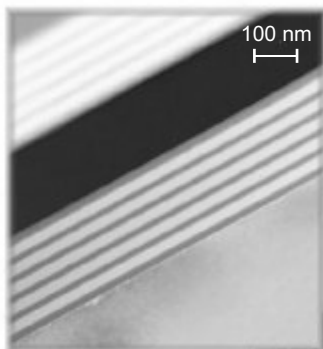
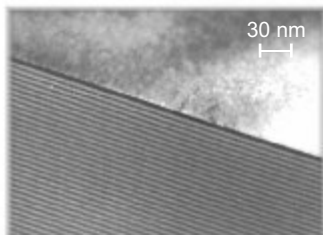


# fizikai szemle



2006/8

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

Főszerkesztő:

Németh Judit

Szerkesztőbizottság:

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

Szerkesztő:

Tóth Kálmán

Műszaki szerkesztő:

Kármán Tamás

A folyóirat e-mailcíme:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>

A címlapon:

Magnetronos porlasztó berendezés  
és a vele előállított Si-Ge multiréteg  
transzmissziós elektronmikroszkópos  
felvétele (Debreceni Egyetem,  
Szilárdtest Fizika Tanszék)

## TARTALOM

A Mössbauer-effektust felhasználó kutatások Magyarországon ( <i>Faigel Gyula</i> )	253
<i>Keszthelyi Lajos</i> : Emlékezés a Mössbauer-effektus hazai alkalmazásának első éveire	254
<i>Kovács Ferenc, Nádas György, Regöly Mérei János, Szebeni Ágnes</i> : Az ultrahang terápiás alkalmazásai	256
<i>Beke Dezső, Erdélyi Zoltán, Langer Gábor</i> : Keveredés nanoskálán	258
<i>Tél Tamás</i> : A Coriolis-erő és a modern környezetfizika: a lefolyótól a ciklonokig	263
<i>Toró Tibor</i> : Ettore Majorana (1906–1938)	267
<b>A FIZIKA TANÍTÁSA</b>	
<i>Légrádi Imre</i> : A Doppler-képletek egyszerű levezetése	268
Beszámoló a XVI. Öveges József Fizikaversenyről ( <i>Csákány Antalné, Jubász Nándor, Ósz György, Vida József</i> )	271
<i>Sükösd Csaba</i> : IX. Országos Szilárd Leó Tanulmányi Verseny	275
<b>NÉGYSZÖGLETES KERÉK</b>	281
<b>KÖNYVESPOLC</b>	282
<b>HÍREK – ESEMÉNYEK</b>	262, 283
<b>MINDENTUDÁS AZ ISKOLÁBAN</b>	
eScience ( <i>Csabai István, Papp Gábor</i> )	288
Current Hungarian research activities based on applying the Mössbauer-effect ( <i>J. Faigel</i> )	
<i>L. Keszthelyi</i> : Early applications of the Mössbauer-effect in Hungary	
<i>F. Kovács, G. Nádas, J. Regöly Mérei, Á. Szebeni</i> : Therapeutic applications of ultrasonic radiation	
<i>D. Beke, Z. Erdélyi, G. Langer</i> : Mixing processes at the nano level	
<i>T. Tél</i> : The Coriolis force and modern environment physics: sinks and cyclones	
<i>T. Toró</i> : Ettore Majorana (1906–1938)	
<b>TEACHING PHYSICS</b>	
<i>I. Légrádi</i> : A simple derivation of the Doppler formulae	
The XVI. "Öveges Physics Contest" ( <i>J. Lányi-Csákány, N. Jubász, G. Ósz, J. Vida</i> )	
Cs. <i>Sükösd</i> : The IX. Leo Szilard Competition for students	
<b>PROBLEMS, BOOKS, EVENTS</b>	
<b>SCIENCE IN BITS FOR THE SCHOOL</b>	
eScience ( <i>I. Csabai, G. Papp</i> )	
Laufende ungarische Forschungstätigkeit über Anwendungen des Mössbauer-Effekts ( <i>J. Faigel</i> )	
<i>L. Keszthelyi</i> : Die ersten Anwendungen des Mössbauer-Effekts in Ungarn	
<i>F. Kovács, G. Nádas, J. Regöly Mérei, Á. Szebeni</i> : Therapeutische Anwendungen der Ultraschallstrahlung	
<i>D. Beke, Z. Erdélyi, G. Langer</i> : Mischungsprozesse im Nanobereich	
<i>T. Tél</i> : Die Coriolis-Kraft in der modernen Umweltphysik: Abwasserströmungen und Wirbelstürme	
<i>T. Toró</i> : Ettore Majorana (1906–1938)	
<b>PHYSIKUNTERRICHT</b>	
<i>I. Légrádi</i> : Einfache Ableitung der Doppler-Formeln	
Der XVI. „Öveges-Wettbewerb in Physik“ ( <i>J. Lányi-Csákány, N. Jubász, G. Ósz, J. Vida</i> )	
Cs. <i>Sükösd</i> : Der IX. Leo-Szilard-Wettbewerb für Studenten	
<b>PROBLEME UND AUFGABEN, BÜCHER, EREIGNISSE</b>	
<b>WISSENSWERTES FÜR DIE SCHULE</b>	
e-Wissenschaft ( <i>I. Csabai, G. Papp</i> )	
Очередная венгерская деятельность по исследованию применений эффекта Мэссбауера ( <i>Д. Файгел</i> )	
<i>Л. Кэстгелли</i> : Первые применения эффекта Мэссбауера в Венгрии	
<i>Ф. Ковач, Г. Надаш, Я. Регэй-Мэрей, А. Себени</i> : Применение ультразвука в медицинской терапии	
<i>Д. Бэке, З. Эрдели, Г. Лангер</i> : Процессы смещения на уровне нанопизики	
<i>Т. Тэл</i> : Кориолисова сила в современной физике окружности: течение сбросных вод и вихревые ураганы	
<i>Т. Торо</i> : Этторе Майорана (1906–1938)	
<b>ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ</b>	
<i>И. Лэгрэди</i> : Простой вывод формул Допплера	
XVI. контест им. Й. Эвегеша по физике ( <i>Ю. Лани-Чакань, Н. Юзас, Г. Эс, Й. Видя</i> )	
<i>Ч. Шюкешд</i> : IX. Венгерский контест им. Силарда для учащихся	
<b>ПРОБЛЕМЫ И УПРАЖНЕНИЯ, КНИГИ, ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ</b>	
<b>НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ ДЛЯ ШКОЛ</b>	
e-Наука ( <i>И. Чабай, Г. Памп</i> )	

# Fizikai Szemle

## MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

LVI. évfolyam

8. szám

2006. augusztus

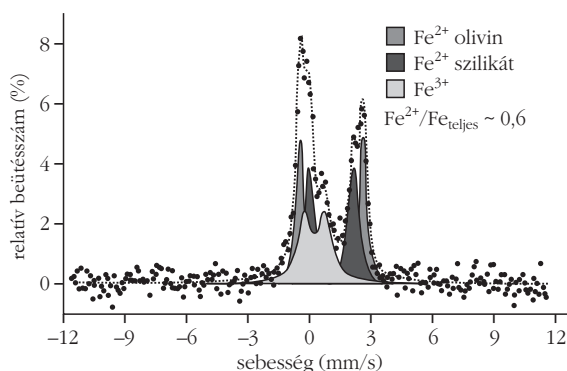
## A MÖSSBAUER-EFFEKTUST FELHASZNÁLÓ KUTATÁSOK MAGYARORSZÁGON

Bár a hétköznapi életben nem nagyon hallunk a Mössbauer-effektusról, illetve ennek alkalmazásairól, a tudományban és az ipar bizonyos területein ez egy jól bevált, széles körben alkalmazott technika. Egy olyan jelenségről van szó, amelyet felfedezése (1957) után igen rövid idővel Nobel-díjjal jutalmaztak (1961). Az e területen folyó munkához a magyar kutatók is nagyon hamar csatlakoztak, és jelentős eredményeket értek el. Úgy gondoljuk, hogy fontos és érdemes megismerni a hazai Mössbauer-kutatócsoportokat és munkájukat. A most következő kétrészes cikk e célt szolgálja. Felkértük a Mössbauer-technika hazai meghonosítóját, *Keszthelyi Lajost*, hogy írjon egy történeti összefoglalót, mintegy visszaemlékezve a kezdetekre. A második részben az általa elindított kutatások eredményeként létrejött négy csoportról írunk röviden.

Mivel a Mössbauer-effektuson alapuló anyagvizsgálat elég speciális, sokak számára talán nem ismertek a módszer alapjai. Ezért az említett két írás előtt röviden összefoglaljuk, mit is kell tudnunk róla. Az senki számára nem újdonság, hogy az atomok atommagból és elektronokból

álló összetett rendszerek. Az atommagok is összetett rendszerek, protonok és neutronok együtteséből épülnek fel. Az is ismert, hogy az elektronok a maghoz kötöttek. Ezt a kötést módosíthatjuk, ha az elektronokkal energiát közlünk, ekkor ezek magasabb energiaszintre (gerjesztett állapotba) kerülnek. Ez instabil állapot, ezért nem marad fenn sokáig, és az elektron visszatér az alacsonyabb energiájú állapotba (alapállapotba). E visszatérés-kor energiát ad le, általában elektromágneses sugárzás (fény, röntgensugárzás) formájában. Az már talán kevésbé ismert, hogy hasonló a helyzet az atommagok esetén is. Számos atommagot nagy energiájú elektromágneses sugárzással gerjeszthetünk, amelyek azután, például fotonok kibocsátásával, visszatérnek az alapállapotba. Azonban egy ilyen folyamat során teljesülnie kell az energia- és impulzusmegmaradásnak is. Ha ezt egy magában álló atommag esetén figyelembe vesszük (foton-atommag kétrészecske-rendszer), akkor kiderül, hogy az impulzusmegmaradás miatt a visszalökődő mag jelentős energiát visz el. Így a mag a magnívók közötti gerjesztési energiáktól lényegesen eltérő energiájú foton bocsát ki vagy nyel el. *Rudolf Mössbauer* felismerése az volt, hogy ha a mag egy szilárd testben van, akkor létezhet olyan átmenet, amelynél energiaeltolódás nincs. Ilyenkor, szaknyelven, visszalökődésmentes abszorpcióról vagy emisszióról beszélünk. Miért jó ez? Ez lehetővé teszi, hogy a mag energianívói közötti különbségeket nagy pontossággal meg tudjuk mérni. Ezek a különbségek viszont függenek a mag és az azt körülvevő elektronok kölcsönhatásától. Szilárd testekben az elektronfelhő különböző lokális környezetben különböző módon deformálódik (pl. a vas vegyértékállapotától függően a  $\text{Fe}^{2+}$  és  $\text{Fe}^{3+}$  ionok, vagy az olyan vasatomok, amelyek köbös, illetve aszimmetrikus lokális környezetben helyezkednek el megkülönböztethető Mössbauer-effektus segítségével stb.) Ez adja a Mössbauer-effektus széleskörű felhasználhatóságát anyagvizsgálatban.

Az első, a Mars felszínén felvett Mössbauer-spektrum – Mars-rover, 2004. január 17., Guszev-kráter. (Olivin: magnézium-vas-ortoszilikát ásványban gazdag,  $\text{SiO}_2$ -ban viszonylag szegény magmás kőzet.



# EMLÉKEZÉS A MÖSSBAUER-EFFEKTUS HAZAI ALKALMAZÁSÁNAK ELSŐ ÉVEIRE

Keszthelyi Lajos

MTA Szegedi Biológiai Központ, Biofizikai Intézet

Az 1958–60-as években fejlődésnek indult a tudományos élet Magyarországon, azonban még mindig éreztük az 1956-os forradalom leverésének következményeit. A Központi Fizikai Kutató Intézetben (KFKI) rendelkezésünkre állt egy 1 MeV energiájú gyorsító és egy atomreaktor. Magfizikai jellegű kutatásokat végeztünk, az eredményeket publikáltuk, de a nyugati országokban élő kollégákkal fenntartott személyes kapcsolataink ellehetetlenültek. A friss szakmai információk hiányát a szakirodalom gondos követésével igyekeztünk pótolni. Nagy szerencse, hogy a szakmai jellegű folyóiratok korlátozás nélkül érkeztek meg. Így találtam rá *Rudolf Mössbauer* ma már széles körben ismert cikkére, amely rendkívüli izgalommal töltött el. Ez az izgalom tovább fokozódott, amikor elolvastam *Pound* és *Rebka* közleményét a  $^{57}\text{Fe}$  mag Mössbauer-effektusáról. Könnyű volt átlátni, hogy a  $^{57}\text{Fe}$  mag Mössbauer-effektusa rendkívül széleskörűen alkalmazható a fizikai, a kémiai stb. kutatások terén. Világossá vált előttem, hogy a Mössbauer-effektus a „szegény emberek fizikája” lehet, kiváló eszköz olyan időszakokban is, amikor a kutatásokhoz szegényes anyagi körülmények léteznek csak. Írtam egy levelet Rudolf Mössbauernek arról, hogy miben látom az új effektussal kapcsolatos kutatások jövőjét. Válaszában Mössbauer mindenben megerősítette elképzeléseimet.

Nyilvánvaló volt, hogy a  $^{57}\text{Fe}$  mag Mössbauer-effektusának alkalmazását fel kell vennünk laboratóriumunk kutatási programjába. Felmerült azonban két probléma. Az első: hogyan helyezzük el a forrást vagy az abszorbenst egy rezgésmentes helyre, mert egyiket a másikhoz képest olyan kis sebességgel kell mozgatni, amelyet a legkisebb zavaró mozgás is befolyásol. Azt gondoltam, ez könnyű lesz, hiszen nagyon jó technikusaink voltak. Az elkövetkezendő években megértettem, hogy ez távolról sem olyan egyszerű feladat. A másik nehézséget az jelentette, hogy a mérésekhez szükséges  $^{57}\text{Co}$  izotópot, amelynek a sugárzásából kell a  $^{57}\text{Fe}$ -t besugározni, egy „kapitalista” országból voltunk kénytelenek beszerezni, mivel a mi gyorsítónk és reaktorunk nem volt alkalmas ennek előállítására. A beszerzés lehetetlennek tűnt. Ennek ellenére megrendeltük az izotópot, és láss csodát, 1960 októberében meg is kaptuk.

