik ettől eltértek, azok különböző magasságban hagyták az érzékelőket, vagy úgy állították be őket, hogy az elfekvő dominókat érzékeljék.

Kereskedelmi forgalomban vásárolt dominókkal sajnos nem kaptunk megbízható eredményeket. Ezért a verseny céljára 6 mm-es plexilemezből csináltattuk a dominókat. A precíz kivitelezés eredményeként a mérések reprodukálható eredményeket adtak. A dominók oldal-lapjait matt fekete festékkel festettük le, mert az átlátszó plexi nem zárta az érzékelők előtt a fényt. Az idő mérésére szolgáló fénykapukat és a hozzájuk tartozó elektronikát magunk készítettük.

A dominósorok felállítása elég időigényes és bizonyos kezűgyességet igénylő feladat. A felállítás közben egyetlen elem véletlen meglökése elég ahhoz, hogy az egész, addig felállított sor azonnal eldőljön. Emiatt verseny közben gyakran hallottuk a versenyzők kifakadásait. Néhányan a mérési jegyzőkönyvben is megemlítették ezt a nehézséget.

A mérési forduló meglehetősen széthúzta a mezőnyt. A versenyzők teljesítménye a harmadik forduló során 100% és 33% közé esett. Az elméleti és a gyakorlati fordulók eredményeinek összesítése után a versenyzők teljesítménye 100% és 62% között mozgott. Az elméleti fordulók után az első tíz helyezett közül heten a végső sorrendben is az első tíz között voltak, a sorrend azonban némileg változott. A verseny után a résztvevők a feladatot könnyűnek minősítették.

Mejlegyezzük, hogy eredetileg a kérdés összetettebb vizsgálatát terveztük. Szerettük volna a kitűzött feladatot különböző méretű dominókkal elvégeztetni. Magunk három különböző méretű dominóval végeztük el a méréseket. Sajnos azonban úgy láttuk, a négy órás idő ilyen feladat megoldására nem elegendő.

### Az 2002. évi verseny első tíz helyezettje az összesített eredmények alapján

1. PALLOS PÉTER, Fazekas Mihály Fővárosi Gyak. Gimn., 500 pont;
2. NAGY SZABOLCS, ELTE Trefort Ágoston Gyak. Gimn. (Bp.), 465;
3. BÉKY BENCE, Fazekas Mihály Fővárosi Gyak. Gimn., 436;
4. SPARING DÁNIEL, ELTE Radnóti Miklós Gyak. Gimn. (Bp.), 430; 5. SZEKERES BALÁZS, Verseyhy Ferenc Gimn. (Szolnok), 428; 6. SZILVA ATTILA, Földes Ferenc Gimn. (Miskolc), 408; 7. ANTAL ÁGNES, ELTE Apáczai Csere János Gyak. Gimn. (Bp.), 398; 8. FEJŐS GERGELY, ELTE Radnóti Miklós Gyak. Gimn. (Bp.), 396; 9. HARANGI VIKTOR, Fazekas Mihály Fővárosi Gyak. Gimn., 393; 10. SZALAI BENCE, Lovassy László Gimn. (Veszprém), 386.

## A versenyzők részére 2003-ban kiadott írásos anyag

Feladat a Fizika OKTV harmadik fordulójára, a harmadik kategória részére

### Közegellenállási erő vizsgálata

#### Feladat

1. Méréssel határozza meg, hogy a kiadott hosszabb minta (vezető szárnyakkal ellátott henger) vízben történő esése közben a közegellenállási erő hogyan függ a test sebességétől. Eredményeit tüntesse fel táblázatban és grafikonon. A mérési adatok felhasználásával határozza meg a minta közegellenállási tényezőjét az adott kísérleti körülmények között.

2. Az előzőeket ismétlje meg a rövidebb minta felhasználásával.

3. Értelmezze mérési eredményeit.

4. Munkájáról készítsen jegyzőkönyvet.

#### A feladat megoldásához rendelkezésére álló anyagok és eszközök

2 db belül üres hengeres minta (tömegüket megmértük, az eredményeket a mérőhelyen megtalálja), menetes kupakkal, gumitömítéssel, 0,2 mm vastag alumíniumlemezről készült vezető szárnyakkal,

8 db csapágygolyó (1 db tömege 8,95 g),

1 db kis mágnes, piros műanyag foglalatban, a vízbe ejtett minta kiszedéséhez,

1 db sárgaréz függőző, a függőleges irány kijelöléséhez,

1 db tolómérő,

1 db csipesz,

1 db mérőszalag,

1 db Bunsen-állvány,

3 db Bunsen-dió,

1 db Bunsen-fogó,

1 db üvegcső vízzel, a tetején sapkával, a sapka közepén furattal, alul lezárva,

1 db mérőpohár vízzel,

2 db fénykapu, időmérő elektronikával (alkalmazásukat az előző évi feladattal kapcsolatban már ismertettük),  
cérna,

milliméterpapír,

karton lapocska, a fényút megszakításához.

A „További tudnivalók” címmel a 2002 évihez hasonló információkat adtunk a versenyzőknek.

A hengeres minták a 6. ábrán láthatók, a mérőhelyen elhelyezett néhány eszközzel.

### A 2003. évi feladat megoldása

#### Az állandósult állapot kialakulásának vizsgálata esés közben

Először megvizsgáltuk azt, hogy mekkora úton áll be az állandósult állapot, amelytől kezdve a minta már állandó sebességgel mozog. Az állandó sebesség azt jelzi, hogy a minta súlya, a mintára ható felhajtóerő és a közegellenállási erő egyensúlyban van. A leghosszabb úton és a legnagyobb sebesség mellett, a legnehezebb minta



6. ábra. Hengeres minták a mérőhelyen elhelyezett néhány eszközzel.

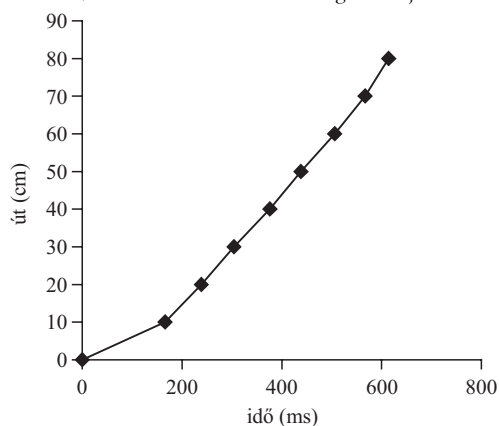
esetén alakul ki az egyensúlyi helyzet. Ezért ezt a vizsgálatot a csapágygolyókkal (8 db) megtöltött hosszabb mintával végeztük úgy, hogy felvettük a test út-idő grafikonját. A többi lehetséges esetben (a rövidebb minta vagy kevesebb csapágygolyó alkalmazásakor) rövidebb úton áll be az egyensúlyi helyzet.

Az út-idő kapcsolat megállapításához a mintát függőleges üvegcsőben lévő vízbe ejtettük. A megmért, illetve megadott méretek: A vízzel töltött üvegcső belső átmérője:  $D = 46$  mm, a hossza: 125 cm.

A hosszabb hengeres minta átmérője:  $d = 16$  mm, hossza:  $b = 130$  mm, tömege:  $m_0 = 19,8$  g. A négy darab alumínium vezető szárny vastagsága:  $sz = 0,2$  mm, magassága:  $l = 12$  mm és hossza:  $b^* = 125$  mm. 1 db csapágygolyó tömege:  $m_g = 8,95$  g.

A mintát csipeszsel megfogva, teljesen vízbe merítettük, és függőleges helyzetben a cső közepéről indítottuk. A gondos indítás az eredményes mérés feltétele! A minta kiszédése az üvegcső aljáról a cérnára erősített mágnes és a minta tetejébe sülyesztett acél csavar segítségével oldható meg. Az indító érzékelőt közvetlenül a már teljesen vízbe merülő minta alatt helyeztük el, a leállító érzékelőt pedig  $s = 10, 20, 30, \dots$  cm-rel lejjebb.

7. ábra. Az eső minta út-idő grafikonja.



Az állandósult sebesség mellett a 30 cm-es út megtételéhez szükséges idő, a 2, 3, ..., 8 csapágygolyót tartalmazó hosszabb minta esetén											2. táblázat
Golyók száma $n$	A 30 cm út megtételéhez szükséges idő, ezred másodpercben										számított sebesség: $v$ (m/s)
2	502	489	495	491	495	481	501	484	493	501	$v_2 = 0,62$
3	345	352	351	341	348	348	352	347	345	352	$v_3 = 0,88$
4	280	281	289	281	292	286	289	284	284	279	$v_4 = 1,07$
5	248	248	253	248	254	248	249	246	250	247	$v_5 = 1,22$
6	227	233	224	231	223	227	225	226	225	230	$v_6 = 1,34$
7	217	215	212	212	210	210	213	215	210	212	$v_7 = 1,43$
8	194	199	202	198	195	194	198	199	196	201	$v_8 = 1,55$

A mérési eredmények  $\pm 5\text{--}6\%$ -os szórást mutattak, ami a minta függőlegestől eltérő mozgása során a fallal történő súrlódással indokolható. Ezért 10–10 esetben mértük az adott út megtételéhez szükséges időt, és a további munkához a mért idők közül a legrövidebbeket vettük figyelembe. Feltételeztük, hogy ezekben az esetekben a minta nem ért a falhoz, vagy a fal hatása elhanyagolható volt. A mért legrövidebb idők feltüntetésével készült a 7. ábra. Az ábráról megállapítható, hogy az állandósult állapot rövid szakaszon kialakul, és 20 cm út megtétele után a minta már biztosan állandó sebességgel mozog.