*Dézi István* ekkor került az intézetünkbe nukleáris vegyészként és csatlakozni kívánt a programhoz. A technikusaink gyártottak számunkra egy speciálisan megmunkált forgó tengelyt, amellyel egy adott irányban mozgathattuk a forrást egy bizonyos sebességgel. A radioaktív izotópot *Dézi István* vas fóliába diffundáltatta, amelyet aztán a mozgatóra rögzítettünk. Ma is emlékszem arra a ködös novemberi estére, amikor *Dézsi*vel elkezdtük mérni a vas fólián áthatoló gamma-kvantumok számát, miközben lépésről-lépésre változtattuk a mozgó korong forgásának a frekvenciáját, vagyis a ráerősített forrás mozgásának sebességét (mm/s sebességek kellettek). Rendkívül boldogok lettünk, mikor láttuk, hogy sikerült reprodukálnunk az

irodalomból már ismert eredményeket. A boldogságunk december 5-én tetőzött, amikor az egész mérőberendezést átszállítottuk az Eötvös Loránd Fizikai Társulat szokásos hétfő esti ülésére és ott bemutattuk a  $^{57}\text{Fe}$  mag Mössbauer-effektusát a fizikus közösségnek. (Csupán a körülmények érzékeltetése végett megemlítem, hogy a magyar titkosrendőrség egyik fedőnévvel rendelkező ügynöke jelentést írt az eseményről, miszerint előadást tartottam a fizikusok klubjában a ... effektusról. Ezt 2003-ban tudtam meg, amikor kézhez kaptam a tevékenységemről titkosszolgálati eszközökkel korábban gyűjtött információkat. Innen tudom a pontos dátumot.) 1961-ben megjelent egy magyar nyelvű közleményem, amelyben bemutattam a Mössbauer-effektust és az alkalmazásában rejlő lehetőségeket [1].

Az eufórikus hangulat múltán folytatnunk kellett munkánkat, immár a valódi kutatások irányába. A forgó tengely nem volt igazán jól használható megoldás, ezért megkértük mérnökeinket, hogy építsenek számunkra egy olyan, olajnyomással működtethető berendezést, amely negatív és pozitív sebességek előállítására egyaránt alkalmas. Elkészült, de mindenütt folyt belőle az olaj. Ennek ellenére dolgoztunk vele, és magyar nyelven közzé is tettünk néhány nem különösen érdekes eredményt [2].

Az első igazán figyelemre méltó publikációnk egy olyan közlemény volt, amelyet a  $^{159}\text{Tb}$  mag Mössbauer-effektusáról írtunk. Az előzetes mérések eredményeiről a Dubnában rendezett Mössbauer-konferencián számoltunk be. A részletes eredményeinket tartalmazó cikk 1966-ban jelent meg. A KFKI mérnökei tehetségének köszönhetően ekkorra már rendelkezésünkre állt egy „modern” Mössbauer-berendezés. Ennek két fő egysége egy hangszóróból kialakított mozgó volt, amelynek tekerésére a forrást rögzítettük, illetve egy sokcsatornás analízátor, amely az adatgyűjtést végezte. Mindent, beleértve a sokcsatornás analízátort is, a saját műhelyünkben gyártottak. Az első berendezés 1964 elején készült el, amelyet később termékké fejlesztettek, és Magyarországon, valamint külföldön is, például Egyiptomban, értékesítettek.

Közel négy év kellett ahhoz, hogy a kísérleti körülmények tekintetében kielégítő szintet érjünk el. Az első igazán érdekes vizsgálatok 1964-ben történtek *Dézi István* javaslati nyomán, amikor lefagyasztott vas oldatok Mössbauer-spektrumait mértük. Az eredmények meglepőek és előremutatóak voltak, akkori publikációink egy egész alfejezet kialakulását alapozták meg a Mössbauer-effektus alkalmazásai terén.

A „szegény emberek fizikája” sok kiváló embert vonzott a csoportunkba: *Cser László*, *Nagy Dénes Lajos* és *Vincze Imre* voltak az elsők, akik csatlakoztak hozzánk. Az Eötvös Loránd Tudományegyetemen szintén elkezdődtek a kutatások, ahol *Korecz László*, *Vértes Attila* és *Burger Kálmán* foglalkoztak Mössbauer-spektroszkópiával. Hosszú időre fogadtunk vendégkutatókat Kelet-Németországból (*Werner Meisel*, *Klaus Fröblich*), Lengyel-



országból (*Dominik Kulgawczuk, Jozef Bara*), Egyiptomból (*Nabil Eissa, Ahmed Sanad*) és sok más helyről is. Tevékenységünk nemzetközi elismertséget is hozott számunkra: felkértek minket, hogy szervezzük meg az 1969-es Nemzetközi Mössbauer Konferenciát.

Az én személyes kutatói tevékenységem 1973-ban más utat vett, amikor elfogadtam egy felkínált állást az MTA Szegedi Biológiai Központ Biofizikai Intézetében. Az a téma, amellyel először foglalkoztam a biofizikai kutatások terén – a biomolekulák homokiralitása eredetének vizsgálata – nem állt távol az én fizikusi beállítottságomtól. A biomolekulák homokiralitása azt jelenti, hogy minden élőlény tartalmaz L-aminosavakat és D-cukrokat, annak ellenére, hogy szintetikus előállítás során ezek egyenlő arányban keletkeznek. Az aszimmetria eredetének felderítésére vonatkozó egyik elképzelésünk azon az ötleten alapult, hogy a béta-részecskék által keltett cirkulárisan polarizált fékezési sugárzás szétrombolhatja a D-aminosavakat. Vincze Imrével azt gondoltuk ki, hogy a feltételezésünk ellenőrizhető a  $^{57}\text{Fe}$  mag mágnesesen felhasadt spektrumában megfigyelhető cirkulárisan polarizált vonalak segítségével. Azt találtuk, hogy az L- és D-aminosavak 14 keV-os gamma-sugárzásra vonatkozó abszorpciójának relatív különbsége kisebb, mint  $10^{-4}$ .

A fizika fejlődésével a Mössbauer-effektus más fontos alkalmazására is nyílt lehetőség. Kiderült, hogy a semleges gyenge áram miatt energiakülönbség van az L- és D-molekulák között. Az elméletileg számított különbség nagyon kicsi, azonban az aszimmetriacentrumban levő atom rendszámának a hatodik hatványa szerint növekszik.

Arra gondoltam, hogy a Mössbauer-effektus rendkívül nagy felbontóképessége következtében rendelkezésünkre áll egy olyan módszer, amellyel ellenőrizhető kísérletileg ez az alapvető elméleti állítás. Burger Kálmán és Vértes Attila segítettek megszervezni azt, hogy L- és D- Ir-komplexeket kapjunk Dániából (*F. Galsbol* és *B. Rasmussen*) és azt, hogy mérési lehetőséget kapjunk Németországban (*F. Wagner*). Feltételeztük, hogy az izomér eltolódásértékek eltérése jelezni fogja a két komplex közötti energiakülönbséget. A mérések eredményeként felső határértéket tudtunk megállapítani: az izomér eltolódások különbsége biztosan kisebb, mint az elméletileg számolt érték  $3,8 \cdot 10^2$ -szorososa. Mostanában mutattam rá, hogy ha egyáltalán mérhető ez a különbség, akkor annak kimutatása leginkább a  $^{181}\text{Ta}$  mag vizsgálatával érhető el.

A két utolsó bekezdésben írtak nem tartoznak a Mössbauer-effektus hazai alkalmazásának első éveire. Csupán azt bemutatandó tettem róluk említést, hogy amit a Mössbauer-effektus területén tanultam, az megjelent a gondolkodásomban, és segített olyankor is, amikor más jellegű problémákkal találkoztam. Így a korai évek lelkesedése visszatér még ma is – érzem a munkám során, és érzik tevékenységünkben mindazok, akik a nagy létszámú magyar Mössbauer közösség tagjainak vallhatják magukat.

#### Irodalom:

1. KESZTHELYI L.: *Mössbauer-effektus és alkalmazásai* – Magyar Fizikai Folyóirat 9 (1961) 2891
2. DEMETER I., DÉZSI I., KESZTHELYI L.: *Mérések a Mössbauer-effektus segítségével* – KFKI Közlemények, 10 (1962) 21

*Keszthelyi Lajos írásában olvashattuk, hogy a kezdeti lépések után több kutatóhelyen is elkezdtek Mössbauer-effektust alkalmazó kísérletekkel foglalkozni. Négy csoport alakult ki, amelyek ma is működnek. A következőkben röviden körvonalazzuk e csoportok fő kutatási területeit. Természetesen egy ilyen rövid írásban még címszavakban sem mondható el több mint 40 év minden eredménye, ezért csak a legfontosabb irányokat jelezzük. A csoportokat a megalakulásuk időbeli sorrendjét követve említjük.*

A négy csoport különböző anyagcsaládok és jelenség-csoportok vizsgálatára specializálódott:

Az MTA KFKI Részecske és Magfizikai Kutatóintézetben a jelenleg Dézsi István és Nagy Dénes Lajos által vezetett, most 13 tagú csoport folytatta a legszerteágazóbb kutatást. A munka sokirányúságára jellemző, hogy nemcsak a leggyakrabban használt  $^{57}\text{Fe}$  mag átmeneteit felhasználva mértek, hanem  $^{159}\text{Tb}$ ,  $^{161}\text{Dy}$ ,  $^{191}\text{Am}$ ,  $^{125}\text{Te}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{133}\text{Cs}$ ,  $^{119}\text{Sn}$  magokéit is. Az általuk vizsgált anyagcsaládok között a legjelentősebbek: a szilárd oldatok (pl.  $\text{Fe}(\text{ClO}_4)_2$ ), ionimplantált rendszerek (pl.  $\text{Co/Si}$ ,  $\text{Te/Si}$ ,  $\text{LiNbO}_3$ ) és a magas-hőmérsékletű szupravezetők ( $\text{Co:YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ). Az utóbbi tíz évben a csoport érdeklődése a vékonyréteg rendszerek felé fordult, a néhány atom vastagságú rétegek kialakulását és mágneses doménszerkezetét tanulmányozzák. Vizsgálataikban a szinkrotron sugárforrásoknál kifejlesztett Mössbauer-reflektometriát is felhasználják.

A következő az 1967-ben az ELTE Kémia Tanszékén alapított – először Vértes Attila, jelenleg *Homonnay Zoltán*

*tán* vezetésével dolgozó – 11 tagú csoport. Kutatásaik elsősorban kémiai indíttatásúak. Foglalkoztak oldatok szerkezetének vizsgálatával, koordinációs és elektrokémiai problémákkal. Legújabb kutatásaik pedig alumínium-ötvözetek, amorf rendszerek, szupravezetők és kolosszális mágneses ellenállást mutató anyagok tulajdonságainak megértésére koncentrálnak.

A harmadik az MTA Szilárdtestfizikai és Optikai Kutató Intézetében 1970-ben Cser László, majd Vincze Imre vezetésével alakult 9 tagú csoport. Kutatási témáik közül kiemelendők: vasalapú híg ötvözetek, nagykoncentrációjú, többkomponensű ötvözetek vizsgálata, fémüvegek atomi és mágneses szerkezetének tanulmányozása. Újabb kutatási területük a különböző módokon (mechanikus őrléssel, amorf anyag részleges kristályosításával, párologtatással) előállított nanoszerkezetű anyagok (Fe, Fe–B, Fe–Zr–B, Fe–Al, Fe–Ag) határréteg szerkezetének és méretfüggő mágneses tulajdonságainak vizsgálata. E mellett a csoport egyik része – *Fai Gyula* vezetésével – úttörő munkát végzett a szinkrotron sugárforrásoknál lévő nukleáris rezonanciaszóráson alapuló kísérletek kifejlesztésében.

A negyedik az 1979-ben, az MTA Izotópkutató Intézetben *Guczi László*, majd *Lázár Károly* vezette 4 fős csoport. Fő kutatási területük a katalízis *in situ* tanulmányozása Mössbauer-spektroszkópia segítségével. Témáik között szerepel a két-fémes katalízis, a zeolittal kapcsolatos kutatások és mezoporózus rendszerek vizsgálata.

*Fai Gyula*

# AZ ULTRAHANG TERÁPIÁS ALKALMAZÁSAI

Kovács Ferenc, BM Központi Kórház és Intézményei, Reumatológiai Osztály

Nádas György, Budapest Kapás utcai Rendelőintézet, Urológia

Regöly Mérei János, SOTE ÁOK II. Sebészeti Tanszék

Szebeni Ágnes, BM Központi Kórház és Intézményei, Budakeszi úti Ultrahang Laboratórium

Az ultrahang terápiás alkalmazása kezdetben a reumatológiára szorítkozott, ma is kiterjedten alkalmazzák erre a célra. Újabban számos további alkalmazási terület nyílt meg a terápia számára, például széles körben alkalmazzák az urológiában, a sebészetben és az onkológiában. Folyamatban van e mellett új utak keresése is.

## Ultrahang-terápia a reumatológiában

Az ultrahang terápiás alkalmazásának úttörője *Poblmann* német orvos volt (1939), de a fizioterápia és rehabilitáció területén elterjedése igazán csak az 1950-es évek közepén kezdődött (*Jerome Gersten* – University of Colorado – kezelt sokizületi gyulladásban szenvedő beteget), majd mind népszerűbbé vált, és napjainkra az egyik leggyakrabban alkalmazott eljárás lett.

A gyógyászatban az ultrahang mechanikus, termikus és kémiai hatásával számolhatunk. Az ultrahang a mechanikus rezgések révén mikromasszázs-hatást vált ki, termikus hatása következtében a szöveteket és határretegeket felmelegíti (a csontot a legkevésbé, a zsírszövetet a leginkább), kémiai hatása oxidációban, depolimerizációban és alkalózist kiváltó hatásban nyilvánul meg. Mindezek eredményeként izomlazító, fájdalomcsillapító és értágító hatását használhatjuk ki.

A kezelést végezhetjük testfelszínen és víz alatt (utóbbi különösen kisméretű, egyenetlen felület kezelése, illetve kontraktúrák oldása esetén alkalmazzuk), de segítségével különböző hatóanyagokat (gyógyszereket) is bejuttathatunk a kezelni kívánt területbe (ez az ún. sonoforézis).

A kezelés legfőbb javallatát a kopásos izületi betegségek (arthrosis) képezik, e mellett izomrándulás és -fájdalom, sportsérülések, a nyáktömlők, íntapadások és ínhüvelyek elváltozásainál (vagyis az ún. lágyrészreumatizmus esetei-

ben), csontkinövéseknél, inak zsugorodásánál (kontraktúránál), kifejezett izomspasmussal járó állapotokban (mint pl. a Bechterew-kór) használhatjuk eredményesen.

Meg kell jegyezni, hogy az ultrahang (a többi elektrohydroterápiához hasonlóan) nem megfelelő indikációval történő alkalmazás esetén a beteg állapotát ronthatja, ezért például akut gyulladás fennállásakor első lépcsőben nem alkalmazzuk.

A kezelés kontraindikációi: lázas állapot, nem beállított magas vérnyomás, súlyos keringési elégtelenség, terhesség, vérzés vagy vérzéshajlam, szívritmusszabályzó, rosszfunkcionáló daganat (onkológus véleménye szükséges ilyenkor).

## Ultrahang-terápia az urológiában

Tágabb értelemben az ultrahang terápiás alkalmazása kétirányú. Egyrészt úgynevezett intervenciós módszerként, másrészt a magas energiájú hullámok közvetlen szövetroncsoló hatásával gyógyító eljárásként.

Az *intervenciós ultrahang-metódika* úgynevezett minimálisan invazív beavatkozások, például testüregbe történő beszúrás, folyadékgyülem leszívása, tályog megszúrása és tartalmának lebocsátása, valamint speciális besugárzás-technika, szöveti destrukciós eljárás stb. céljából alkalmazott eljárás. Az intervenciós radiológia mintájára fejlődött ki, melyről már bebizonyosodott, hogy a nyílt műtétnél kevesebb kockázattal és fájdalommal jár, a beteg gyorsabb gyógyulásához vezet. A vese, hólyag és prosztata betegségeiben ultrahang-vezérléssel (kiegészítő röntgen-képerősítéssel vagy anélkül) alkalmazott terápiás beavatkozások mindennaposá váltak az urológiai gyakorlatban.

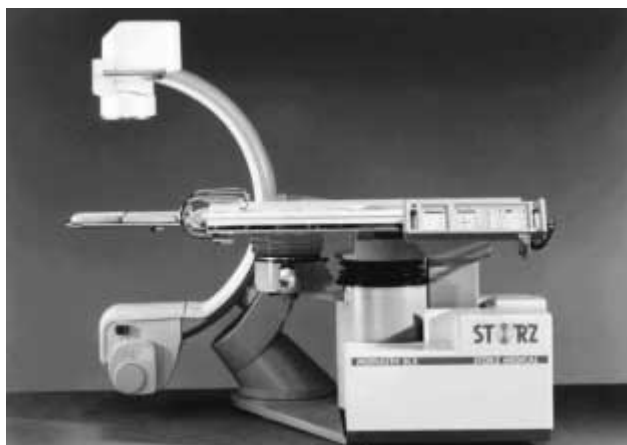
Az intraoperatív ultrahangeljárás a csökkent invazivitású beavatkozások elterjedése, és ennek következtében a nyílt veseörműtétek eltűnése miatt, mint módszer – korallkövek, illetve többszörös vesekövek műtét alatti pontos detektálása – elsorvadt.

Az *ultrahang közvetlen terápiás felhasználása* a nagyfrekvenciás tartományban valósul meg. Segítségével vesekövek zúzása, illetve szövetdestrukció létrehozása vált lehetségessé. A vesekőkezelésben két különböző típusú beavatkozásban nyert alkalmazást az ultrahang, egyéb energiaforrások mellett.

A *bőrön keresztül történő műtét* során az endoszkóppal a vese üregrendszerében megközelített és optikusan azonosított követ – a műszerbe bevezetett ultrahang-zúzószondát a kőhöz érintve – külső ultrahang-generátor által keltett rezgéssel összetörik, majd a törmelékelt eltávolítják.

A másik új közúzó módszer az *extrakorporális lökéshullám közúzás* (ESWL). Ennek az eljárásnak az a fizikai alapja, hogy a lökéshullám, mely folyadékban (illetve lágyrész szövetekben) akadálytalanul terjed, két eltérő

Extrakorporális lökéshullám (ESWL) közúzó berendezés.



halmazállapotú anyag – kő és lágyszövet – határán súlyos destruktívot okoz. Kezelésenként több ezer lökéshullám, röntgen- vagy ultrahangvezérléssel a kőre fókuszálva, alkalmas lehet a kő felaprításához.

Az ultrahang-technológia egyik legújabb állomása a *magas intenzitású, fókuszált ultrahang* (HIFU) kifejlesztése és alkalmazása az urológiában. Amint a hullám behatol és rohamosan elnyelődik a szövetben, energiája hővé alakul. A diagnosztikus ultrahangterületen is termelődik elenyésző mennyiségben hő, a terápiás rendszerben azonban ez megsokszorozódik a magas intenzitású fókuszált nyalábban. Az 1990-es évek első felében már több tudományos értékelés jelent meg a módszerrel szerzett tapasztalatokról elsősorban prosztatagyulladás kezelésében. Nem sokat késett a prosztaták terápiajában való felhasználás sem. 4 MHz frekvenciájú, fókuszált ultrahangnyalábot előállító, a végbélen keresztül bevezetett ultrahangsugárgóval – a fókuszban 80–95 °C hőmérsékleten – hoztak létre koagulációs nekrozist, vagyis szöveti elhalást. A hosszú távú elemzés még tart, az eljárás technikai finomítása hasonlóképpen. Két új technológiát ötvöz a HIFU alkalmazása vesedaganatok laparoszkópos kezelése során. További kiterjedt klinikai tanulmányok szükségesek egyéb urológiai szervek (húgyhólyag, külső nemi szervek) daganatainak HIFU-kezelésére vonatkozóan.

## Ultrahang-terápia a sebészetben

### Diagnosztikus frekvenciatartományban

Az ultrahang segítségével három dimenzióban lokalizálható a kóros elváltozás, amelynek megközelítése valamely terápiás beavatkozás során (pl. biopszia, drenázs stb.) a szonográfia segítségével folyamatosan nyomon követhető és irányítható. A bőrön keresztül történő beavatkozások vezérlésének minden szakterületen speciális javallatai vannak. Az ultrahangvezérléssel végzett terápiás beavatkozások előnyei és hátrányai:

#### *Előnyök*

- Nem statikus, folyamatosan figyelhető a beavatkozás.
- Nincs ionizáló sugárzás-expozíció.
- Nem kell kontrasztanyag.
- Gyors, korlátlan számban ismételhető.

#### *Hátrányok*

- Csont- és levegővisszhangok zavarják.
- Posztoperatív állapotban applikációs nehézségek léphetnek fel.

### Nem diagnosztikus frekvencia terápiás alkalmazásai

#### *CUSA – Kavitációs ultrahangos aspirátor (Cavital ultrasonic aspirator)*

Szervek, lágyszövetek műtéti preparációjára, a szövetsérülések és a vérzés veszélyének csökkentésére alkalmas. 23 000 Hz-en működik. Hatása a kavitáción alapul, melyet a szűk üreges csúcs vibrációs aktivitása okoz. A szövetek összenyomódása és kinyúlása összetöri a sejteket. A magas víztartalmú szöveteket pusztítja, viszont megkíméli az idegeket, ereket és a kollagéngazdag szöveteket. (Kollagéngazdag szövetek zúzásához jóval magasabb energia kell.)

#### *Ultrahanggal aktivált szike*

Műtéti preparálásra, a vérzés veszélyének csökkentésére alkalmazzák. 55 000 Hz-en működik, vágás és alvadás történik. Az ultrahang mechanikusan denaturálja a fehérjéket (az elektrokoaguláció, illetve a lézer hővel), mivel bontja a hidrogénkötéseket és szétöri a fehérje harmadlagos struktúráját. Szemben az elektrokoagulációval a kés önmagát „tisztítja”, nem ragad a szövetekhez, ami az újravérzés gyakori oka. Azonnali vérzéscsillapítás történik, nincs füst, jobb a látási viszonyok, nincs termikus károsodás.

#### *Akusztikus kés*

Nagy intenzitású fókuszált ultrahang (HIFU). A szövetek izolált roncsolása a testen belül olyan módon történik, hogy a közbeeső szöveteket nem károsítja. Alkalmazási területek: májtumor, vesetumor stb. (a pontos indikációk még tisztázandók, részben állatkísérletes megfigyelések alapján).

#### *ESWL (extrakorporális lökéshullám-kezelés)*

Az extrakorporális lökéshullám-kezelést az epeköveség gyógyítására 1985-ben vezették be. A világon 1990-ig körülbelül 25 000, 1993-ig pedig körülbelül 40 000 beteg alkalmazták, hazánkban is meghaladja az ezret a kezelték száma.

Az eljárás lényege, hogy a követ (köveket) radiológiai vagy ultrahangkontrollal, nagy energiájú lökéshullámok fókuszában helyezik el, melynek hatására azok fragmentálódnak. A törmelékek feloldódását tartós perorális gyógyszeres kőoldással segítik, hiszen a kiürülés feltétele az epevezeték átjárhatósága. Az alkalmazott energiaforrás lehet elektromagnetikus, piezoelektromos, elektrohidraulikus. A terápiás fókuszban a nyomás maximum 400–1200 bar. A kő jellege és a lökéshullám energiataralmának függvényében általában 1000–10 000 lökéshullám szükséges az ideális 3 mm-es fragmentumok eléréséhez. Ez ülésenként maximum 3000 lökéshullámot jelent, és általában 1–5 kezelés esetén érhető el. A különböző energiaforrások eltérnek az alkalmazott energiaszintben. Magas energia alkalmazásakor szédülés, illetve analgészia szükséges, alacsonyabb energiataromány nem igényel fájdalomcsillapítást.

Az ESWL igen nagy jelentőségű a nagy epeúti kövek kezelésében, illetve sikertelen endoszkópos szfinkterotómia (EST) után. Az 1,5 cm alatti epeúti kövek EST után rendszerint spontán eltávoznak, és 90% feletti sikerrel számolhatunk. A kő beékelődésének gyakorisága körülbelül 2%.

### Az ultrahang-terápia kísérleti stádiumban lévő új útjai

#### *Ultrahang-kontrasztanyagok alkalmazása terápiás célra*

Az ultrahang-kontrasztanyagok stabilizált, 3–5 µm méretű gázbuborékokat tartalmazó folyadékok. Ezek a véráramba jutva nagymértékben növelik a visszaszórt ultrahangintenzitást és ezáltal a jelamplitúdót. Minél nagyobbak a buborékok, annál inkább növekszik a visszaszórás intenzitása. A buborékok növelésének azonban határa van.

A kontrasztanyagok fejlesztése és klinikai vizsgálata a kutatások állandó témája. Ígéretesnek tűnik a szövetspe-

cifikus kontrasztanyagok bevezetése, illetve a buborékok célszervbe jutásakor azok nagy intenzitással történő szét-pukkasztása (flush). A kontrasztanyagokhoz terapeutikumokat kapcsolva, az utóbbiak is lokálisan célbajuttathatók. Ez lehetővé teszi egyes nagyhatású gyógyszerek (citosztatikumok, fájdalomcsillapítók, antibiotikumok stb.) terápiás adagjának növelését anélkül, hogy az általános mellékhatások kockázatát növelnénk.

*Magas intenzitású fókuszált ultrahang (HIFU) újabb terápiás módszerei*

A HIFU eddigi alkalmazásairól a fentiekben már történt említés. Újabbban a HIFU-t szélesebb körben próbál-

ják alkalmazni tumorok roncsolására, mivel technikailag lehetővé vált, hogy célzottan juttassák be a szervezetbe a fókuszált nyalábot a közbelső szövetek károsítása nélkül (UH-, CT- vagy MR-vezérléssel), és a hőmérséklet emelkedése is közvetlenül ellenőrizhetővé vált. Ezáltal a beavatkozás időtartama lényegesen lerövidíthető és biztonságosabbá tehető. Ígéretesek még a koponyán belüli és a genetikával kapcsolatos alkalmazások is.

Az elmondottakból látható, hogy az ultrahang terápiás alkalmazása egyre sokrétűbbé válik, s nemcsak a fizioterápiában, hanem számos más területen is eredményesen alkalmazható. Az újabb kutatások pedig további ígéretes perspektívát nyújthatnak a jövő klinikusai számára.

## KEVEREDÉS NANOSKÁLÁN

Beke Dezső, Erdélyi Zoltán, Langer Gábor  
Debreceni Egyetem, Szilárdtest Fizika Tanszék

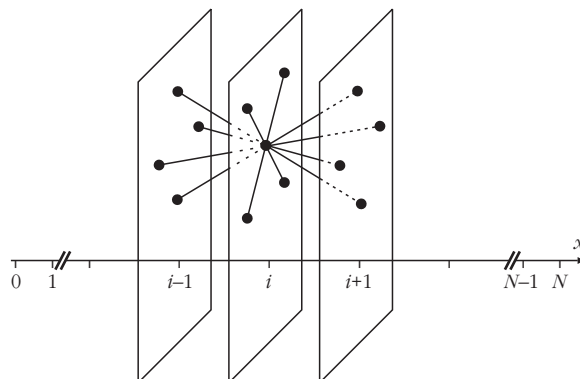
Közismert jelenség, hogy ha egy anyag koncentrációja nem egyenletes, akkor keveredés indul meg (például a vízbe cseppentett tinta gyorsan eloszlik, „szétdiffundál”). A diffúzió alapegyenletét 151 évvel ezelőtt Fick írta fel először, amely szerint az atomi áramsűrűség (felületegységen időegység alatt áthaladó atomok száma) a következő módon adható meg:

$$\mathbf{j}_D = -D \nabla \rho, \quad (1)$$

ahol  $\rho$  a koncentráció (a térfogategységbe eső atomok száma),  $D$  a diffúziós együttható és a negatív előjel arra utal, hogy az áram „hegyről lefelé” folyik, azaz csökkenteni igyekszik a koncentrációkülönbséget. Az egyenlet elméleti megalapozása fenomenologikusan a (lineáris) termodinamika második főtételeinek azon megfogalmazásából tehető meg, amely szerint az extenzív mennyiségek áramai a megfelelő intenzív mennyiségek gradienseivel arányosak [1]. A gradiens lényegében az intenzív mennyiség (anyagáram esetén ez a kémiai potenciál, amelynek koncentrációfüggéséből származtatható az (1) egyenlet) nem egyenletes eloszlásának matematikai kifejezése: minél nagyobb a koncentrációkülönbség adott távolságon, annál nagyobb a gradiens, és így annál gyorsabb a diffúzió. A diffúziós együttható hőmérséklet- és nyomásfüggő, és ötvözetekben függhet az összetételtől is. A diffúziós együttható függése az összetételtől egy  $A$  és egy  $B$  anyag kontaktusba hozásával kialakított diffúziós pár esetén, például, azt eredményezi, hogy az  $A$  atom diffúziós együtthatójának értéke más az  $A$  és a  $B$  anyagban (ugyanaz igaz egy  $B$  atomra is). Éppen ezért  $D$  függését a koncentrációtól diffúziós aszimmetriának is nevezhetjük.