Ha az állandó sebességhez tartozó mérési pontokra egyenest illesztünk, az illesztett egyenes egyenlete (SI egységekben):

$$y = 1,54x - 16,8.$$

A mérési pontok jól illeszkednek az egyenesre, és a minta állandósult sebessége 1,54 m/s. A sebesség – közegellenállási erő kapcsolat megállapításának egyik módja lehetne a leírt kísérlet megismétlése 7, 6, ... csapágygolyóval. Ez az eljárás azonban meglehetősen időigényes.

Rövidebb úton, kevesebb méréssel oldhatjuk meg a feladatot, ha az elvégzett mérés eredményére támaszkodva a további vizsgálatokat rögzített út megtételéhez szükséges idők mérésével végezzük. Az indító kaput a vízbe merített minta alsó éle alatt 25 cm-rel, a leállító kaput további 30 cm-rel lejjebb helyezzük el. Így a vizsgált minta állandó sebességű mozgásából mindig 30 cm-nyi szakaszt vizsgálunk.

#### További mérések a hosszabb mintával

A belül üres minta önmagában, vagy egy csapágygolyóval a belsejében nem süllyed el. Ezért a további vizsgálatokat 2, 3, ..., 8 db golyóval megtöltött mintával végeztük. A különböző számú golyóval megtöltött minta a fenti módon meghatározott 30 cm utat a 2. táblázatban feltüntetett idők alatt tette meg.

Az esés sebességének kiszámításához most is 10–10 esetben mértük az időt, és itt is a legrövidebb időt vettük figyelembe, ezeket az időket a táblázatban bekereteztük. A mérési eredmények felhasználásával kiszámított sebességeket is feltüntettük a táblázatban. (Megállapítható, hogy a 8 csapágygolyóval terhelt minta most mért sebessége jó egyezésben van az út–idő grafikonra illesztett

egyenes meredekségéből korábban meghatározott értékkel.)

A mérés során a mintának az üvegcsőhöz viszonyított sebességét határoztuk meg. Ezzel szemben a közegellenállási erő a minta és a víz egymáshoz képesti sebességétől függ!

Annak a csőnek a belső átmérője ( $D = 46$  mm), amelyben a minta mozgását vizsgáljuk, összemérhető a minta át-

mérőjével ( $d = 16$  mm). Ezért nem hanyagolhatjuk el, hogy a víz a minta mellett felfelé áramlik.

Ha  $A_0$  a cső,  $A_1$  a minta (a négy vezető szárnyal) hossz tengelyre merőleges metszetének a területe,  $v$  a minta korábban meghatározott esési sebessége, és a csőben a minta mellett felfelé áramló víz sebessége a csőhöz képest  $v^*$ , akkor:

$$v A_1 = v^* (A_0 - A_1).$$

A minta vízhez viszonyított sebessége pedig:

$$v + v^* = v + v \frac{A_1}{A_0 - A_1} = v \frac{A_0}{A_0 - A_1} = v K,$$

ahol a  $K$  korrekciós állandó értéke:

$$K = \frac{A_0}{A_0 - A_1} = \frac{16,62}{14,51} = 1,14.$$

$$A_0 = \frac{D^2 \pi}{4} = 16,62 \text{ cm}^2 \text{ és}$$

$$A_1 = \frac{d^2 \pi}{4} + 4 sz l = \frac{16^2 \pi}{4} + 4 \cdot 0,2 \cdot 12 = 2,11 \text{ cm}^2.$$

Egyensúly esetén (állandó sebességű mozgásnál) a mintára ható közegellenállási erőt ( $F_k$ ) a minta súlyának ( $G$ ) és a mintára ható felhajtóerőnek ( $F_f$ ) a különbsége adja meg.

A felhajtóerő a hengerre:

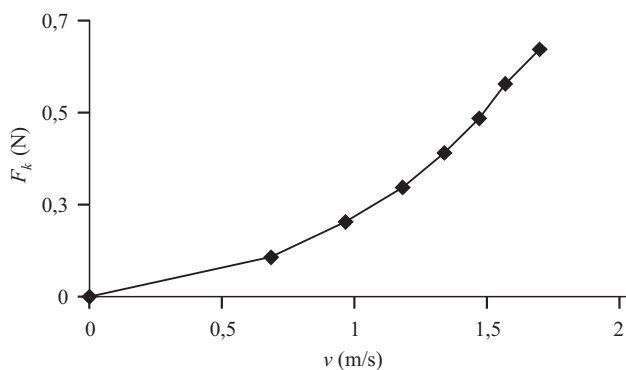
$$\begin{aligned} F_{fb} &= \frac{D^2 \pi}{4} b \rho g = \\ &= \frac{1,6^2 \cdot 10^{-4} \cdot \pi}{4} \cdot 0,13 \cdot 10^3 \cdot 9,81 = 0,26 \text{ N.} \end{aligned}$$

A felhajtóerő a szárnyakra:

$$\begin{aligned} F_{fsz} &= sz \cdot l \cdot b^* \cdot \rho \cdot g = \\ &= 4 \cdot 0,2 \cdot 12 \cdot 125 \cdot 10^{-9} \cdot 10^3 \cdot 9,81 = 0,01 \text{ N.} \end{aligned}$$

A hosszabb mintára ható felhajtóerő:

$$F_f = F_{fb} + F_{fsz} = 0,27 \text{ N.}$$



8. ábra. Közegellenállási erő – sebesség függvény hosszabb minta esetén.

A minta tömege ( $\Sigma m$ ), az üres minta tömegének ( $m_0$ ) és a golyók tömegének ( $n m_g$ ) az összege.

A golyókkal terhelt minta súlya:  $G = (m_0 + n m_g) g$ .

A közegellenállási erő:  $F_k = G - F_f$ .

Az így kapott eredmények a 3. táblázatban láthatók.

A mérési eredmények felhasználásával készült közegellenállási erő – sebesség kapcsolatot mutatja a 8. ábra.

A mérési pontok jól illeszkednek az  $F_k = 0,196x^2$  parabolára, tehát a vizsgált sebességtartományban a közegellenállási erő a sebesség négyzetével arányosnak tekinthető.

A közegellenállási erő – sebesség kapcsolatra ismert összefüggés:

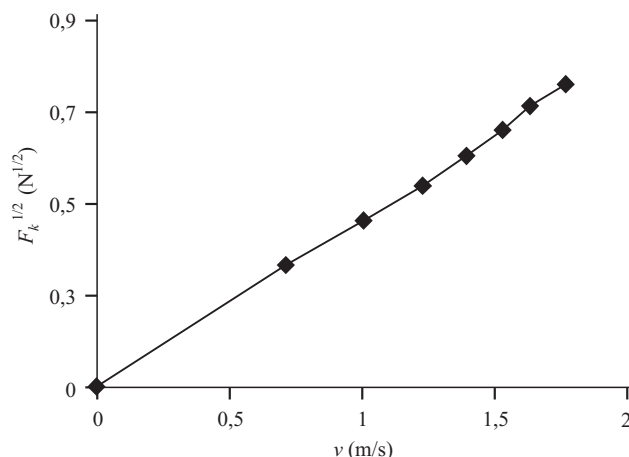
$$F_k = \frac{1}{2} k \rho A v^2,$$

ahol  $k$  az „alaki tényező”,  $\rho$  annak a közegnek a sűrűsége, amelyben a test mozog (most  $\rho_{\text{víz}} = 10^3 \text{ kg/m}^3$ ),  $A$  a test mozgásirányra merőleges legnagyobb keresztmetszete (jelen esetben:  $A_1$ ) és  $v$  a közeg és a test relatív sebessége ( $Kv$ ).

A mérési pontokra illesztett parabola egyenletéből és a közegellenállásra vonatkozó összefüggésből a keresett alaki tényező:

$$k = \frac{2 \cdot 0,196}{\rho A_1} = \frac{2 \cdot 0,196}{10^3 \cdot 2,11 \cdot 10^{-4}} = 1,86.$$

A mérési eredmények feldolgozásának egy másik lehetséges módja, hogy felrajzoljuk a sebesség ( $Kv$ ) függvényében a közegellenállási erő négyzetgyökét ( $F_k^{1/2}$ ). Így



9. ábra. A közegellenállási erő négyzetgyöke a sebesség függvényében.

kaptuk a 9. ábrát. Ha a mérési pontokra egyenest illesztünk, az egyenes egyenlete:

$$F_k^{1/2} = 0,441 Kv.$$

Az egyenes egyenletének és a közegellenállásra vonatkozó egyenletnek az összevetéséből az alaki tényező:

$$k = \frac{2 \cdot 0,441^2}{\rho A_1} = \frac{2 \cdot 0,441^2}{10^3 \cdot 2,11 \cdot 10^{-4}} = 1,85.$$

Az ismertett mérési eljárással és a fenti számítási módszert követve meghatároztuk a rövidebb minta alaki tényezőjét is. A minta adatai a következők voltak: átmérője:  $D = 16 \text{ mm}$ , hossza:  $b = 6,9 \text{ cm}$ , tömege:  $m_0 = 10,46 \text{ g}$ . A négy vezetőszárny vastagsága:  $sz = 0,2 \text{ mm}$ , magassága:  $l = 12 \text{ mm}$  és hossza:  $b^* = 63 \text{ mm}$ . A vizsgált minta alaki tényezőjének  $k = 1,29$  adódott.