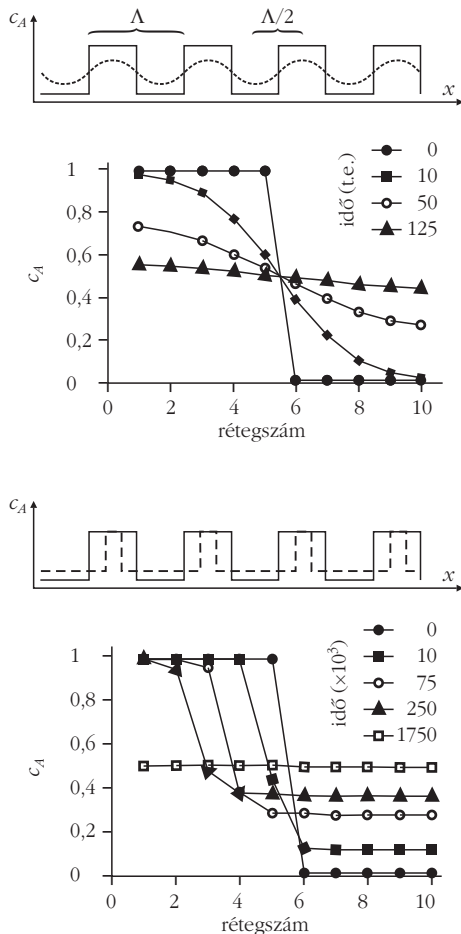
A keveredési folyamat mélyebb megértéséhez statisztikus fizikai megfontolásokból lehet eljutni, amelyek  $D$  jelentését is megvilágítják. Az 1. ábrán látható egyszerű kétalkotós ( $A$  és  $B$  atomokat tartalmazó) kristályos (diszkrét) modellben például az  $A$  atomok két szomszédos rácssík között folyó áramát úgy lehet elképzelni, hogy az  $A$  és  $B$  atomok kicserélődéseit eredményező atomi ugrások következménye. Ha például az  $i$ -edik síkról időegységenként több  $A$  atom ugrik az  $i-1$ -edik és az  $i+1$ -edik síkra, mint azokról vissza, akkor az  $i$ -edik síkra/ról áram folyik, és az  $i$ -edik sík koncentrációja időben változik. Az áram matematikai kifejezésében a kicserélődési frekvenciáknak, illetve az  $A$  és  $B$  atomok síkokon vett koncentrációinak a megfelelő kombinációi jelennek meg. Ebben a *diszkrét* modellben a koncentrációk csak az atomi síkokon vannak értelmezve: ahhoz, hogy az (1) egyenlethez eljussunk, fel kell tételezni egy folytonos összetétel-változást. Ezt sorba fejtve és az első deriváltnál megállva kaphatjuk (1)-et. Ebből az adódik, hogy  $D$  arányos a kicserélődési frekvencia és a síkok közötti távolság négyzetének szorzatával. Rövid diffúziós időknél (1) várhatóan nem helyes [2], ugyanis belátható, hogy az egy linearizálás eredménye, és szigorúan csak akkor érvé-

1. ábra. Egyszerű egydimenziós kicserélődési modell: az  $i$ -edik síkon a relatív koncentráció ( $c_i$ ) azért változik, mert az  $i+1$ -edik, illetve  $i-1$ -edik síkokon lévő atomokkal helycserék történnek.



A Szilárdtest Fizika Tanszéken folyó kutatásokat számos OTKA, FKFP, NKFP és nemzetközi (EU-s és kétoldali TÉT) pályázat keretében elnyert források támogatták és támogatják. A T038125, T043464, T061253, T067969, F043372 OTKA, 3/064/2001 NKFP és az FKFP-0325/2000 támogatásoknak mondunk köszönetet. Erdélyi Zoltán köszöni a Bolyai János ösztöndíj által nyújtott támogatást.





2. ábra. Az összetétel változása a hőkezelés során  $\Lambda$  modulációs hosszúságú,  $A-B$  multirétegben. A felsőbb ábrák sematikusan mutatják a változást, míg az alsóbb ábrákon a diszkrét modell segítségével számított összetétel-eloszlások láthatók (egy fél modulációs hossznyi részlet). A felső ábrapár a koncentrációtól független, míg az alsó ábrapár az erősen koncentrációfüggő  $D$  esetét mutatja. A végállapot mindkét esetben ugyanaz. Az alsó ábrán az is látható, hogy a kezdetben éles határfelület éles marad és eltolódik (csak a „lépcső” nagysága csökken).

nyes, ha az összetétel-változások a szomszédos síkok között nem túl nagyok. A valóságban az atomi skálájú keveredés mechanizmusa leggyakrabban az úgynevezett vakanciamechanizmus. Ennek az a lényege, hogy a kristályos szerkezetben mindig vannak üres rácshelyek (vakanciák), amelyeket felhasználva a keveredés végbemehet (hasonlóan ahhoz, ahogyan egy üres helyet tartalmazó számkirakós játékban a számok sorrendje átkombinálható). A fenti megfontolások – bizonyos, a részleteket érintő, finomításokkal – a vakanciamechanizmusra is érvényesek, a lényeges jellemzők ugyanazok.

Egy vakancia véletlen bolyongásának leírásához kapcsolódik egy másik (szintén tavaly jubiláló) híres képlet, a 101 éves Einstein-összefüggés, amely szerint a bolyongó részecske átlagos négyzetes elmozdulása arányos az idővel, és az arányossági együttható éppen a diffúziós együttható:

$$\langle x^2 \rangle = 6Dt. \quad (2)$$

Érdeemes megemlíteni, hogy ezen összefüggés levezetésében is vannak olyan megfontolások, amelyek miatt vár-

ható, hogy rövid időknél nem érvényes (valószínűségi megfontolásokra épül, de mezoszkopikus jellegű, azaz csak nagyszámú ugrás esetén teljesül). Annak érzékeltetésére, hogy mindkét fenti egyenlet nagyon rövid időknél (kiszámú ugrásra) elveszti érvényességét, érdemes felidézni az ismert diffúziós paradoxont, mely szerint a (2)-ből származtatható (átlagos) sebesség fordítva arányos  $t^{1/2}$ -del (parabolikus viselkedés), azaz  $t \rightarrow 0$  esetén a sebesség végtelenné válik. Hasonlóan, ha kezdetben két tiszta  $A$  és  $B$  anyagot kontaktusba hozunk, akkor végtelen nagy lesz az áram, mert végtelen nagy a gradiens. A paradoxon abban van, hogy józan várakozásnak megfelelően az áram nem lehet végtelen nagy, a fenti határesetben is végesnek kellene maradnia [2]. Már a (2) összefüggés megszületésével egy időben Smoluchowski, aki kinetikus gázelméleti megfontolásokból vezette le ezt, megmutatta, hogy rövid időknél akár az  $\langle x^2 \rangle \sim t$  összefüggés is érvényes lehet, azaz eltérés várható a parabolikus viselkedéstől.

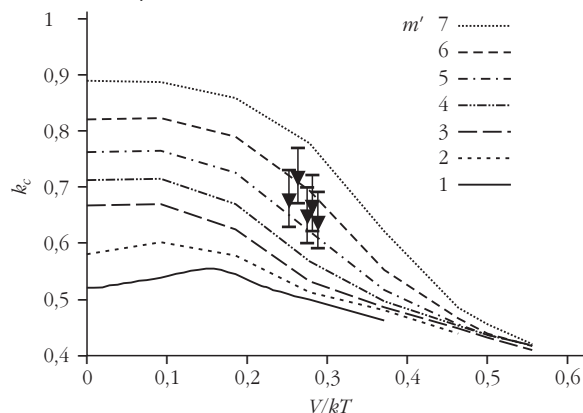
Az 1. ábrán mutatott atomisztikus modell alkalmas arra, hogy ezt a problémát kristályos rendszerekben részletesebben is vizsgáljuk. Egy adott kezdeti koncentrációeloszlás időbeli változását kiszámíthatjuk az (1) egyenlet és az anyagmegmaradás törvényét leíró összefüggés felhasználásával, valamint az atomisztikus modell segítségével is, és megnézhetjük, hogy mennyire és mikor egyeznek meg.

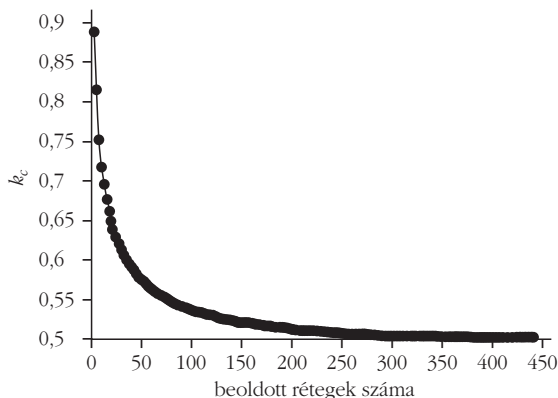
## Szimulációs eredmények

A szimulációkból [2] a következő érdekes eredmények adódtak. Először is kiderült, hogy mérhető eltérések mutathatók ki a rácssíkok távolságánál nagyobb diffúziós úthosszaknál (a diffúziós úthossz definíciója:  $x = (Dt)^{1/2}$ , ha  $D$  erősen koncentrációfüggő, azaz az (1) és (2) egyenletek lényegében csak akkor érvényesek nanoskálán, ha  $D$  konstans. Felsorolásszerűen foglaljuk össze a fontosabb eredményeket:

1) A folytonos modell rövid időknél (kis diffúziós úthosszakra) gyorsabb keveredést ad (azaz a kezdeti koncentrációgradiens gyorsabban kezd csökkenni), mint a diszkrét modell.

3. ábra. A kinetikai együttható (amely leírja a határfelület helyzetének  $t^k$  időfüggését) számított értékei különböző diffúziós aszimmetria ( $m'$ ) és keveredési hő ( $V$ ) értékekre.  $k$  a Boltzmann-állandó és  $T$  a hőmérséklet. A hibahatárokkal megadott pontok a Ni–Au rendszerben kapott kísérleti eredmények.





4. ábra. A kinetikai együttható,  $k_c$ , erősen függ a beoldott rétegek számától. Ebben az esetben ( $m' = 7$  és  $V/kT = 0,09$ ) mintegy 200 atomi réteg (mintegy 50 nm) beoldódása után értéke 0,5, azaz a parabolikus viselkedéstől való eltérés valóban tipikus nanojelenség.

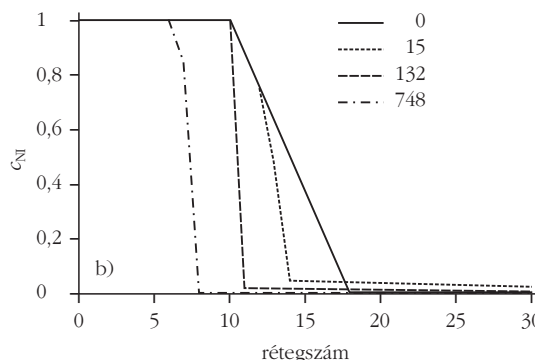
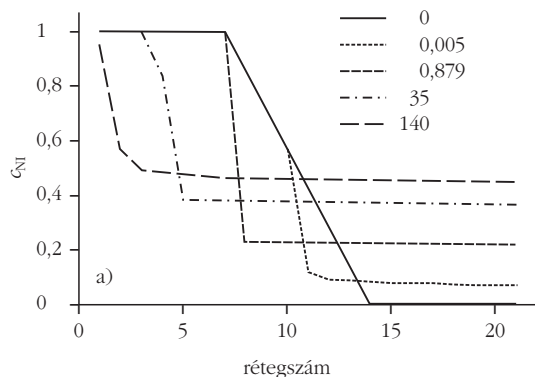
2) Az összetételtől erősen függő  $D$  esetén a kezdetben éles határfelület mindkét modellben éles marad, és a keveredés az éles határfelület eltolódásával kezdődik (erősen aszimmetrikus koncentrációprofil alakul ki; 2.b ábrára). Azonban, míg a határfelület helyzete a folytonos modellben az idő négyzetgyökével arányosan tolódik el (azaz követi a parabolikus viselkedést), addig a diszkrét modell eltéréseket ad a parabolikus törvénytől  $at^{k_c}$  összefüggés szerint, ahol  $0,5 \leq k_c \leq 1$ . A  $k_c$  kitevő értéke annál közelebb van 1-hez minél erősebb a diffúziós aszimmetria, azaz minél nagyobb a  $D$  exponenciális koncentrációfüggését leíró  $m'$  paraméter ( $\ln D \sim m'c$ , ahol  $c$  az atomtört.  $m' = 4$  például azt jelenti, hogy a teljes összetéltől tartományban  $D$  négy nagyságrendet változik). Azt is megmutattuk, hogy  $k_c$  értéke  $m'$  mellett az ötvözet keveredési hőjétől is függ (a 3. ábrán ezzel arányos a  $V$  paraméter). A parabolikus törvénytől való eltérés valóban tipikus nanojelenség:  $k_c$  értéke a beoldott atomi rétegek számának növekedésével fokozatosan tart 0,5-hez (4. ábra), azaz a 3. ábrán mutatott kitevők az első néhány réteg beoldódásához tartoznak.

3) Kezdetben kémiai elmosódott határfelület kiélesedhet, ha erős a diffúziós aszimmetria (5. ábra). Ennek egyszerű szemléletes magyarázatát is adtuk (6. ábra): lineáris kezdeti profil esetén a gradiens állandó, és a fluxus a  $D$  összetételüggését követve változik, ez okozza a kiélesedést. Természetesen véges diffúziós párban a végállapot ugyanaz a homogén ötvözet lesz, amit konstans  $D$  esetén kézenfekvőnek veszünk és a diffúziós aszimmetria a keveredés kezdeti szakaszán vezet eltérő útvonalra a homogén állapot elérése felé.

4) A fent említett diffúziós paradoxon feloldásához rámutattunk arra, hogy az 1. ábrán vázolt modellből, kezdetben lépcsőfüggvényt véve, a határfelületen átfolyó áram nem végtelenségig adódik, hanem azt lényegében a határ diffúziós átteresztőképessége adja meg. A fluxusra a következő kifejezést kaptuk:

$$J_I = z_v \Gamma_i \Delta c, \quad (3)$$

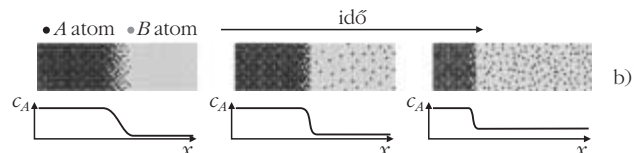
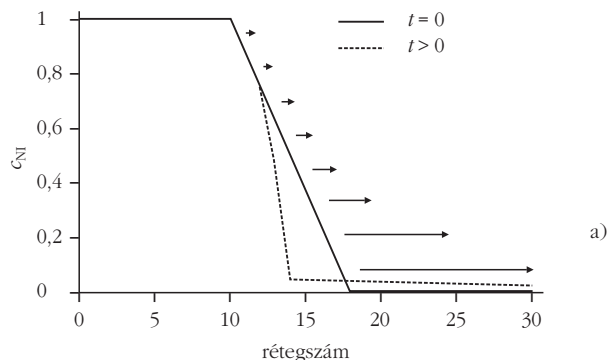
ahol  $\Delta c = (\langle c \rangle - c_\beta)$ ,  $\langle c \rangle$  a lényegében a határfelületben mérhető (átlagos) koncentráció,  $c_\beta$  pedig ideális rendszerben az éles határfelület alsó szélénél lévő töréspont-

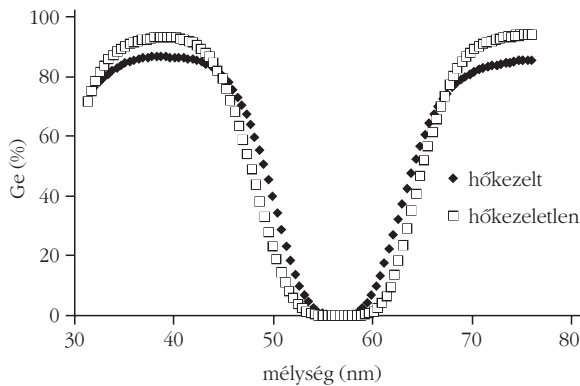


5. ábra. Szimulációs eredmény eredetileg elmosódott határfelület kiélesedésére Ni-Cu a) multirétegben, illetve b) birtétegben (félvégtelen Cu-mátrix). (A Cu és a Ni korlátlanul oldják egymást).

hoz tartozó érték (lásd az 5.a ábrán a hosszabb időkhöz tartozó görbéket), illetve fázisszeparálódó (azaz korlátozott szilárd oldékonyságot mutató) rendszerben az oldékonysági határ. Itt  $z_v$  egy atomnak a szomszédos rácshíkon lévő legközelebbi szomszédainak száma, és  $\Gamma_i$  lényegében a határfelületen keresztül történő kicserélődési ugrás frekvenciája. Ez a formula hasonlít a fizikai kémiában, illetve szilárdtest-diffúziós reakciók leírására régóta használt  $J_I = K\Delta c$  összefüggéshez, ahol  $K$  a határfelületi

6. ábra. Diffúziós határfelület-élesedés szemléltetése. a) Atomi áramszűrő nagysága (melyet a reprezentáló nyílak hossza mutat) a határfelületben lévő atomi síkok között. b) A koncentráció-eloszlás időbeli változása szemléletesen.





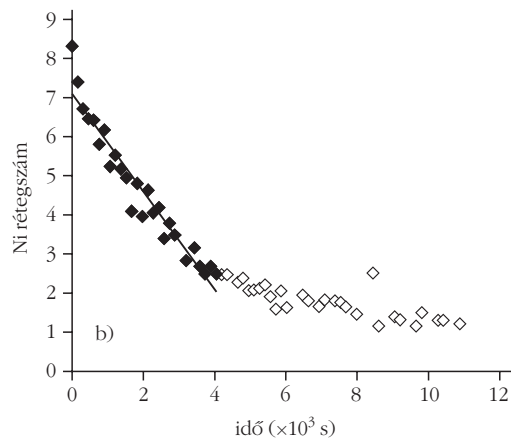
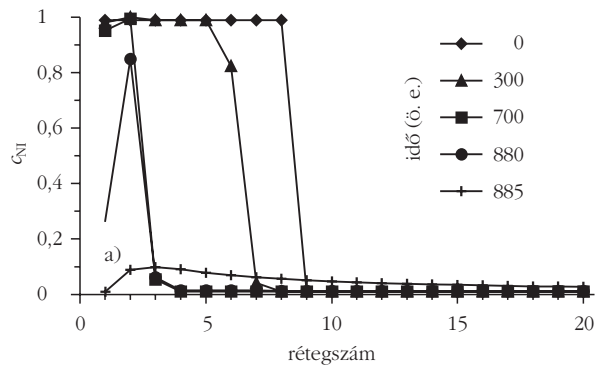
7. ábra. Hőkezeletlen, illetve hőkezelt minták Auger mélységi profilja. Látható, hogy a hőkezelt minta esetében a Ge-réteg Si-mal töltődött és megvastagodott, miközben a Si-réteg tiszta maradt és vékonyodott. (A határfelület „elmosódottsága” itt elsősorban a mélységi profilozás korlátozott felbontásából származik. Az, hogy kiinduláskor a Ge nem teljesen tiszta, hanem tartalmaz némi Si-ot is, mintakészítési problémák miatt van.)

reakciókinetikai együttható, amelynek pontos atomisztikus értelmezése eddig nem volt ismert.  $K$ -t nagyon gyakran a határfelülethez rendelhető extra potenciálgáttal (akadály) magyarázták, amely kezdetben éles koncentrációgradiens mellett  $J_i < J_D$  egyenlőtlenséget ad, és így konstans  $J_i$  esetén *lineáris* határfelület-eltolódást eredményez (a határfelület eltolódási sebessége arányos  $J_i$ -vel), azaz *lineáris* lesz a kinetika. Látható, hogy a mi eredményünk szerint extra potenciálgát nélkül is véges határfelületen keresztüli áramot kapunk, és nanoskálán ez vezethet lineáris kinetikára. Továbbá  $K \sim \Gamma_b$ , azaz atomisztikus értelmezést tudunk adni  $K$ -ra. Megmutattuk, hogy a lineáris kinetikából a parabolikusba való átmenet (hosszabb időknél nyilván a diffúziós áram kisebb lesz, mint  $J_b$ , és ettől kezdve diffúziós kontroll és parabolikus növekedés van) nagyon erősen függ  $m'$ -től (természetesen függvénye  $V/kT$ -nek is), és az átmenethez tartozó tipikus távolság 0,0025 és 250 nm közé esik, azaz számos esetben kísérletileg mérhető.

## Kísérleti eredmények

Amorf Si/Ge multirétegekben megmutattuk [2–3], hogy a Si-rétegek valóban keskenyednek és közben a Ge feltöltődik Si-mal. A diffúziós aszimmetria olyan, hogy Si-ban sokkal lassúbb a diffúzió, a Ge valóban nem hatol be a Si-rétegekbe (7. ábra).

Nyolc atomréteg vastagságú Ni-filmet növesztve Cu egykristály felületére, és Auger-elektron spektroszkópiával (AES) mérve a Ni-réteg vastagságának időbeli változását, a 8. ábrán látható eredményt kaptuk, azaz a rétegvastagság az idővel lineárisan csökkent. A mérésben azt használtuk ki, hogy ha az Auger-elektronok kilépési hossza nagyobb, mint a Ni-réteg vastagsága, akkor a mért spektrum időbeli változásából a méretváltozás megkapható. Hasonló mérést végezve Ni-réteg Au-ba való beoldódására (a Ni-Cu rendszer közel ideális azaz  $V \cong 0$ , míg a Ni-Au rendszerben pozitív a keveredési hő), az elméleti értékkel egyező  $k_c$  értékeket kaptunk (3. ábrán a kísérleti pontok).

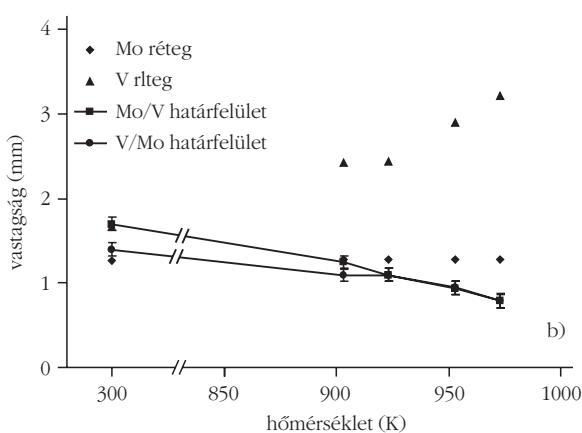
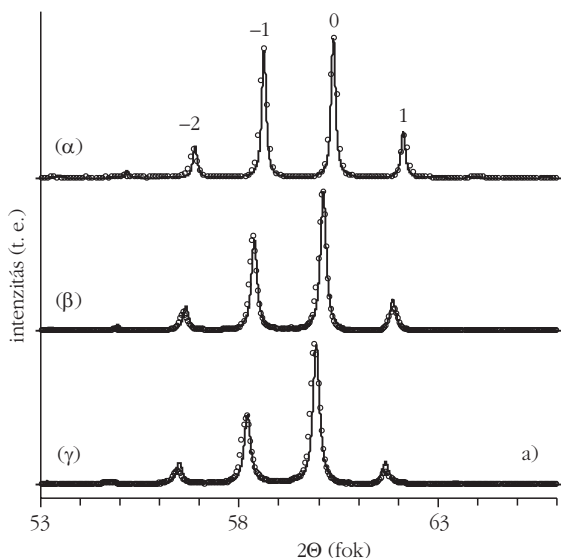


8. ábra. a) Szimulációs eredmény 10 atomi réteg Ni félvégtelen Cu-mátrixba történő beoldódására (az ábrán csupán a felső 20 atomi réteg látható – kezdetben 10 atomi réteg Ni és 10 atomi réteg Cu). b) A Ni-film Auger-elektron spektroszkóp segítségével meghatározott vastagságának időbeli változása. Kezdetben egy körülbelül 8 atomi réteg vastagságú film volt a Cu-mátrixon, melynek vastagsága időben lineárisan csökken egészen addig, míg körülbelül 2 atomi réteg vastagságúra nem fogy (teli szimbólumok). Itt egy törés látható a görbén, mely a Cu szegregációjának beindulását jelzi (üres szimbólumok).

Kezdetben kémiaiilag elmosott határfelület kiélesedésének kimutatására epitaxiális, koherens Mo–V multiréteget készítettünk kezdetben elmosott határfelületekkel (az összetétel lineárisan változott a határban). Lényegében tehát folytonos kristályrácsra hoztunk létre olyan – felváltva Mo- és V-tartalmú rétegekből álló – szerkezetet, amelyben a határfelületekben az összetétel lineárisan változott (a periódushossz mintegy 6 nm volt). Szinkrotron sugárzást használva, a nagyszögű röntgendiffrakciós vizsgálatok segítségével a csúcsarányok változásaiból kimutattuk a határfelületek élesedését (9. ábra) [3].

## Összefoglalás

A diffúzió nanokristályos anyagokban több szempontból is fontos és érdekes. Fontos, mert a nanotechnológiai folyamatokat, illetve a nanoszerkezetek stabilitását meghatározó egyik alapjelenségről van szó, és érdekes, mert új alapvető kutatási kérdéseket is érint. Korábban széles körben elfogadott volt az a nézet, hogy például egy újabb félvezető integrált áramköri egységben a kívánt koncentrációeloszlás kialakításához, vagy a kialakított eloszlás időbeli stabilitásának becsléséhez elegendő elővenni szá-



9. ábra. a) Szimulált (folytonos görbe) és mért nagyszögű Röntgen reflexiók spektrum (pontok) Mo-V multirétegben, különböző hőkezelési időknél. (Lépcsős kezelést alkalmaztunk, azaz folyamatosan emeltük a hőmérsékletet, és az ábrán jelzett pontokon azonos ideig hőkezeltünk). b) A Mo- és a V-rétegek vastagságainak, illetve a Mo/V valamint V/Mo rétegek kémiai elmosódottságának csökkenése [3].

mítógépünket, be kell táplálni a megfelelő adatokat és – minthogy a diffúzió klasszikus alapegyenleteit, a Fick-egyenleteket, ismerjük – „csak meg kell várni, amíg az ismert egyenletek megoldását megkapjuk”. Eszerint az alapelveket ismerjük, és mint „szerszámokat” alkalmazhatjuk, legfeljebb a technológiai problémák bonyolultsága okozhat némi fejtörést. Láttuk, hogy ez nem így van. Számos esetben eltérések várhatók a klasszikus alapegyenletekből jósolható viselkedéstől, és minőségileg is

új eredményeket kaphatunk. Gyakorlati szempontból a fent ismertetett jelenségek közül kettőt mindenképpen célszerű kiemelni.