### Az eredmények értékelése

Henger esetén, ha az áramlás párhuzamos a tengellyel, az alaki tényező a henger hosszának ( $b$ ) és átmérőjének ( $d$ ) arányától a 4. táblázatban közölt módon függ (Gruber J., Blahó M.: *Folyadékok mechanikája* – Tankönyvkiadó, 1963, 286. o.):

A körlap 1,11 értékű alaki tényezője a henger hosszának növekedésével eleinte csökken, mert a homlokfelület kel-

tette turbulenciát a felület mögötti test csökkenti. Az aránylag hosszú hengernél az áramlás irányával párhuzamos felületeken fellépő súrlódási ellenállás számottevő lesz, és ezért az alaki tényező növekszik. A középiskolákban használatos „Függvénytábla” a körlap és a tengellyel párhuzamos áramlásba helyezett henger legkisebb alaki tényezőjét adja meg. (A 4. táblázatban vastagított számokkal.)

A közegellenállási erő és négyzetgyökének értéke a hosszabb minta vízhez viszonyított sebességének függvényében

$n$ (db)	$m_0$ (g)	$n \cdot m_g$ (g)	$\Sigma m$ (g)	$G$ (N)	$F_f$ (N)	$F_k = G - F_f$ (N)	$(F_k)^{1/2}$ (N <sup>1/2</sup> )	$K \cdot v$ (m/s)
2		17,90	37,70	0,37		0,10	0,32	0,71
3		26,85	46,65	0,46		0,19	0,44	1,01
4		35,80	55,60	0,55		0,28	0,53	1,22
5	19,8	44,75	64,55	0,63	0,27	0,36	0,60	1,39
6		53,70	73,50	0,72		0,45	0,67	1,53
7		62,65	82,45	0,81		0,54	0,73	1,63
8		71,60	91,40	0,90		0,63	0,79	1,77



4. táblázat					
b/d	0	1	2	4	7
K	<b>1,11</b>	0,91	<b>0,85</b>	0,87	0,99

Eredeti elképzelésünk az volt, hogy a versenyzők legálább három azonos átmérőjű és különböző hosszúságú minta segítségével vizsgálják meg az alaki tényező alakulását. Amikor a feladatot magunk megoldottuk, láttuk, hogy a verseny 4 órás időtartama nem elég az elképzelt program végrehajtásához. Ezért csak két eltérő hosszúságú mintával tűztük ki a feladatot.

Az elvégzett mérések eredményei jól mutatják a henger hosszának hatását az alaki tényezőre. A mérés segítségével kapott alaki tényező értékek lényegesen nagyobbak a 4. táblázatban szereplőknél. Ennek magyarázatát a vezérlő szárnyak felületén jelentkező súrlódási ellenállásban kereshetjük.

### A versennyel kapcsolatos tapasztalatok

A versenyzők pontszámai az elméleti fordulók után 300 és 200 pont között oszlottak meg. Előfordult, hogy két-három versenyzőnek volt azonos pontszáma. A gyakorlati forduló eredményei széthúzták a mezőnyt. Itt a pontszámok 200 és 32 között változtak.

Az elméleti és a gyakorlati forduló eredményeit figyelembe véve az összesített pontszámok 480 és 244 között változtak. A korábbi versenyektől eltérően most a vidékiek voltak többségben.

A gyakorlati forduló alkalmával a következőket tapasztaltuk:

- többen nem gondoltak arra, hogy a süllyedő henger sebessége csak egy adott út megtétele után állandósul, és nem vizsgálták ezt a kérdést,
- egyesek nem vették figyelembe a folyadékban fellépő felhajtóerőt,
- egyik versenyző sem vette figyelembe, hogy a süllyedő henger mellett a csőben felfelé áramlik a folyadék,
- azok, akik adott körülmények között több mérést végeztek, a továbbiakban a kapott eredmények számtani közepét alkalmazták, nem vették észre az esetenként fellépő súrlódás hatását,
- volt olyan versenyző, aki cérnát kötött a vizsgált mintára, hogy ennél fogva emelje ki azt, és a cérna súrlódása nehezen értékelhető eredményekhez vezetett,
- nem gondoltak a versenyzők a vezető szárnyakra ható felhajtóerőre,
- a kapott eredmények értékelésével csak néhányan foglalkoztak,
- a mérési jegyzőkönyvek leírásai alapján kevés mérést lehetett volna megismételni úgy, ahogy azt a versenyző végrehajtotta,

- csak néhányan írták le azt, hogy hogyan indították a mintákat,
- egyes esetekben a mérési eredményeket feltüntető grafikonokról nehezen derült ki, hogy mit is ábrázoltak,
- volt olyan versenyző, aki a mérési eredményeit felhasználva az  $F_k = Av^2$  alakban kereste a közegellenállási erő – sebesség kapcsolatot, és helyesen megkapta a négyzetes összefüggést.

### A 2003. évi verseny első tíz helyezettje az összesített eredmények alapján

1. SARKADI TAMÁS, Lovassy László Gimn. (Veszprém), 480 pont;
2. BACKHAUSZ ÁGNES, Fazekas Mihály Fővárosi Gyak. Gimn., 466;
3. SZEKERES BALÁZS, Versegly Ferenc Gimn. (Szolnok), 448;
4. KOMJÁTHY JÚLIA, Garay János Gimn. (Szekszárd), 428;
5. SZILÁGYI PÉTER, Debreceni Egy. Kossuth L. Gyak. Gimn., 411;
6. BALOGH LÁSZLÓ, Fazekas Mihály Fővárosi Gyak. Gimn., 402;
7. BÓKA GERGELY, Versegly Ferenc Gimn. (Szolnok), 390;
8. VÍGH MÁTÉ, PTE Babits M. Gyak. Gimn. és SzKI (Pécs), 374;
9. HETTINGER TAMÁS, Eötvös József Gimn. (Budapest), 370;
10. SÁFÁR SIMON, Illyés Gyula Gimn. és SzKI (Budaörs), 339.

### Köszönetnyilvánítás

A verseny lebonyolításához szükséges anyagi háttérrel az Országos Közoktatási Szolgáltató Intézmény biztosította. Ezt ezúton is köszönjük.

A verseny lebonyolításához szükséges mechanikai munkák a BME Kísérleti Fizika Tanszék műhelyében készültek. Az állványok, befogók, minták, függők stb. gyors és igényes elkészítéséért *Berende László*, *Horváth Béla* és *Halász Tibor* műszerészeket illeti köszönet.

A verseny lebonyolításához szükséges körülmények megteremtéséért – a mérőhelyek kialakításáért, a versenyzők kondíciójának megőrzéséhez felszolgált italok és szendvicsek beszerzéséért és elkészítéséért stb. – *Burján Lászlónénak*, *Kovács Ferencnének*, *Gál Bélánénak* és *Mezey Miklósnak* mondunk köszönetet. Reméljük, hogy munkájuk eredményeként a versenyzők jól érezték magukat a verseny alatt.

A feladat kitzésével, a verseny lebonyolításával kapcsolatos hasznos tanácsaiért *Tóth Andrásnak* és *Kálmán Péternek* mondunk köszönetet.

A versennyel kapcsolatos adminisztrációs és gazdasági ügyek intézéséért *Köves Endrénét* és *Gál Bélánét* illeti köszönet.

Elismerés és köszönet illeti mindazokat (szülőket, tanárokat, barátokat stb.), akik segítettek a versenyzők munkáját és ezzel hozzájárultak a verseny sikeréhez.

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

A Társulat Internet honlapja <http://www.kfki.hu/elft/>, e-mail címe: [mail.elft@mtesz.hu](mailto:mail.elft@mtesz.hu)

Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős: Berényi Dénes 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 Társulathoz vagy postautalványon a 10200830-32310274-00000000 számú egyzámlán.

Megjelenik havonta, egyes szám ára: 600.- Ft + postaköltség.

HU ISSN 0015-3257

# 47. ORSZÁGOS KÖZÉPISKOLAI FIZIKATANÁRI ANKÉT ÉS ESZKÖZKIÁLLÍTÁS

## Előzmények

A 2003 áprilisában négy évre megválasztott új Vezetőség első nagyon fontos tevékenysége a 47. Országos Középsiskolai Fizikatanári Ankét és Eszközkiállítás (a továbbiakban: Ankét) megszervezése és megrendezése volt. Munkájuk során támaszkodhattak elődeik tapasztalataira és azokra az elképzelésekre, amelyeket az új vezetés munkaprogramként maga elé tűzött. Ezek együttese érvényesült, amikor az Ankét „tartópillérei”-t felállították:

- időpont (a mindenki által megszokott, a tavaszi szünet előtti utolsó hétvégével együtt 5 nap);
- helyszín (a foglalkozások, az elszállásolás és az étkeztetés helyeinek közelsége);
- téma (a tanárok nagy többségét érdeklő és újszerű, a fizika egészét, valamint részterületeit érintő kérdések);
- költség (változatlanul csak az infláció miatt emelt összeg);
- támogatás (az előbbivel összefüggésben szellemi és anyagi támogatók felkutatása);
- akkreditáció (államilag elismert 30 órás továbbképzés).

Mivel komolyabban csak Miskolc jelentkező helyszíneként, ezért az ottani „bejárások” során kellett az előbb felsorolt feltételeknek legjobban megfelelő helyeket megtalálni. Többszöri egyeztetést követően alakult ki a végső program.