Láttuk, hogy a klasszikus elvekből naivan azt váránk, hogy kezdetben elmosódott határfelületek diffúziós hőkezeléssel csak tovább szélesíthetők. Azonban megfelelően megválasztott hőkezelési hőmérsékleten és hőkezelési időknél a kémiai elmosódottság csökkenthető, a határfelület kiélesedik. Ez minden olyan alkalmazásban, ahol a határfelületek élessége fontos, jól kihasználható. Például röntgen- vagy neutrontükrökben két nagyon különböző elektronsűrűségű anyagból készült multiréteg-szerkezeteket használnak, és nyilvánvalóan annál jobb az eszköz, minél élesebb a határfelület. Hasonlóan jelentősen befolyásolja a – mágneses adatrögzítők kioldósófejeiben is alkalmazott – spinkapcsolók (mágneses/nem mágneses multiréteg-szerkezetek gigantikus, a mágneses tér irányától függő, ellenállással) működését a két-féle anyag határfelületének elmosódottsága.

A másik fontos eredmény, hogy nanoskálán a diffúziós folyamatok kinetikája minden különösebb extra határfelületi gát jelenléte nélkül is eltérhet a parabolikustól. Ez felveti annak a diffúziós kézikönyvekben korábban rutinszerűnek közölt eljárásnak a felülvizsgálatát, hogy ha a kísérletekben lineáris kinetikát figyelnek meg, akkor az egyértelműen határfelületi reakciókontrollt jelent. (Eddig általánosan elfogadott volt, hogy a  $t^{1/2}$ -nel arányos kinetika diffúzió kontrollált mechanizmust jelent, míg a lineáris kinetika arra utal, hogy a folyamatot a határfelületben lejátszódó, a diffúziónál lassúbb folyamat kontrollálja). Fontos azt is hangsúlyozni, hogy a nanoskálán megjelenő lineáris, vagy ahhoz közeli kinetika nagyon jellegzetesen csak akkor várható, ha a diffúziós aszimmetria erős. Ez nem annyira ritka, mint első ránézésre gondolnánk, mert nanoskálájú diffúziós keveredés reális idők alatt végbe-mehet már alacsony hőmérsékleteken is. Alacsony hőmérsékleteken a diffúziós együtthatók eltérő hőmérsékletfüggése miatt a két kiszemelt anyagban a diffúziós együttható akár több nagyságrenddel is eltérhet még akkor is, ha magas hőmérsékleteken alig különböznek.

#### Irodalom

1. FÉNYES IMRE: *Termosztatika és termodinamika* – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1968.
2. A cikkben előforduló saját munkáinkra utaló hivatkozásokat az érdeklődő olvasó a tanszéki honlapon könnyen megtalálja: <http://ssphys.science.unideb.hu>
3. Z. ERDELYI, M. SLADECEK, L.-M. STADLER, I. ZIZAK, G.A. LANGER, M. KIS-VARGA, D.L. BEKE, B. SEPIOL – *Science*, 306 (2004) 1913

## KFKI NYÍLT NAP – 2006. NOVEMBER 10.

A Magyar Tudomány Napja alkalmából a KFKI csillebérci campus öt intézete: az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet, az MTA Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet, az MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet, az MTA KFKI Atomenergiai Kutató Intézet és az MTA Izotópkutató Intézet 2006. november 10-én pénteken 8–20 óráig Nyílt Napot rendez *Mi erre költjük az Ön adóforintjait* mottóval.

Az intézetek egyenként 2–3, kutatásaikat, illetve azok gazdasági hasznosulását népszerűsítő közérthető, látványos programot, demonstrációt állítanak össze – lehetőség szerint ipari partnereik bevonásával. Ezeket, megfelelő vetésforgóban, az érdeklődők 2–3 óránkénti ismétlődéssel látogathatják.

Felvilágosítást ad: *Honty László*, tel.: 392-2672, e-mail: [honty@mfa.kfki.hu](mailto:honty@mfa.kfki.hu).

# A CORIOLIS-ERŐ ÉS A MODERN KÖRNYEZETFIZIKA: A LEFOLYÓTÓL A CIKLONOKIG

Tél Tamás  
ELTE TTK, Elméleti Fizikai Tanszék

Gyakran halljuk a kérdést: minek alapján lehet eldönteni egy ablak nélküli fürdőszobában, hogy az északi vagy a déli félgömbön vagyunk-e. A válasz a lefolyóban áramló víz forgásiránya, melyet a Coriolis-erő határoz meg. De ha ilyen jelentős a Coriolis-erő, akkor miért állíthatjuk mégis, hogy ugyanez a fürdőszoba (sőt minden földi laboratórium) jó közelítéssel inerciarendszer? És hogyan van ez összhangban azzal a ténnyel, hogy a ciklonok, hurrikánok (és ezernyi más légköri és óceáni jelenség) kialakulásában meghatározó fontosságú a Coriolis-hatás? Ezekre a kérdésekre keressük a választ a cikkben.

## A Coriolis-erő

A Coriolis-erő az egyenletes  $\omega$  szögsebességgel forgó koordináta-rendszerekben ható fiktív (tehetetlenségi) erő [1], melynek fellépése abból adódik, hogy a forgó rendszerben  $v$  sebességgel mozgó  $m$  tömegű test extra gyorsulásnak van kitéve, mintha rá még egy erő hatna, a forgásten-gelyre merőleges síkban történő mozgás esetén

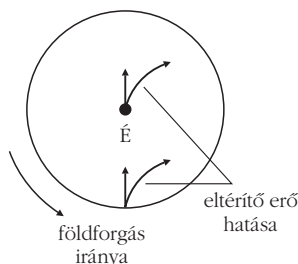
$$F_c = 2 m v \omega \quad (1)$$

nagyságú Coriolis-erő. Ez az erő tehát *csak mozgó testekre hat*. Iránya *a sebességre merőleges*, ezért eltérítő erő. A testen munkát nem is képes végezni!

Az óramutató irányával egyező forgás, pozitív szögsebesség esetén a Coriolis-erő mindig a sebességtől jobbra mutat (1. ábra), nagysága *független* a test sebességének irányától. A földi mozgásokat ennek megfelelően az északi félgömbön mindig jobbra, a délin balra téríti el.

A Coriolis-erő általános levezetése helyett egy konkrét példán mutatjuk be fellépésének szükségességét. Tekintsünk egy álló testet, melyet egy  $\omega$  szögsebességgel pozitív irányban forgó körhintából figyelünk. Itt azt látjuk, hogy állandó  $v$  sebességgel körpályán mozog. Ha rá csak az  $m v \omega^2 = m v \omega$  centrífugális erő hatna a forgó rendszerben, akkor egyre távolabb kellene kerülnie. Ahhoz, hogy körpályán maradjon, hatnia kell tehát rá *még egy* tehetetlenségi erőnek. Ennek akkorának kell lennie, hogy az eredő a befelé mutató  $m v \omega$  centripetális erőt adja. A hiányzó

1. ábra. A Coriolis-erő hatására történő eltérülés a Föld északi félgömbjén, egy kilencedik osztályos földrajz-könyv [2] ábrája szerint.



erő nagysága így éppen  $2 m v \omega$ , s ez a Coriolis-erő. Ez a fiktív erő nevét első részletes leírójáról *Gaspard Gustav de Coriolis*-ről (1792–1843) kapta (akinek fő cikke 1835-ban született). A forgó Földön lezajló jelenségekre gyakorolt hatására *Foucault* kísérlete (1851) hívta fel a figyelmet, aki levezette, hogy a Coriolis-erő következtében az inga lengési síkjának lassan el kell fordulnia. Kísérletével megmutatta, hogy a mért és a számolt érték megegyezik, s ezzel elsőként szolgált bizonyítékkal a Föld forgására [1].

Mekkora az eltérülés?

Könnyen meghatározható, hogy mennyit térül el eredeti irányától az  $\omega$  szögsebességű forgás következtében az egyenletes  $U$  sebességgel mozgó test,  $L$  út megtétele után (2. ábra). Kis eltérülést feltételezve, az eltelt idő  $t = L/U$ . Gyorsulása az eredeti irányra merőlegesen  $a_c = 2 U \omega$ , ezért az eltérülés

$$D = \frac{a_c}{2} t^2 = \frac{\omega L^2}{U}, \quad (2)$$

amelyből

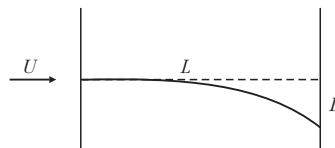
$$\frac{D}{L} = \frac{\omega L}{U}. \quad (3)$$

A  $D$  eltérülésnek a teljes  $L$  elmozduláshoz viszonyított arányát tehát az  $\omega L/U$  hányados adja. Annak ellenére, hogy a Coriolis-gyorsulás a sebességgel nő, az eltérülés fordítottan arányos a sebességgel, ugyanis gyorsabb mozgás esetén a Coriolis-erő rövidebb ideig hat!

Mennyire inerciarendszer egy földi laboratórium?

A Föld  $\omega_f$  forgási szögsebessége 1 fordulat ( $2\pi$  radián) per nap, azaz 86400 másodperc, s ezzel  $\omega_f = 7,3 \cdot 10^{-5}$  1/s. A vízszintes síkban történő mozgások szempontjából a Föld forgási szögsebessége vektorának a helyi függőleges irányba mutató komponense határozza meg a Coriolis-erőt. Ez a  $\varphi$  szélességi körön ( $\varphi = 0$  jelenti az Egyenlítőt,  $\varphi = \pi/2$  az Északi Sarkot)  $\omega_f = \omega_f \sin \varphi$ , s így a Coriolis-erő vízszintes összetevőjének nagysága  $F_c = 2 m v \omega_f$ . A közepes szélességeken, mint hazánkban is számolhatunk  $\varphi = \pi/4$ -gyel, azaz  $\omega_f = 5 \cdot 10^{-5}$  1/s.

2. ábra. Az  $U$  sebességű test  $D$  eltérülése  $L$  út megtétele után pozitív forgásirányú rendszerben.





Inerciarendszerben semmilyen eltérést nem tapasztalnánk. Egy földi laboratórium akkor tekinthető jó közelítéssel inerciarendszernek, ha benne az eltérés kicsi. A

$$\frac{D}{L} = \frac{\omega_f L}{U} \quad (4)$$

relatív eltérés tehát az a mérőszám, amely megadja, hogy mekkora hibát követünk el, ha inerciarendszernek tekintjük a laboratóriumot. Közepes földrajzi szélességen  $L = 10$  m méretű mérőasztalt és  $U = 1$  m/s tipikus sebességeket feltételezve,

$$\frac{D}{L} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ 1/s} \frac{10 \text{ m}}{1 \text{ m/s}} = 5 \cdot 10^{-4},$$

azaz 0,05% relatív hibát követünk csak el, ha a Coriolis-erőt elhanyagoljuk!

A függőleges irányú mozgások szempontjából a Föld forgási szögsebesség-vektorának a helyi vízszintes irányba mutató  $\omega_v = \omega_f \cos \varphi$  vetülete a lényeges. Az  $F_c = 2m v \omega_v$  felfelé mutató Coriolis-erő a keletre haladó testeket *emeli*, súlyukat csökkenti [3]. Ez az úgynevezett Eötvös-hatás [1]. Ez a hatás például a kalapácsvetés 80 m-es hosszát mintegy 5 cm-rel befolyásolja [4]. Az Eötvös-hatás erősségét a  $2U\omega_v$  Coriolis-gyorsulás és a  $g$  gravitációs gyorsulás  $2U\omega_v/g$  hányadosa határozza meg. Laboratóriumi értéke a fenti adatokkal  $10^{-3}$ . A szoba tehát valóban igen jó közelítéssel inerciarendszer.

## Mi a helyzet a lefolyóval?

A lefolyó körüli legszimmetrikusabb áramlás az, melyben minden folyadékrezecske egyenesen, a középpont felé mozog. Nyomáskülönbség vagy külső erő hatására a részecskék általában örvénylő mozgást is végeznek. Ha ez az örvénylés egyedül a Coriolis-erő következménye, akkor az eredetileg a középpont felé induló részecskék az északi féltekén jobbra eltérülnek, és az óramutató járásával ellentétes, pozitív körforgású örvény jön létre, olyan, amit (egészen más összefüggésben) a *4.b ábrán* látunk majd. A déli féltekén fordított a helyzet. Ahhoz azonban, hogy a Coriolis-erő lényeges legyen egy földi laboratóriumban, minden más hatást ki kell küszöbölünk, legalább ezrelék pontosságig. Ezt általában nem tudjuk biztosítani, hiszen a fürdőkad vagy kézmosó kagyló nem hengersizmetrikus geometriája eleve ennél nagyobb nyomási erőket hoz létre, a dugó kihúzásakor keltett áramlás hatásáról nem is beszélve. A hétköznapi tapasztalat ezért *nem* mutatja a lefolyók kitüntetett örvénylési irányát az egyes féltekéken: mindkét irányú forgás előfordulhat egyetlen fürdőszobán belül is. (Érdemes megjegyezni, hogy magán az Egenlítőn nem is várható kitüntetett irány, mert ott a vízszintes síkbeli mozgásokra nem hat Coriolis-erő, hiszen a Föld szögsebességének helyi függőleges komponense:  $\omega_f = \omega_f \sin 0 = 0$ ).

Gondosan megtervezett kísérletekben azonban elérhető, hogy minden zavaró hatást kiküszöböljenek. Az első *A. Perrot* végezte [5] nyolc évvel Foucault után, 1859-ben Párizsban. Hatalmas henger alakú tartályt használt, kis-

1. táblázat

**A relatív eltérés függése a megtett  $L$  távolságtól,  $U = 10$  m/s sebesség mellett, közepes szélességeken,  $\varphi = \pi/4$ . (A vizek mozgására jellemző  $U = 1$  m/s sebességekkel a  $D/L$  értékek rendre 10-szer nagyobbak adódnak.)**

$L$ (km)	$D/L$ (%)
1	0,5
10	5
100	50
1000	500

méretű kifolyóval az alján, s a vizet egy teljes napig hagyta megnyugodni. A dugó hirtelen kihúzása után valóban pozitív irányú örvénylés jött létre. A kísérletet a hatvanas években is megismételték Bostonban: *A.H. Shapiro* 6 m átmérőjű, körülbelül 15 cm magas tartályt használt, s az áramlásról filmfelvételt is készített.

## Egy jól érzékelhető effektus: a falklandi céltévesztés

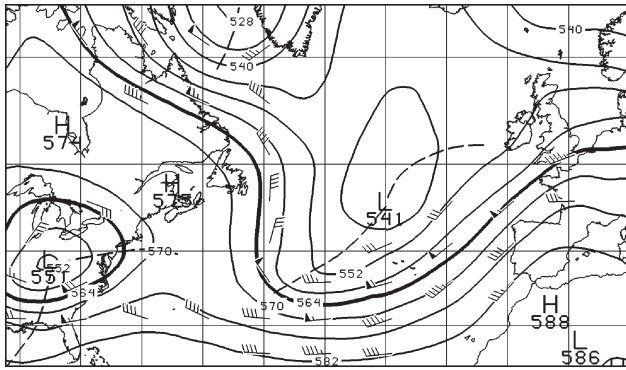
1915-ben, az első világháború idején a Falkland-szigetek térségében (déli szélesség 50. fok) tengeri ütközetre került sor a német és angol hadihajók között. Az angolok nagy távolságból (több 10 km) igen pontosan céloztak, de ennek ellenére mintegy 100 méterrel eltévesztették a célt. A lövedékek a megcélzott hajók bal oldalán csapódtak a vízbe. Ez a Coriolis-erő következménye – gondolhatjuk –, mely a déli féltekén balra téríti el a mozgó testeket. Igen ám, de a hajók célzóműveibe addigra már beépítették a Coriolis-hatást kompenzáló berendezést. A baj csak az volt, hogy ezt az Anglia (északi szélesség 50. fok) körüli csatákra tervezték. A hiba így a déli féltekén a Coriolis-eltérés kétszerese lett!

## A nagy folyók aszimmetrikus partmosása

Történelmi példánk sugallja, hogy a Coriolis-hatás jelentősége függ attól, hogy mekkora távolságra terjed ki az a mozgás, melyet vizsgálunk. A 10 km-es skálán a Coriolis-erő egy jól megfigyelhető békés következménye, hogy az északi félgömb nagy kanyarulatokat leíró folyói, mint például a Volga, a jobb partot erősebben mossák, mint a bal oldalt. Ez a különbség az élesen kanyargó folyókon, ahol a kanyarulatok átlagos görbületi sugara kisebb 10 km-nél, még nem érzékelhető.

## A Coriolis-hatás távolságfüggő!

A (4) kifejezés világosan mutatja a Coriolis-erő sajátos tulajdonságát: a hatására bekövetkezett relatív eltérés  $n\theta$  a távolsággal (közel állandó sebességek mellett). Az *1. táblázat* a relatív eltérés értékeit adja meg egyre nagyobb  $L$  távolságokon, a légköri mozgásokra jellemző 10 m/s sebességre.



3. ábra. Meteorológiai térkép az USA keleti partja, az Atlanti-óceán és Nyugat-Európa térségéről körülbelül 5 km-es magasságban, 2006. május 15-én. A sima vonalak állandó nyomású görbék, az izobárok jelölnek, a kis zászlós szakaszok a szélvektorok (a zászlók száma arányos a szél erősséggel, rúdjuk az áramlás irányába mutat). Jól látszik, hogy a szél iránya párhuzamos az izobárokkal, azaz merőleges a nyomási gradiensre. Az L jelű tartományok alacsony nyomású képződmények, ciklonok. [weather.noaa.gov/pub/fax.PPAA51.gif]

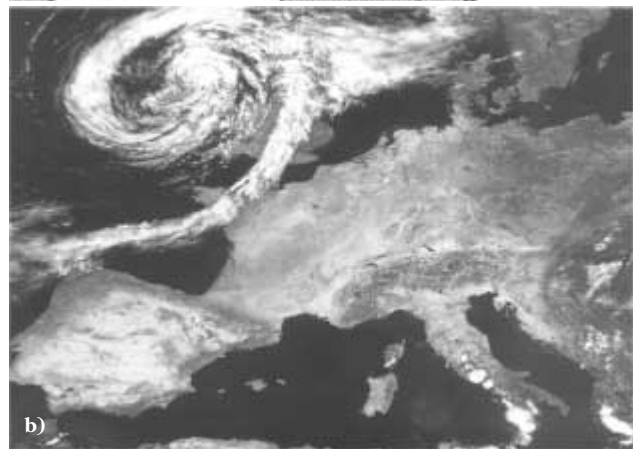
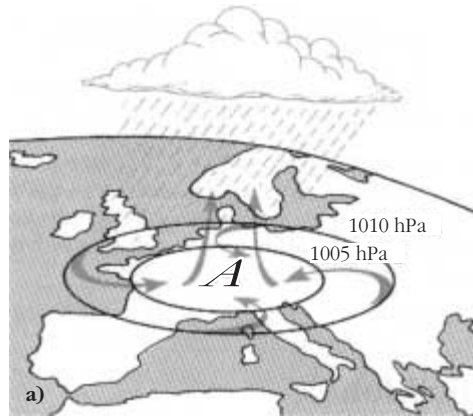
A táblázatból jól látszik, hogy a laboratórium 10 méteres kiterjedésével szemben, a 10 km-es távolságon az eltérés már semmiképpen sem hanyagolható el, az ennél nagyobb távolságokon pedig már összemérhető vagy nagyobb, mint az egyenes menti elmozdulás. (Megjegyezzük, hogy a (4) összefüggés levezetésekor feltételeztük, hogy az eltérés kicsi, ezért az eredmény  $L > 10$  km esetén már korrekcióra szorul. Jelen formája is jól mutatja azonban a nagyságrendi viszonyokat.) A táblázat eredményei egyben azt is jelzik, hogy egy megyéni kiterjedésű, vagy annál nagyobb tartomány már egyáltalán nem tekinthető inerciarendszernek! A táblázat utolsó sora egyértelműen mutatja, hogy a több száz km-es földi távolságokon a vízszintes síkbeli mozgásokban a Coriolis-erő minden más erőnél fontosabbá válik.

## A szél és a víz nem arra mozog, amerre a nyomás hajtja!

A nagy kiterjedésű, vízszintes síkban zajló áramlásokban a viszkózus, a centrifugális stb. erők mind elhanyagolhatók a Coriolis-erő mellett.<sup>1</sup> Közéltőleg időfügetlen, illetve lassan változó áramlás ezért csak úgy alakulhat ki, ha a nyomáskülönbségből adódó erő a Coriolis-erőt egyensúlyozza. Mivel a sebesség ennek irányára merőleges, a levegő az állandó nyomású görbékkel, az izobárokkal párhuzamosan áramlik. Ez ellentmond annak a hétköznapi (laboratóriumi skálájú) megfigyelésnek, miszerint a folyadékrészek (pl. egy csőben) az alacsonyabb nyomású hely

<sup>1</sup> A környezeti áramlásokban a forgatottság jellemzésére az  $Ro = U/(2\omega_p L)$  Rossby-számot használják, mely akkor kicsi, ha a forgás lényeges. Vegyük észre, hogy a (4) relatív eltérés a Rossby-számmal fordítottan arányos  $D/L = 1/(2Ro)$ . A laboratóriumi mozgások Rossby-száma tehát nagy. A nagyskálájú környezeti áramlásokban a Rossby-szám tipikus értéke viszont  $10^{-1}$ – $10^{-2}$  körüli, a táblázattal összhangban. Az a tény, hogy a Rossby-szám független a sűrűségtől, jelzi, hogy a Coriolis-hatás vízben és levegőben egyaránt fontos.

A függőleges mozgás szempontjából a Rossby-szám megfelelője a  $g/(2U\omega_p)$  hányados. Ez azonban nem függ a lineáris mérettől, ezért a Coriolis-erő függőleges komponense (100 km/h-s sebességéig) mindig elhanyagolható a súly mellett.

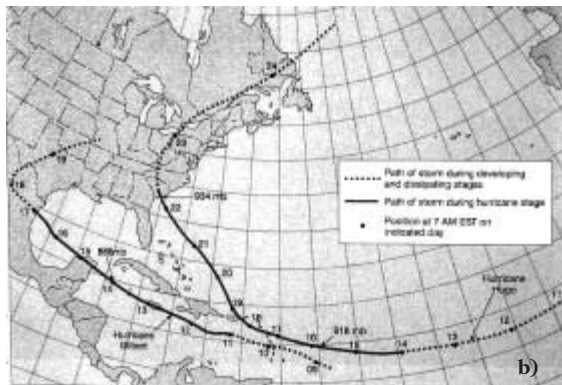
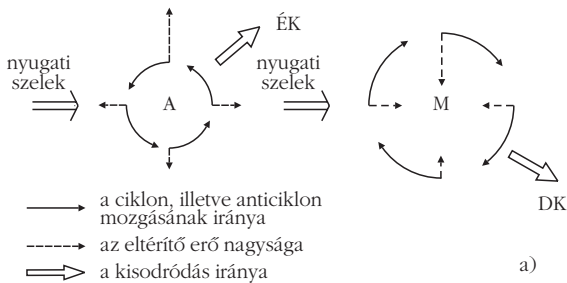


4. ábra. Ciklonok. a) Sematikus kép a ciklonra jellemző körkörös áramlásról [3]-ból. b) Műholdfelvétel egy Anglia felett elhelyezkedő ciklon alacsony szintű felhőzetéről. Ezen jól látszik az, amit a lefolyó kapcsán vártunk: a középpont felé haladó áramlás jobbra eltérül [European Space Agency].

felé mozognak. A szél nem arrafelé fúj, amerre a nyomáskülönbség hajtja, hanem arra merőlegesen! Jól megfigyelhető ez a meteorológiai térképen (3. ábra), ahol a szélirányok valóban közel párhuzamosak az izobárokkal.

A ciklonok olyan légköri képződmények, melyek magja alacsony nyomású, s körülötte az izobárok körkörösén helyezkednek el. Az alacsony központi nyomás miatt középen feláramlás, a talaj közelében pedig lassú összeáramlás figyelhető meg (4.a ábra). Az elrendezés tehát egy fejjel lefelé álló lefolyóhoz hasonló. Az, amit a konyhai lefolyóban hiába kerestünk, annál tízmilliószor nagyobb méretben (a ciklonok átlagos sugara 1000 km, szemben a lefolyó 10 cm-es örvényével) kivétel nélkül mindig megvalósul: az örvénylés az északi féltekén az óramutató járásával ellentétes (4.b ábra). Mivel a Coriolis-erő dominál, az összeáramlás meglehetősen gyenge. Ennek a „lefolyónak” a megjelenésekor rendszerint mégsem az áramlási képével törődünk, hanem az általa hordozott időjárási helyzettel, hiszen a feláramlás nedves levegőt szállít, melyből sok csapadék képződhet.

A nagy tavak és az óceánok áramásaiban is fellép egy hasonló eltérés a naivan várt irányhoz képest. A 19. század végén a híres sarkkutató, F. Nansen figyelte meg az északi szélességeken, hogy a jéghegyek mozgása a szél irányától szisztematikusan jobbra tér el. A részletes vizsgálat a Coriolis-hatás alapján kimutatta, hogy a szélnyírás által megmozgatott felső vízréteg nem abba az irányba



5. ábra. Ciklonok kisodródása. A Coriolis-erő földrajzi szélességtől való függése miatt a ciklonokra ható eredő Coriolis-erő nem nulla, hanem az északi féltekén északi irányú. a) A mérsékelt égövben a nyugati szél által hordozott mérsékeltövi ciklonok (a rajz bal oldala) ezért ÉK-re mozdulnak el, az anticiklonok (jobb oldal) pedig DK-re [2]. b) A trópusi ciklonokat, a hurrikánokat a passzát szelek nyugat felé sodorják, de később ezért északra kanyarodnak. A képen a Gilbert-hurrikán (1988. szeptember 10–22., alsó görbe) és a Hugo-hurrikán (1989. szeptember 8–20., felső görbe) pályája látható [www.uuc.edu/.../hurrr\_gil\_hugo\_track.jpg].

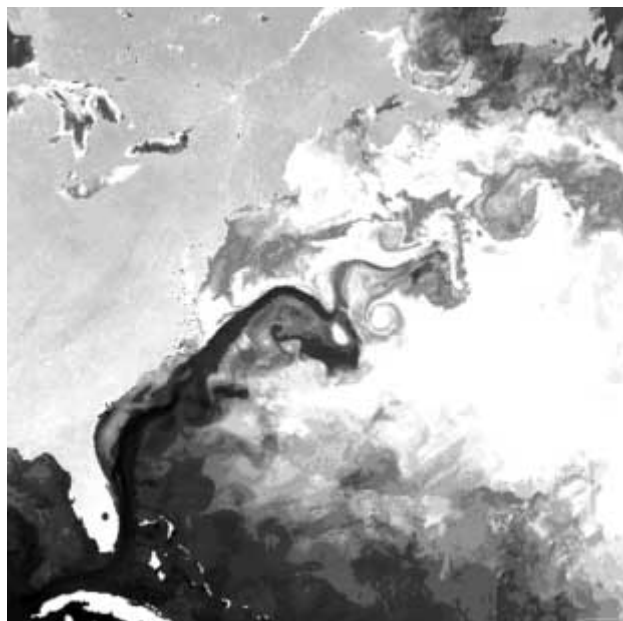
*áramlik, amelybe a szél fúj, hanem arra merőlegesen!* Ez a jelenség hatalmas víztömegek megmozgatásáért felelős, s a környezeti hidrodinamika egyik alapigazsága.

## A Coriolis-hatás függése a földrajzi szélességtől

A Föld gömb alakjának fontos következménye, hogy az  $\omega_f$  függőleges szögsebesség-komponens függ a földrajzi szélességtől. Ennek következtében az adott sebességű testre ható Coriolis-erő vízszintes összetevője a sarkok felé közeledve nő.