Az Ankétot a *Fizika az orvostudományban* és a *Tehetséggondozás* témák megvitatásának szenteltük, kiegészítve *Megemlékezésekkel* és *Újdonságokkal*. Az előadásokra, az eszközkiállításokra és a műhelyfoglalkozásokra, valamint az étkeztetésekre és az elszállásolásokra egyetlen helyszínt tudtunk biztosítani, a Fényi Gyula Miskolci Jezsuita Gimnázium és Kollégiumot (a továbbiakban: Iskola). A választhatóság iránt mindenkor jelentkező igény kielégítésére lefoglaltuk a közeli Flóra Panziót is.

Az Ankét időpontjaként 2004. április 3–7. (szombattól szerdáig) napokban állapodtunk meg. A költségeket 26 ezer (ELFT-tagnak 21 ezer) forintban határoztuk meg. (Ez volt az alapösszeg, amelytől a különféle igények miatt eltérések mutatkozhattak.)

A szervezési munkával összefüggő feladatok megoldásai mellett a választott témákhoz előadókat kellett találnunk. Ez volt munkánk legnehezebb része! Az igen nagy számú variációból végül olyan programot sikerült összeállítanunk, amely (az utólagos vélemények ismerete alapján állíthatóan) megnyerte a 140–150 résztvevő tetszését.

A plenáris előadásokra az Iskola Fényi-terme állt rendelkezésünkre. Ennek egyik falán *Sükkösd Csaba* a tanári ankétok aktív résztvevőjének, a fizikatanárok munkája segítőjének, *Marx Györgynek* az emlékkiállítását helyezte el.

A továbbiakban naplószerűen számolunk be az Ankét történéseiről.

## Események

### 1. nap: április 3. (szombat)

13 órai kezdettel indult a regisztráció az Iskolában. Az időben érkezők a miskolci Önkormányzat szervezésében részt vehettek egy autóbusszos városnéző körúton. Ezen Miskolc nevezetességeivel (pl. Egyetemi városrész, Avasi Kilátó, Diósgyőri Vár stb.), valamint környékének látványosságaiival (pl. Hámori-tó, Palotaszálló, pisztrángtenyészet stb.) ismerkedhettek meg.

### 2. nap: április 4. (vasárnap)

Üléselnök: *Mester András* (a Szakcsoport elnöke)

A Megnyitón részt vett: *Szűcs Erika*, Miskolc alpolgármestere, *Döbröczöni Ádám*, a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki Karának dékánja, *Kormos Vilmos*, a miskolci Önkormányzat osztályvezetője, *Németh Judit*, a Társulat elnöke, *Szabó Gábor*, a Társulat főtítkára és *P. Forrai Tamás SJ*, az Iskola igazgatója.

Mester András bemutatta az Elnökség tagjait, és röviden vázolta azokat a célokat, feladatokat, tevékenységi formákat, amelyekkel az Ankét megkezdéséig a Szakcsoport vezetőségének és a közreműködőknek foglalkozniuk kellett.

Szűcs Erika alpolgármester Miskolc Megyei Jogú Város, „a nyitott kapuk városa” Önkormányzatának nevében köszöntötte a jelenlevőket. Többek között megjegyezte, hogy a miskolci Földes Ferenc Gimnázium volt fizika tagozatos diákjaként változatlanul csodálja a fizikát. Az Ankét programját gazdagnak, az érdeklődők szakmai és kulturális igényének kielégítésére alkalmasnak tartja. Sok sikert kívánt annak megvalósításához.

Döbröczöni Ádám dékán kiemelte a fizika tantárgynak az egyetemi oktatásban betöltött szerepét. A hallgatók fizikával kapcsolatos gondjait elsősorban annak tulajdonította, hogy a ma diákja szinte készen kap minden, így közvetlen tapasztalásra nincs is szüksége. Szerinte gondot jelent az is, hogy a tanári pálya fiatalítása jelenleg nem megoldott. A témaválasztást nagyon jónak tartotta.

P. Forrai Tamás SJ igazgató megemlékezett névadójukról, aki híres csillagász volt. Szólt arról is, hogy az Iskola nevelési elvének („A tudás egyesít a hitben”) érvényesítése következtében több tanulójuk a természettudományos pályát választja. Remélte, hogy a résztvevők otthon fogják érezni magukat az Iskolában.

Németh Judit akadémikus a Társulat nevében tisztelettel köszöntötte a jelenlevőket. Megállapította, hogy a tanári munka elismertetésének igen nehéz útján nagyon fontosak az ankétok. Ezek ugyanis szélesítik a fizikatanárok naprakész ismeretanyagát. Hasznosítható ismeretszerzést kívánt a résztvevőknek.

A Megnyitó további részében díjak átadására került sor: *Mikola-díj* kitüntetést kapott PILÁTH KÁROLY budapesti tanár. Életútját *Zsüdel László* ismertette, a díjat Németh Judit és Mester András adta át.

*Vermes-díjat* KISS MIKLÓS gyöngyösi és PÁPAI GYULA soproni tanár vehetett át. A díjakat *Nagy Márton* adta át, miközben ismertette a Vermes-díj létesítésének hátterét és a tehetség gondozás fontosságát.

A gyöngyösi Berze Nagy János Gimnázium és Szakiskola, valamint a soproni Vas- és Villamosipari Szakiskola és Gimnázium *Vermes-plakett* elismerésben részesült a Mikola Sándor Fizikaverseny döntőinek hosszú évek óta tartó sikeres lebonyolításáért.

Váratlan eseményre is sor került: Nagy Márton egy újonnan alapított, négy magyar hírességről készített érmet mint új díjat adott át JUKKA RANTA finn tanárnak.

A Marx György által 1990-ban „újtárra bocsátott” vándorplakettet *Jurisits József* újabb egy év időtartamra SIMON PÉTER pécsi tanár nyakába akasztotta.

A Díjak átadását és „apróhirdetéseket” követve került sor Németh Judit *A fizikatanár szerepe a XXI. században* című előadására. Megemlítette, hogy a 2005. év a *Fizika éve* lesz egy nemzetközi határozat alapján. Az elmúlt 100 év a fizika százada volt, mivel ekkor vált tudománnyá. Ezzel együtt járt a matematika széles körű alkalmazása. Ennek következtében azután el is távolodott a nagyközönségtől. Ez az oka annak, hogy a méltó ünnepek közepe tette fel kell tenni azt a kérdést: Mit adott a fizika a társadalomnak? És erre a kérdésre választ is kell adnunk! A 20. század eredményeit értjük annak ellenére, hogy szemléletünknek ellentmond. Ez az oka annak, hogy a tömegektől való eltávolodás fokozódik. Minthogy az atomenergia különböző területeken való felhasználása sem erősíti a fizika helyzetét, ezért előtérbe kerülnek az áltudományos nézetek. A fizika tudományának műveléséhez Magyarországon évente 20 fizikus is elegendő, de a magyar társadalom szemléletének formálásához sokkal több szakemberre van szükség. Emiatt támogatja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat a fizikatanárokat. Elsősorban azokat, akik felhívják tanítványaik figyelmét a fizika érdekességeire, és arra, hogy a fizikára szükség van a mindennapi élet jelenségeinek a megértéséhez.

Szünet után a következő előadások hangzottak el:

*Bejek Zoltán* tanársegéd (SOTE Ortopédiai Klinika) *Térdprotézis-beültetés számítógép segítségével* című előadásában először a térd mechanikáját ismertette, majd a térd élettani funkcióját vázolta. Elég sok, de mégis érthető orvosi részlettel együtt a navigációs rendszereket magyarázó ábrákkal illusztrálva részletezte a műtétek orvosi és technikai nehézségeit. Előadása végén a kutatási irányokról is szólt.

*Vittay Pál* egyetemi tanár (ORSI) programváltozás miatt kedd helyett most tartotta meg *A képkalkoló diagnosztika legígéretesebb eszköze az MPI* című előadását. Ebben általános tájékoztatást adott a képkalkoló diagnosztikáról. Tényekkel alátámasztott történeti áttekintése tette érthetővé a közel 30 éve megindult fejlődés folyamatát.

*Erdélyi Miklós* PhD-hallgató (SZTE) *„Árnyékfejtés” – számítógépes tomográfia mint a modern medicina diagnosztikai eszköze* című előadásában hallhattunk ar-

ról, hogy az élő szervezet által kialakított különféle árnyékképekből hogyan lehet értékelhető térbeli képet létrehozni.

Az ebédszünetet követően 3 sorozat műhelyfoglalkozás megtartására került sor az Iskola szak- és tantermeiben. Azt követően pedig a résztvevők rövid sétát tehettek az Avasi Kilátóhoz.

Az est „fénypontja” az az állófogadás volt, amelyre a Perenczi Sándor Egészségügyi Szakközépiskolában került sor. Az Intézmény igazgatója, *Zsüdel Lászlóné* irányításával és anyagi támogatásával, a Szentpáli István Kereskedelmi és Vendéglátóipari Szakközépiskola és Szakiskola tanulóinak közreműködésével, a Borsodi Sörgyár természetbeni ajándékával, elvárásainkat messze meghaladó mennyiségű étellel-italtal megtoldott baráti találkozó zárta az első munkanapot.

3. nap: április 5. (hétfő)

Üléselnök: *Kopcsa József* (a Vezetőség tagja)

Azzal a gondolattal nyitottam meg a tehetség gondozás és a fizikaversenyek témájú előadásort, hogy párhuzamba állítottam a gyémántiparral kapcsolatos fogalmakat (bányászat, nyers és csiszolt gyémánt, kiállítások stb.) a tehetség gondozással összefüggő tevékenységekkel (kiválasztás, felkészítés, versenyeztetés stb.).

A következő előadásokat, beszámolókat hallgattuk meg:

*Radnai Gyula* docens (ELTE) *Teller Ede és a magyar középiskola* című előadásában részleteket hallhattunk Teller Ede gyermekkoráról, középiskolái éveiről, osztálytársairól és az akkori tanulmányi versenyekről. Megtudhattuk, hogy milyen felelősséggel és nehézségekkel jár egy tehetség élete.

*Sükösd Csaba* docens (BME) *„Magfizika és az élet” a Szilárd Leó Fizikaverseny nébány feladatának tükrében* című beszámolójában a tehetségek és az átlagos képességek közötti esetleges nézeteltérések kezelésének problémáját említette. Majd szólt arról, hogy az élet és a makrofizika közötti kapcsolat napjainkban mindenki számára kézenfekvő. Viszont nem ilyen egyszerű a kapcsolat az élet és a mikrofizika (ezen belül a magfizika) között. Különféle példákon mutatta be, hogy milyen lenne (ha egyáltalán lenne) az élet, ha az atomi világ részecskéi mások lennének, mint amilyenek.

*Sarka Ferenc* főosztályvezető (BAZ Megyei Önkormányzat) *A tehetség gondozás térségi hálózatának kiépítése megyénkben* című tájékoztatójában arról a programról számolt be, amelyet a tehetséggonosítás, tehetség gondozás, tehetségfejlesztés és tehetségmentés témában dolgoztak ki.

*Csermely Péter* egyetemi tanár (SOTE) *A Kutató Diákokért Alapítvány munkájáról* címmel ismertette, miként kapcsolódhat be egy tehetséges középiskolai tanuló a kutatómunkába.

*Kotek László* adjunktus (PTE) *Az Öveges-versenytől a Fizika Diákolimpiáig* címmel azt az áldozatos, nehéz és folyamatos munkát ismertette, amely ahhoz szükséges, hogy a 13–14 éves tanulókból diákolimpikonok legyenek.

Ludmány András intézményvezető (debreceni Napfizikai Observatórium) – Magyar Balázs középiskolai tanár (Budapest) *Magyar részvétel a 2004. június 6-i Vénusz-átvonulás európai megfigyelés programjában* című előadásukban előbb a téma szakmai áttekintését adták, majd kitértek a középiskolás korosztályú tanulók érdeklődése felkeltésének és bevonásának lehetőségeire.

Az ebédszünetet követően Oktatáspolitikai Fórumot rendeztünk. Ezen Mester András üdvözölte Sipos János közoktatási helyettes államtitkárt (OM), Pósfai Péter főigazgatót (OKÉV), Vass Vilmos elnököt (NAT Főbizottság) és Szabó Gábor főtítkárt (Eötvös Loránd Fizikai Társulat). Ezt követően felkérte főtítkárukat a Fórum levezetésére.

Szabó Gábor három célt jelölt meg a Fórum témájaként:

- Kapjunk információkat, így távozásunkkor többet tudjunk, mint amikor bejöttünk.

- Egyetértünk-e a problémákban?

- Hogyan oldhatók meg a gondok?

Sipos János *Gyermekeink jövőjéért* című bevezetőjében a tanár szerepének átalakulásáról, a közoktatásban meglévő értékeinkről és problémáinkról, a gondok megoldásának lehetőségeiről beszélt.

Vass Vilmos *A tartalmi szabályozás aktuális kérdései (Nincs új a NAT alatt?)* című tájékoztatójában a Nemzeti Alaptantervben foglaltak korszerűsítésének munkálatait, annak három szintre történő tagolását vázolta.

Pósfai Péter *A 2005. évi kétszintű érettségiről 2004-ben* című előzetesében a jövőre életbe lépő új érettségi vizsga kidolgozásának elvi és gyakorlati kérdéseiről, a teljesítés jelenlegi szintjéről tájékoztatott bennünket.

A részletes tájékoztatókat követően Szabó Gábor felolvasta a korábban begyűjtött konzultációs kérdéseket. Ezekre, valamint a jelenlevők újabb kérdéseire a vendégek adtak választ. Ezek – sajnos – nem mindenben nyugtatták meg a fizikatanítás jelenéért-jövőjéért aggódó hallgatókat.

A hétfői nap vacsora után a miskolc-tapolcai Barlangfürdőbe tett látogatással fejeződött be.

4. nap: április 6. (kedd)

Üléselnök: Zsúdel László (a Vezetőség tagja)

Délelőtt két előadás hangzott el.

Trón Lajos egyetemi tanár (DE, PET Centrum) *Pozitronemissziós tomográfia (PET)* című előadását a funkcionális, vagyis a működés vizsgálatára alkalmas képalkotó eljárások rövid áttekintésével kezdte. Az elhangzott részletekből megtudhattuk, hogy az elektron–pozitron annihiláció ugyan nehezen detektálható, de a kis sugárterhelés és a kielégítő pontosság miatt a PET kedvelt vizsgálati módszer.

Zsúdel László *Az ultrahangos diagnosztikáról középiskolában* címmel, „beugróként” tartott előadást. Az ultrahangos diagnosztikát műszaki oldalról is bemutatta, és egyben arra is választ adott, hogy a felhasználók és a fizikusok miért gondolkodnak másként.

Az előadásokat követően – ebéd előtt és után – újabb 3 + 3 műhelyfoglalkozáson vehettünk részt. Az utolsó

foglalkozás után „különlegességként” a Megyei Kórház lehetőséget biztosított arra, hogy 40 fő *Dalminé Gulyás Ildikó* tanárnő vezetésével betekintést nyerhessen a lineáris gyorsító és a kobaltágú felhasználásának gyakorlatába, valamint a háromdimenziós felvételkedzés technikájába.

A vacsora után az Iskola tanulói koktélpártit szerveztek az Ankét résztvevőinek. Ezt követte a Fizikatanárok Klubja. A jelenlévőkkel *Kovács Ádám* alelnök (ELFT) *Tudomány, áltudomány, oktatás* címen átfogóan ismertette a témában napjainkban uralkodó helyzetet. A hozzászólásokat követően teljesebb képet alakíthattunk ki az egyes részletkérdésekről.

Az igencsak fárasztó nap késő estéjén felüdülést jelentett *Härtlein Károly* változatlanul nagy sikerű kísérletbemutatója.

5. nap: április 7. (szerda)

Üléselnök: Krassói Kornélia (a Vezetőség titkára)

*Fornet Béla* főorvos (HUNIKO Kft.) *Korszerű röntgen-diagnosztika* című előadásából részletes történeti áttekintés után megtudhattuk, hogy a számítógépes feldolgozás jelentősen növelte a módszer érzékenységét. Ugyanakkor a digitális adatfeldolgozás az alkalmazások körének bővüléséhez vezetett.

*Kerényi László* szerkesztő (Városi TV Kht.) *Orvosi diagnosztikáról a Miskolci Televízióban* című tájékoztatójában az *Egészségügyi Magazin* elnevezésű műsoruk számára készített nagyon jó kivitelezésű film részleteinek bemutatásával vázolta a média ismeretterjesztési munkájának lehetőségeit.

*Ballai László* osztályvezető (OKKI–OSKI) *Orvosi diagnosztikai sugárforrások műszaki sugárvédelme* című előadásában arról tájékoztatott bennünket, hogy széles körű vita folyik arról, rendelhető-e kockázat a kismértékű sugárterheléshez? Hiszen a természetes sugárterhelésnek (amiben benne élünk!) az eddigi vizsgálatok szerint nincs kockázata. A kérdés nehezen válaszolható meg, mert százezres nagyságrendű mintát és ugyanakkora kontrollszemélyt kellene vizsgálni.

Az előadások után került sor az Ankét zárására.

A Záráson *Jobbágy Lászlóné* előadó (Városi Pedagógiai Intézet), *Kovács Ádám* alelnök (Társulat), *Mester András* elnök (Szakcsoport), *Farkas László* vezető (Műhelybizottság) és *Zsúdel László* vezető (Eszközbíráló Bizottság) közreműködésével az 5 napos benyomások és tapasztalatok alapján röviden értékeltük az Ankétot és kiosztottuk a díjakat.

Zsúdel László elmondta, hogy a kevés egyéni kiállító miatt nem alkották meg a Bizottságot; a díjak odaítélését más módon oldották meg.

Az Eszközkiállításon részt vettek:

- a tanszergyártók és -forgalmazók közül: a Meló-Diák Kft. (Sátoraljaújhely), az Alfa-Vega Kft. (az előbbi leányvállalata; Budapest), a Laborer Kft. (a Leybold Didactic magyarországi képviselője) és az Euro-Profil Kft. (a Texas Instruments Inc. magyarországi képviselője),

- könyvekkel és más kiadványokkal: a Mozaik Kiadó (Szeged), a Műszaki Könyvkiadó (Budapest), a Nemzeti

Tankönyvkiadó (Budapest), a Spirit(us) Könyv- és Szótárkiadó (Budapest), *Tóth László* tanár (Budapest) és Városi Pedagógiai Intézet (Miskolc).

31 szavazólap alapján kellett értékelni az egyéni kiállítokat. Mind az 5 kiállító elismerésben részesült:

I. díjat kapott MÁRKI-ZAY JÁNOS (Hódmezővásárhely).

III. díjat kapott *Bogárdi László* (Salgótarján), *Hollósyne Suralik Irén* (Budapest) és *ifj. Pados Károly* (Budapest).

Oklevelet kapott *Pados Károly* (Budapest).

A díjazottak differenciált pénzzutalmakat, valamennyien a miskolci BX-NEXT Kft. CD-csomag ajándékát vehették át.

Farkas László megállapította, hogy – szerencsére – tovább tart a műhelyfoglalkozások népszerűsége. A 11 középiskolai tanár, valamint a 9 főiskolai/egyetemi oktató bemutatónak színvonala tovább emelkedett. Változatlanul nagy volt az érdeklődés a kísérletekben nagyon gazdag foglalkozások iránt.

A 10 tagú Bizottság döntése:

I. díj: NYERGES GYULA (Dorog): *Vénusz-átvonulás, ZÁTONYI SÁNDOR* (Békéscsaba): *Elektromos áram az iskolaigazgatóban*

II. díj: PILÁTH KÁROLY (Budapest): *Mi jutbat a fülünkbe?*

III. díj: FARKAS ZSUZSA, MOLNÁR MIKLÓS (Szeged): *Tehetlenségi nyomaték mérése*, KOSZTYU JÁNOS (Kisújszállás): *Mérési feladatok a középiskolai fizikaórákon*.

Oklevél és jutalom: SZABAD FERENC (Veszprém): *Hogyan segíthet az informatika az atomfizika tanításban?*, VARGA ISTVÁN ANDRÁS (Békéscsaba): *Az Ifjú Fizikusok Nemzetközi Versenyén kitűzött feladatok, kísérletek*.

Oklevél: ASZÓDI ATTILA (Budapest): *A paksi üzemzavar okai, a 2. blokk újraindítása*, FINE IFJÚSÁGI SZAKCSOPORT (Budapest): *Az atommagtól a konnektorig (az atomenergetika alapjai); Melegsik-e a Földünk? (Érvek és ellenérvek a fenntartható fejlődés globális felmelegedés témakörben)*, GEDA GÁBOR, VIDA JÓZSEF (Eger): *Virtuális kísérletek mechanikai mozgások vizsgálatára*, JAROSIEVITZ BEÁTA (Budapest): *VS (Virtual School) és Sulinet fizika szekciójának szerepe a fizika oktatásban*, JURISITS JÓZSEF (Szekszárd): *Felkészítés a kétszintű érettségire a Mozaik Kiadó „Fizika felkészítő” segédkönyve alapján*, PAPP KATALIN (Szeged): *A Fizika Színrelép – Harmadszor!*, TÓTH LÁSZLÓ (Budapest): *Digitális segédanyagok a fizika tanításához, külön kitekintéssel az ultrahang ipari és orvosi alkalmazására*, ZSÚDEL LÁSZLÓ (Miskolc): *A röntgensugárzás kísérletes tanításának lehetőségei*.

Emléklap: BEREZVAINÉ BORÚS KLÁRA (Budapest) és 10. osztályos tanítványai közül FARKAS CSABA, GREGUSS PÉTER, PELLER ANDRÁS, VISZKEI GYÖRGY: *A fénytán, elektromosságtan és a mozgás kinematikai leírásának tanítása PowerPoint segítségével*, INCZEFFY SZABOLCS ZSOMBOR (Ócsa): *Egyszerű kísérletek, amelyek a nyomás irányított (vektoriális) jellegét igazolják*, KOVÁCS KÁLMÁN (Budapest): *A kvantummechanika szakköri megalapozása*, SZACSKY MIHÁLY (Budapest): *Infravörös orvosi képalkotó diagnosztikai rendszer fejlesztése és klinikai tesztelése*.

Mester András megállapítása szerint nagyon sokat dolgoztak az akkreditált 30 órás továbbképzés sikeréért. Ígérte, hogy az anyagok beszerzésében segíteni fog. A teljesség igénye nélkül felsorolta azokat az intézménye-

ket és személyeket, amelyek és akik nagyon sokat tettek az Ankét eredményességéért. Az intézmények között: Az Oktatási Minisztérium, a Borsod-Abaúj-Zemplén Megyei Önkormányzat, Miskolc Megyei Jogú Város Önkormányzata, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Elnöksége, Titkársága, Középiskolai Oktatási Szakcsoportja és BAZ Megyei Csoportja, a Selyemréti Általános és Magyar–Angol Két Tanítási Nyelvű Iskola és Városi Pedagógiai Intézet, a Fényi Gyula Miskolci Jezsuita Gimnázium és Kollégium, a Miskolci Egyetem, a Ferenczi Sándor Egészségügyi Szakiskola. A személyek között: P. Forrai Tamás SJ, *Keresztessy Lászlóné*, *Korányi Tivadarné (Ica)*, *Kozma Ágnes*, *Nagy Zsigmondné (Margó)*, *Vén Zalán* és Zsúdel Lászlóné. Nem említett azonban egy szokatlan „jelenség”-et: érezhettük a szervezők családtagjainak, a Mester és a Zsúdel család tagjainak a segítségét! A következő Ankétra vonatkozó elképzeléseiről röviden emlékezett meg. Kellemes ünnepeket kívánva búcsúzott el a résztvevőktől.

Kovács Ádám nem kívánt párhuzamot vonni a sok-sok ankét között. Azt azonban kérte, hogy az eszközkészítők számának további csökkenését akadályozza meg a Szakcsoport. Feltette azt a kérdést is, hogy vajon „mindenki azt kapta, amit várt?” Választ nem adhatott, mert véleménye szerint erre a 48. Ankétra jelentkezők száma lehet az egyik reakció. Felhívta a figyelmet a közeledő 50. Ankét fontosságára és a 2005. év, a Fizika Éve jelentőségére. Közönetet mondott a Szakcsoport vezetőinek és a helyi szervezőknek – közöttük Mester Andrásnak és Zsúdel Lászlónak, valamint családtagjaiknak – a nagy felelősséggel járó és eredményes munkájukért, a támogatóknak a pénzbeli és más jellegű segítségükért. Az Ankétot az előbbiekkal befejezettnek nyilvánította.

## Vélemények–következmények

Az Ankét óta eltelt közel három hónapban értékelhettük munkánkat a beérkezett véleménykérő lapokon megfogalmazottak alapján. Mivel a résztvevők egyik fele igen jónak, a másik fele jónak minősítette rendezvényünket, ezért nyugodt szívvel állíthatjuk: sikeresen teljesítettük vállalásunkat!

A jól végzett munka feletti örömünk azonban nem felejtetheti el azokat a régi és új problémákat, amelyekre a résztvevők korábban és most is felhívták a figyelmünket. Ezek közül néhány nagyon fontosat meg is említünk.

– Az Ankét helységének közlekedési viszonyait a résztvevők általában nem ismerik. Éppen emiatt nem tudnak eligazodni térkép hiányában. Körültekintőbb tájékoztatást várnak.

– Meg kell szüntetni a jelenléti ívek aláírásával kapcsolatos bosszantó helyzeteket.

– A Társulat érintett helyi (területi) csoportjának segítő munkája nem mindig érzékelhető. Jó lenne, ha az ankétkon röviden beszámolnának tevékenységeikről.

– Anyagi és erkölcsi motivációval ismét népszerűvé kell tenni az eszközkészítést. A helyiségeket pedig gondosabban kell kiválasztani (a szétszórtság inkább hátrány).

– A sikeres műhelyfoglalkozások is igénylik a műhelyvezetők előzetes szelektálását.

– Láthatóan jó a Társulat két oktatási szakcsoportja közötti együttműködés. Ez nem mondható el a külföldi kapcsolatokról, mivel a kétoldalú szerződések megkötésének hiánya miatt nincsenek külföldi közreműködők az ankétokon.

– Szinte nevetséges az a „káosz”, amely az előadásokhoz szükséges technikai eszközök alkalmazásakor adódik.

– A jelentkezők sokkal több módszertani segítséget várnak az ankétoktól. Úgy gondolják, hogy a Szakcsoportnak munkálkodnia kell például a jövőre megvalósuló kétszintű érettségi fizikatanárokra háruló nehézségeinek enyhítésén. (Például segítse a kísérleti/mérési feladatrészek kidolgozását, a megvalósításhoz szükséges eszközök tervezését, gyártását, forgalmazását.)

– A Szakcsoportnak előbb vagy utóbb állást kell foglalnia a különféle fizikaversenyek szakmai, etikai és formai kérdéseiben! Elsősorban azon versenyek esetében, amelyekhez a Társulat a „nevét adja”.

– A megjelentek „minősítették” az előadókat (is). Az észrevételek alapján helyezési sorrendet tudunk megállapítani. Ennek közlése helyett megállapítjuk, hogy I. díjat: FORNET BÉLA, RADNAI GYULA, SÜKÖSD CSABA és TRÓN LAJOS érdemel. Változatlan igény: jó lenne, ha a sikeres előadások megjelenének a *Fizikai Szemle* oldalain!

– Változatlanul nincs lehetőség az előadásokat követő hozzászólásokra.

– Jó lenne az előadásokról is közreadni a műhelyfoglalkozásokról készített füzethez hasonló összefoglalásokat tartalmazó „előzetest”.

– Jelentősen csökkent a Tanúsítványok iránti igény. Ennek ellenére el kell végezni az eléggé körülményes akkreditálási folyamatot!

Ezek a felvetések – és még jó néhány kisebb kifogás – gyakorlatilag munkaprogramot adnak a Vezetőség számára a következő ankét szervezésekor.

A Vezetőség nevében:

*Kopcsa József*

## A VÉNUSZ ÁTVONULÁSÁNAK ÜNNEPE

Jarosievitz Beáta, Ady Endre Fővárosi Gyakorló Kollégium

Härtlein Károly, BME Fizikai Intézet

Mizser Attila, Magyar Csillagászati Egyesület

### A Vénusz átvonulása a Nap előtt

Az égi jelenségek mindig is érdekelték az embereket. Nincs ez másként napjainkban sem. Erre legjobban bizonyították az a sok tudománytalan, az égitestek járásához kapcsolódó nézet (horoszkópok, csillagjósolások), amely a sötét középkorhoz hasonlóan napjainkban is virágzik. Felmérések szerint szerte a világon évről-évre nő az ilyen badarságokban hívő emberek – és fiatalok – száma. Pedig az égitestek mozgásának törvényeit már évszázadok óta ismerjük, mozgásukat sok száz évre előre másodperc pontossággal ki tudjuk számítani, az égi jelenségeket meg tudjuk jósolni.

Azt is már jó előre lehetett tudni, hogy a Vénusz Földünkről nézve 2004. június 8-án ismét áthalad a Nap korongja előtt. Ez egy ritka csillagászati jelenség (legutóbb 122 évvel ezelőtt következett be), ezért lázba hozta a csillagászat kedvelőit szerte a világon és hazánkban is. Külön szerencse, hogy most alkalom nyílt arra (a távcső 1610-es feltalálása óta először), hogy ezt a ritka jelenséget Európából – és hazánkban is – teljes egészében végig követhessük.

Sokszor hallottuk különböző formában és különböző helyekről, hogy világszerte csökken a tanulók érdeklődése a természettudományok – és köztük a fizika – iránt. Ezért gondolták úgy több nemzetközi szervezetben – Európai Déli Obszervatórium (ESO), Európai Csillagászatoktatási Egyesület (EAAE), Párizsi Obszervatórium (OBSPM), Cseh Tudományos Akadémia Csillagászati Intézete (AsU) –, hogy a Vénusz Nap előtti átvonulásának

megfigyelése segíthet a gyerekek és a felnőtt lakosság érdeklődésének felkeltésében a Természet jelenségei iránt. Az embereknek a különleges égi jelenségek iránti természetes érdeklődését kihasználva talán jobban lehet terjeszteni a csillagokkal és égitestekkel kapcsolatos természettudományos ismereteket. Ezért ezek a szervezetek 2004 elején *európai mozgalmat* indítottak, amelynek célja az volt, hogy Európában minél több ember vegyen részt a jelenség megfigyelésében.

### A Vénusz-átvonulás projekt Magyarországon

Csatlakozva ehhez a mozgalomhoz a Magyar Csillagászati Egyesület ([www.mcse.hu](http://www.mcse.hu)) és – a napállandó tavalyi közös mérésének sikerén felbuzdulva – a Sulinet Fizika rovata ([www.sulinet.hu](http://www.sulinet.hu)) szakmai együttműködésben országos projektet indított. A projektfelhívást a *Fizikai Szemle* is közölte (2004/4. szám), de megjelent a Magyar Csillagászati Egyesület újságjában, a *Meteorban*, valamint az interneten is. Minél több hazai iskola és tanuló megmozgatása érdekében a projektben három fő tevékenységet terveztünk:

- Minél több helyen kívántuk biztosítani azt, hogy a Vénusz átvonulását az érdeklődők „élőben” megfigyelhessék.

- Az általános iskolások érdeklődésének előzetes felkeltésére rajzversenyt hirdettünk meg *Otthonunk a Naprendszer* címmel.

- A középiskolások bekapcsolása céljából poszterversenyt hirdettünk a *Vénusz útja a Nap előtt* címmel.





1. kép. Égi tünemény földi megfigyelője.

## A projekt megvalósítása

- A Vénusz átvonulásának távcsöves vagy internetes megfigyelésére – a Magyar Csillagászati Egyesület odaadó koordinációs munkájának köszönhetően – országosan több mint 35 helyszínt biztosítottunk június 8-án.

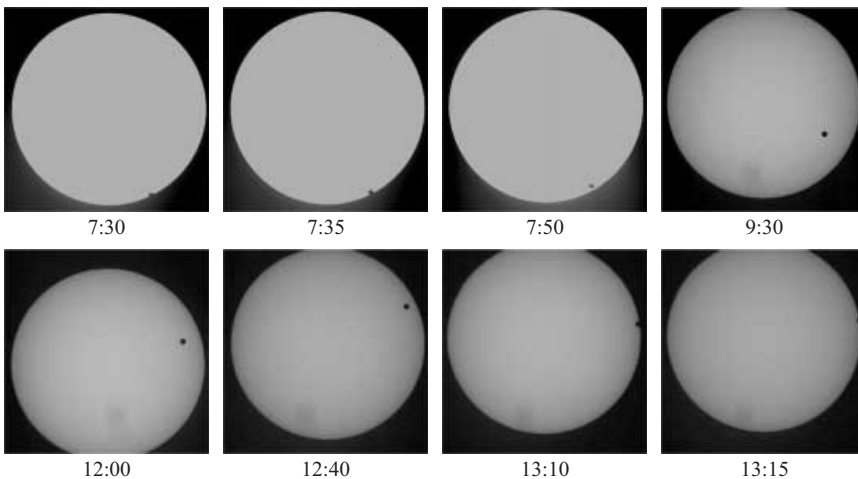
- Több hazai megfigyelő az interneten is közzétette, és élő adásban folyamatosan frissítette a megfigyelt képeket június 8-án. Ezért a Vénusz átvonulását az interneten azok is nyomon követhették, akiknek nem volt alkalmuk, módjuk egyik megfigyelési helyszínrre sem ellátogatni.

- Mivel a projekt meghirdetése és a Vénusz átvonulása között több hónap telt el, a figyelem ismételt felhívása érdekében a Vénusz átvonulását megelőző napra (június 7-re) időzítettük a pályázatokra beérkezett munkák zsűrizését és az ünnepélyes díjkiosztást.

- A pályamunkákból kiállítást szerveztünk a budapesti Planetáriumban, amely június 7-től két héten keresztül folyamatosan megtekinthető volt.

- Június 7-én egész délelőttöt betöltő, ingyenes programra hívtuk a pályázaton résztvevőket és valamennyi érdeklődőt a budapesti Planetáriumba. Ezen a délelőttön az ünnepélyes díjátadást megelőzően tudományos ismeretterjesztő előadások hangzottak el.

2. kép. A BME távcsövével észlelt képek.



- A projekt teljes ideje alatt az interneten keresztül folyamatosan frissülő, on-line oktatást, tanulást segítő feladatokkal, módszertani segédanyagokkal láttuk el az érdeklődőket (például keresztrejtvény, kvízkérdések, tesztek).

- A projekt teljes ideje alatt on-line weboldalt működtettünk, ahol a friss információkat naponta közzé tettük: <http://venuszatvonulas.csillagaszat.hu/>.

A projekt fővédnökségét *Kroó Norbert*, a Magyar Tudományos Akadémia Főtitkára vállalta el, ő nyitotta meg a planetárium díjátadó ünnepséget és adta át a díjakat is a nyerteseknek.

A projektben részt vehettek osztályok, szakköri csoportok, diákcsoportok, akik valamilyen alsó-, közép- vagy felsőfokú oktatási intézménynek tanulói, osztályközösségek tagjai. (Mivel a Nap megfigyelése – a megfelelő szűrők használatának szükségessége miatt – egészségi kockázattal jár, a megfigyelési eseményekben kiskorúak nem vehettek részt tanári felügyelet és előzetes regisztráció nélkül.)

## A Vénusz átvonulásának megfigyeléséről

A jelenség június 8-án reggel 7 óra 19 perckor kezdődött és 13 óra 23 percgig tartott (1. kép). Kivételes szerencse volt, hogy csaknem az egész ország területe fölött felhőtlen volt az ég, és ennek köszönhetően az átvonulás az egész ország területéről megfigyelhető volt.

A nagy érdeklődésre való tekintettel az interneten folyamatosan látható volt az egyes helyszínek címe, elérhetősége. A diákcsoportok, megfigyelők előzetesen jelezték érdeklődésüket az adott helyszín szervezőinek, majd időpontot egyeztetve részt vettek a helyszín által biztosított távcsöves bemutatón.

A megfigyelés napján, amely egyben a projekt főeseménye volt, több helyszínen is elvégezték a következő lépéseket:

- meghatározták vagy topográfiai térképről leolvasták a megfigyelőhely földrajzi koordinátáit,
- másodperc pontossággal meghatározták a négy kontaktus idejét,

- feljegyezték a kontaktusok megfigyelésének körülményeit,

- másodperc pontosságú időinformációkkal ellátott fotókat készítettek,

- az interneten élő webkamerás közvetítést biztosítottak az érdeklődőknek,

- az eseményen készített fotókat mások számára rendelkezésre bocsátották.

Az első három lépés a csillagászati egység (Nap–Föld távolság) meghatározásához szükséges. Erre a nemzetközi projekt kérte fel a megfigyelésben résztvevőket.

A megfigyelés napján a Budapesti Műszaki Egyetem Fizikai Inté-



3. kép. A rajzpályázat győztes alkotása.

zetének nagyelőadójában színvonalas ismeretterjesztő csillagászati előadásokkal várták a szervezők a látogatókat. A jelenség ideje alatt, a Z épület tetején felállított távcső, kamera (2. kép) és az Internet segítségével mindenki követhette az eseményt. (A BME-n történő megfigyelést *Härtlein Károly* és *Nyerges Gyula* kollégák szervezték.)

### Otthonunk a Naprendszer rajzpályázat

Öröndetes, hogy a tanév utolsó hónapjaiban is elég sok kisiskolás diákot sikerült motiválni, és végül összesen 144 rajz érkezett meg határidőre. Az általános iskolás diákok nagy lelkesedéssel vettek részt a pályázaton és – helyenként igencsak tehetséges – alkotásaikkal megpróbálták saját elképzelésük szerint bemutatni a Naprendszert, a bolygókat és más égitesteket, valamint a jövő űrhajóit, űrszondáit. A rajzpályázatokat bíráló zsűri tagjai: *Farkas Pál* főiskolai docens, szobrászművész, *Härtlein Károly*, a BME mérnöke, *Simon Tamás*, az Origó tudományos rovat szerkesztője, *Boros Oláh Mónika* és *Mód Melinda*, a Polaris Csillagvizsgáló szakkörét képviselő diákok.

Kihhasználva az Új Információs Kommunikációs Technológia (ÚIKT) adta lehetőségeket, a díjkiosztás alatt az összes beküldött pályamunkát projektorral kivetítettük, valamint a [www.mcse.hu](http://www.mcse.hu) honlapon is közzétettük. A pályázatok itt jelenleg is megtekinthetők. A díjazottak közül az első 5 helyezett kapott tárgyjutalmat, a következő 5 helyezett oklevélben részesült. Ezúton is gratulálunk a rajzpályázat nyerteseinek:

1. RIBA LÁSZLÓ, Fekete István Ált. Iskola, Ajka (3. kép);
2. FÉSŰS BORBÁLA, Virányos Ált. Iskola, Budapest;
3. KAKICS MÓNIKA, Prohászka Ottokár Orsolyita Központ, Győr;
4. FABINYI ORSOLYA, Prohászka Ottokár Orsolyita Központ, Győr;
5. KRASZNÁR DALMA, Szépia Rajzstúdió, Budapest és CZUCK ANNA, Magyarországi Németek Ált.M.K., Budapest.

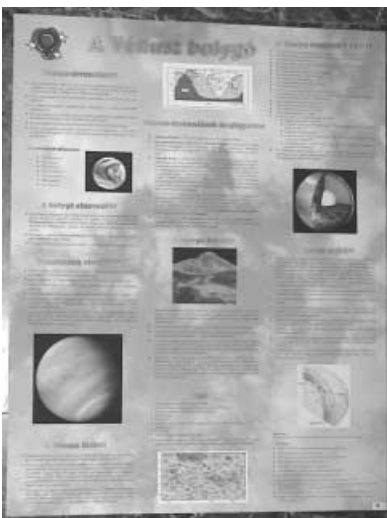
### A Vénusz útja a Nap előtt poszterpályázat

A középiskolás diákok, tanulócsoporthok, osztályok számára elmélyültebb irodalmi áttekintést, kutatómunkát, valamint együttműködést igénylő pályázatot hirdettünk. A pályázóknak a Vénusz bolygót és az átvonulás tudománytörténeti jelentőségét poszter formájában kellett megjeleníteniük saját elképzelésük szerint, megfelelő tudományos alátámasztással.

Zsűrizésre 20 poszter érkezett, amelyeket szintén a Planetáriumban állítottunk ki (4. kép). A zsűri tagjai: *Ponori Thewreuk Aurél* csillagász, *Gesztesi Albert*, a Planetárium igazgatóhelyettese, *Mizser Attila*, a MCSE főtktára, *Jéki László* fizikus (KFKI RMKI), *Főző Attila* tanár (Sulinet Iroda). A poszterpályázat első helyezettje fődíjként egy csillagászati távcsövet kapott, amelynek segítségével minden bizonnyal nagyon érdekes élményben volt része június 8-án. A díjazottak közül az első 5 helyezett kapott tárgyjutalmat, a következő 5 helyezett oklevélben részesült. Ezúton is gratulálunk a poszterpályázat nyerteseinek:

1. SZABÓ KITTI, SZTE Ságvári Endre Gyak. Gimn., Szeged,
2. BAZSÓ ÁGNES, HUSZÁR DORINA, SZENTESI DORINA,

4. kép. A beérkezett húsz poszter három legjobbjika.



A poszterverseny első helyezettjei (balról jobbra):

1. Szabó Kitti (SZTE Ságvári Endre Gyak. Gimn., Szeged)
2. Bazsó Ágnes, Huszár Dorina, Szentesi Dorina (Széchenyi István Gimn., Sopron)
3. 8. osztály tanulói (SEK Bp. Ált. Isk. és Gimn., Budapest)



5. kép. A Polaris Csillagvizsgálóban június 8-a délelőttjén.

Széchenyi István Gimn., Sopron; 3. 8. OSZTÁLY TANULÓI, SEK Bp. Ált. Isk. és Gimn., Budapest; 4. PÁRKÁNYI KATALIN, BARÁTH KORNÉLIA, Ady Endre Fővárosi Gyakorló Kollégium, Budapest; 5. 9. OSZTÁLY TANULÓI, SEK Bp. Ált. Isk. és Gimn., Budapest.

## A planetáriumi eseményről

Az interneten előzetesen meghirdetett, a Vénusz átvonulására felkészítő előadásokon körülbelül 400 fő – nagyrészt diákok és tanáraik – vett részt. A Planetáriumban tartott előadások lenyűgözték a jelenlévőket, hiszen rendkívül sok érdekes információt hallhattak az Esthajnalcsillagról, illetve a két magyar jezsuita (*Hell Miksa* és *Sajnovics János*) által 1769 júniusában az északi sarkkörön túlra vezetett Vénusz-megfigyelő expedíciójáról.

Mivel a planetáriumi előadások a Vénusz átvonulását megelőző napra estek, egyes előadások tudatosan a Vénusz bolygó átvonulásának megfigyelésére irányultak. Felhívták a hallgatóság figyelmét a jelenség legérdekesebb részére, a Vénusz belépésére és kilépésére, amikor különös fényjelenség is észlelhető (*Fizikai Szemle*, 2004/4). Az előadók kihangsúlyozták, hogy a megfigyelés elvileg szabad szemmel is lehetséges, de minden esetben nagyon fontos a megfelelő szűrők használata (pl. az 1999-es napfogyatkozásra vásárolt fogyatkozásnéző szemüveg). Távcsoves megfigyelés esetén megfelelően gőzölt üveget vagy fóliaszűrőt kell használni.

A tudományos előadások között *Kövi Szabolcs* csodálatos zenéjével, filmvetítéssel és látványelemekkel kápráztatta el a hallgatóságot. Éreztük, hogy a zene és a képek szorosan egymásba kapcsolódnak, szinte a művészet és a tudomány kapcsolatát szimbolizálják.

A előadás-sorozatot követően Kroó Norbert az ünnepélyes díjátadást bevezető beszédében a tudományos ismeretek fontosságának fölértékelődéséről és a megmérettetés fontosságáról beszélt, valamint érdekes gondolatokat fejtett ki a zene, a művészetek és a tudomány kapcsolatáról.

## Összegezés

A projekt nagy érdeklődést váltott ki, az eredetileg kitűzött célok, feladatok sikeresen megvalósultak. Országosan *több mint tízezer fő* (regisztrált) követte nyomon az eseményeket, figyelte meg a jelenséget (5. kép). Azoknak a számát, akik az internetes közvetítéseket nézték, nem tudjuk megbecsülni.

A projekt módszertani szempontból is sikeresnek bizonyult, hiszen a diákokat még a tanév utolsó hónapjaiban is sikerült mozgósítani. A projekt segítette a tanulókat motiválni, bevezetni a kutatómunka egyes rejtjelmeibe. A posztereken való közös munka során jártasságot szereztek a kooperációs és kommunikációs technikák alkalmazásában is. Az anyagok gyűjtése önálló munkát, tanulást, adaptációt, internetes kommunikációt, az információk nyomon követését igényelte. A gyűjtött anyagok egységes koncepció szerinti alkotásba (poszterbe) rendezésekor pedig közösen vitatták meg a látottakat és együtt vonták le a következtetéseket. A diákok visszajelzéséből idézve: „... nagyon élveztük a jelenséget, reméljük jövőre is lesz valamilyen projekt, pályázat.”

Úgy gondoljuk, hogy ez a projekt is megmutatta, hogy lépésről – lépésre, összefogva tehetünk valamint a fizikaoktatás színvonalának megtartásáért és javításáért, a tudományos érdeklődés növeléséért, valamint a természettudományos tárgyak népszerűsítéséért. „*Szükségünk lesz jó emberekre..., akik aktívan részt vesznek majd ennek az új világnak a kialakításában.*” (Easter Dyson, 1998)



Végezetül köszönjük az Eötvös Loránd Fizikai Társulatnak, a MCSE tagjainak, a Sulinet munkatársainak, a Planetárium dolgozóinak, valamint valamennyi támogatónak, résztvevőnek az együttműködését.

Irodalom – webcímek:

Easter Dyson (1998): *Életünk a digitális korban*, 2.0 ver., HVG Kiadó, Budapest

<http://venuszatvonulas.bme.hu>

<http://www.heavens-above.com>

<http://www.eso.org/outreach/eduoff/edu-prog/vt-2004/>

[http://www.mcse.hu/kepgaleria/200406\\_mcse-sulinet\\_palyazat/](http://www.mcse.hu/kepgaleria/200406_mcse-sulinet_palyazat/)



**jövönk**

**energiája**



**Paksi Atomerőmű Rt.**

[www.atomeromu.hu](http://www.atomeromu.hu)