A mérsékelt égövünkben a ciklonokat és anticiklonokat az uralkodó nyugati szél lassan kelet felé sodorja. Pályájuk azonban nem egyenes. Az örvény északi és déli oldalán az áramlási sebesség közel azonos nagyságú és ellentétes irányú, az északi oldalon azonban nagyobb az  $\omega_f$  szögsebesség és ezáltal a Coriolis-erő. A ciklonokban ezért északra, az anticiklonokban pedig délre mutat az eredő Coriolis-erő (5.a ábra), s ennek megfelelően sodródási irányuk ÉK, illetve DK.

A hurrikánok, tájfunok a meleg trópusi vidékeken keletkeznek, gyűjtőnevük ezért trópusi ciklon. (A trópusi nem egyenlítőit jelent, hiszen ott, mint láttuk, a vízszintes síkban nem hat a Coriolis-erő, ezért egyenlítői ciklonok nem létezhetnek.) A trópusi ciklonok a 15 fok körüli szélességen alakulnak ki, ezért őket az ott uralkodó passzát szelek nyugat felé sodorják. Az eredő Coriolis-erő ugyanolyan jellegű, mint mérsékeltövi társaikban, de a jóval



6. ábra. A Golf-áramlat műholdképen. Az árnyalatok különböző hőmérsékleteket jelölnek. Jól látszik a Florida keleti partjai mentén északra húzódó sötét (igen meleg) áramlat, mely miután elhagyja az USA partvonalát, meanderező alakot vesz fel [www.oceanwanderers.com/eastcoast.JPG].

gyorsabb szelek (200 km/h) miatt jóval nagyobb. Az tehát, hogy az Atlanti-óceán déli medencéjében keletkező hurrikánok nem egyszerűen áthaladnak Közép-Amerikán, hanem következetesen az USA partjai felé kanyarodnak el (5.b ábra), a Coriolis-hatás földrajzi szélességtől való függésének bizonyítéka!

## Légköri hullámok, tengeráramlatok

A Coriolis-erő földrajzi szélességtől való függése a környezeti hidrodinamika számos további jelenségéért is felelős, melyek közül csak a legfontosabbakat említjük.

– A ciklonok és anticiklonok között a meteorológiai térképeken kígyózó, meanderező áramlás figyelhető meg (hullámozó vastag vonal a 3. ábrán). Ez egy lassú hullám, úgynevezett Rossby- vagy *planetáris hullám*, melynek tipikus hullámhossza a közepes szélességeken több ezer kilométer, periódusideje néhány nap. A planetáris hullámok mérsékeltövi időjárásunk legfőbb alakítói! Ezek határozzák meg, hogy mennyi idő alatt halad át felettünk egy ciklon vagy anticiklon, vagyis mennyire állandó egy-egy időjárási helyzet.

– Az óceáni áramlások alapvetően aszimmetrikusak: az erős óceáni áramlatok kivétel nélkül a medencék *nyugati pereme* mentén folynak, s mindössze száz kilométer szélességűek. A Golf-áramlat (6. ábra) például olyan gyorsan folyik, mint a Duna (sebessége 5 km/h), 100 km széles, és vízhozama több 10 000 000 m<sup>3</sup>/s, nagyobb az összes földi folyó együttes vízhozamánál.

– Sem a planetáris hullámok, sem az erős tengeráramlatok (sőt általában semmilyen környezeti áramlás) nem periodikusak. A rendszerben jelen levő *nemlinearitások* miatt *instabilitásoknak* vannak kitéve [5, 6], kaotikus és turbulens jellegű hordoznak. A ciklonok szinte véletlen-



7. ábra. Coriolis-platform kísérlet-előkészítés közben [www.coriolis-legi.com/coriolis-turntable.htm].

szerűen születnek, az áramlások állandóan változtatják meanderező alakjukat. Ezért nehéz az időjárást is és az éghajlatra oly nagy hatással levő tengeráramlások jellegét is pontosan előre jelezni.

## Záró gondolatok

Mint utóbbi példáink mutatják, a hagyományosan a földrajz témakörébe sorolt áramlási jelenségeknek tisztán fizikai okai vannak. A Coriolis-erő által szabályozott földi áramlások energiája ráadásul felülmúlja több millió atomrobbantás energiáját is. Mindez számos megoldatlan tudományos problémát rejt magában, melyek vizsgálata egyre környezettudatosabb világunkban a modern fizikai kutatás része. Ez nem az egyetlen példa arra, hogy *klaszikus fizika is lehet modern fizika*.

Az elméleti kutatások mellett széleskörű kísérleti vizsgálatok is folynak, melyekbe hazánkban az ELTE Kármán Laboratóriuma kapcsolódott be [6]. Nagyon kevesen tudják, hogy létezik egy a témánkkal kapcsolatos európai nagyberendezés, a Grenoble-ban található *Coriolis-platform*. Ez egy 14 m átmérőjű henger, mely körülbelül 1,5 m magasan tölthető fel folyadékkal, s maximális fordulatszáma 3/perc (7. ábra). A platformon valóság-hű domborzati modellek is kialakíthatók. Modern műszerei révén a berendezés alkalmas az árapályerőművek modellezésétől kezdve a ciklonképződésen és a légköri turbulencián keresztül a Jupiter légkörében megjelenő áramlási mintázatokig számos környezeti jelenség pontos kísérleti vizsgálatára.

Végül egy kérdés. Ha a gimnáziumok kilencedik osztálya számára írt földrajzkönyv [2] vállalkozhat a Coriolis-erő, sőt azzal kapcsolatban olyan bonyolult jelenség elmagyarázására is, mint a ciklonok kisodródása (5.a ábra), bölcseknél tesszük-e, hogy a Coriolis-erőt a középiskolai fizikaoktatásban sehol sem említjük?



A szerző köszönetét fejezi ki Gyüre Baláznak, Jánosi Imrének és Szabó Gábornak a forgó rendszerek dinamikájával kapcsolatos értékes eszmecseréért.

## Irodalom

1. BUDÓ ÁGOSTON: *Mechanika* – Tankönyvkiadó, Budapest, 1979.
2. NEMERKÉNYI ANTAL, SÁRFALVI BÉLA: *Általános természetföldrajz a gimnáziumok 9. évfolyama számára* – Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2002.
3. HORVÁTHY PÉTER: *Merre esik az alma a fájától?* – Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapok 55 (2005) 297
4. HORVÁTH GÁBOR: *A mechanika biológiai alkalmazásai* – ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2001.
5. A.E. GILL: *Atmosphere–Ocean Dynamics* – Academic Press, New York, 1982.
6. JÁNOSI IMRE, TÉL TAMÁS, SZABÓ GÁBOR, HORVÁTH VIKTOR: *A környezeti áramlások fizikája* – Fizikai Szemle, 51 (2001) 6–8

## ETTORE MAJORANA (1906–1938)

Toró Tibor  
Temesvár

A 2006-os évben a neutrínófizikának három fontos évfordulója van:

1. Fél évszázada, hogy (a Reines–Cowan-kísérletben) sikerült az (anti)-neutrínó közvetlen kimutatása;

2. 75 éves a neutrínó létezésére vonatkozó hipotézis;

3. 100 évvel ezelőtt született *Ettore Majorana* olasz fizikus, az egyik érdekes neutrínóelmélet megalkotója.

A neves Fermi-tanítvány, Ettore Majorana, 1906. augusztus 5-én született a szicíliai Cataniában. 1928-ban végezte a római Tudományegyetem fizikai fakultását, ahol egy évre rá *Fermi* irányítása alatt elméleti fizikából doktorált.

A neutron felfedezése után, 1932-ben, *D. Ivanyenkó*-tól és *W. Heisenberg*-től függetlenül rájött arra, hogy az



atommag csak protonokból és neutronokból áll. Ezt az elméletet kollégái többszörös biztatására sem közölte. Majorana magerőről szóló dolgozata később, 1933-ban, Heisenberg biztatására jelent meg (*Zeitschrift für Physik*, 82, 133, 1933), amikor egy pár hónapig Lipcsében, a Heisenberg vezette Elméleti Fizikai Intézetben dolgozott. (Amely, Majorana megjegyzése szerint, „üde környezetben, a temető és a bolondokháza között” helyezkedett el.)

1938. március 28-án Majorana – abban az időben a nápolyi Tudományegyetem professzora – teljesen ma sem ismert körülmények között, eltűnt. (*Leonardo Sciascia* szicíliai író Majorana titokzatos eltűnéséről szóló érdekes könyvében – L. Sciascia: *La scomparsa di Majorana*)



rana, Torino, 1977, *Majorana eltűnése*, Magvető Kiadó, Budapest, 1978, azt a történeti szempontból paradox hipotézist fogalmazza meg, hogy az korai tiltakozásként fogható fel az atomfegyverek ellen, még az atomhasadás felfedezése előtt. Lehet, hogy igaza van?)

De ki is volt tulajdonképpen Ettore Majorana? Erre a legrövidebb és legrapportszerűbb választ maga Enrico Fermi adta, amely a szicíliai Ericében lévő és ma Majorana nevét viselő nemzetközi tudományos központ (Centro di Cultura Scientifica Ettore Majorana) *Progress in Scientific Culture* című folyóiratának minden számában olvasható az eltűnt tudós fényképe alatt:

„...különféle rendű és rangú tudósok szaladgálnak a világban. Másod- és harmadrangú valakik, akik minden tőlük telhetőt megtesznek, mégsem mennek sokra. Elsőrangúak, akik nagy horderejű, alapvető felfedezésekre

jutnak, amelyekkel előbbre viszik a tudományt. *S aztán a zsenik, mint Galilei és Newton. Nos hát Ettore Majorana ez utóbbiak közé tartozott.*” (T.T. kiemelése.)

Majorana legfontosabb tudományos alkotása a neutrínó-elmélet, melyet 1937-ben publikált (*Teoria simmetrica dell'elettrone e del positrone* – Il Nuovo Cimento 5 1937, 171–184). Elmélete szerint a neutrínónak nincs antirészecskéje, mint a Dirac-elméletben, hanem a neutrínó azonos az antineutrínóval, hasonlóan a foton esetéhez. Az ilyen típusú neutrínót nevezik ma Majorana-neutrínónak.

Az utóbbi években több kísérletsorozatot is végeztek a Majorana-típusú neutrínók kimutatására, a kettős bétabomlások felhasználásával. Sajnos, egyelőre konkluzív eredmény nélkül, de a mérések tovább folynak.

A Majorana-centenárium rendezvényei Rómában és Ericében már megkezdődtek.

## A FIZIKA TANÍTÁSA

# A DOPPLER-KÉPLETEK EGYSZERŰ LEVEZETÉSE

Légrádi Imre

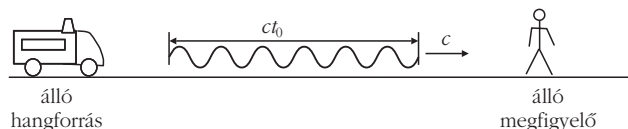
Széchenyi I. Gimnázium, Sopron

Gimnáziumban a hangtan tárgyalása során kerül sor a Doppler-elv ismertetésére. Az alábbiakban azt szeretném bemutatni, hogyan beszélhetjük meg az elv legegyszerűbb eseteit egy egyenes mentén haladó objektumokra vonatkozólag.

Célszerű kialakítani egy egyszerű képet, amely a hangforrásból a tér minden irányában elinduló gömbszerű hanghullámnak csak egy bizonyos irányban, mégpedig az észlelő irányában, haladó sugarát veszi figyelembe. Továbbá célszerű úgy gondolkodni, hogy a hangforrás csak egy meghatározott ideig bocsát ki hanghullámot. Ezek alapján elképzelünk egy „hangkígyót”, amely kibújik a hangforrásból, az eleje elindul az észlelő felé, s hosszúságát az szabja meg, hogy a hangforrás működési ideje alatt milyen hosszú „kígyó” tudott kibújni. Ez a hangkígyó azután önállósítja magát, azaz hangforrástól és észlelőtől függetlenül  $c$  sebességgel halad a levegőben, ahol  $c$  a hang levegőbeli terjedési sebessége.

Ezzel a hangkígyóval való gondolkodásunknak a következő fő lépései lesznek:

- 1) Milyen hosszú hangkígyó keletkezik?
- 2) Mennyi idő alatt halad el a hangkígyó és az észlelő egymás mellett?
- 3) Az észlelő által hallott hang rezgésszámának meghatározása a hangkígyó hossza és a 2) lépésben meghatározott időtartam segítségével.



Amikor a hangkígyó odaér az észlelőhöz és elhalad mellette, akkor az észlelő annyi ideig hall hangot, amennyi idő a hangkígyónak ahhoz kell, hogy elhaladjon az észlelő mellett. Ez az időtartam  $t_0$  ideig sugárzó, álló hangforrás és álló megfigyelő esetében, természetesen,

$$t = \frac{c t_0}{c} = t_0,$$

mert a  $c t_0$  hosszúságú hangkígyó az álló levegőben szintén álló észlelőhöz képest  $c$  sebességgel halad. Ilyenkor nem is beszélünk Doppler-effektusról.

Tanulóink leghamarabb az autóverseny kapcsán ismerik el, hogy nekik is volt már részük a Doppler-effektus élményében. Ha van hanggenerátorunk, fel tudjuk idézni a versenyautó hangját, s ha gyorsan tudunk frekvenciát váltani, akkor a frekvenciaugrást is élethűen utánozhatjuk. De mindannyian be tudjuk mutatni a gumicső végére erősített, és körülbelül 1,5 m sugarú körön forgatott síp hangján észlelhető változásokat.

Hangsúlyozzuk, hogy a következőkben vizsgált esetekben a hangforrás sebessége kisebb a hang levegőbeli terjedési sebességénél. Ezt még versenyautónál is nyugodtan feltehetjük.

*Az autóversennyel vagy szirénázó mentőautóval kapcsolatos eset, azaz álló észlelőhöz közeledő, majd tőle távolodó hangforrás vizsgálata.*

Adjon az álló észlelőhöz közeledő hangforrás  $t_0$  ideig hangot. Legyen a hangforrás saját rezgésszáma  $f_0$ . Ez az a hangmagasság, amelyet csak a mentős, illetve az autóver-



senyző hall. Mit is jelent ez a hangfrekvencia? Az 1 másodperc alatt lezajló rezgések számát. Ha a hangforrás  $t_0$  másodpercig szól, és ez idő alatt lezajlott, mondjuk,  $n$  rezgés, akkor azt is mondhatjuk, hogy

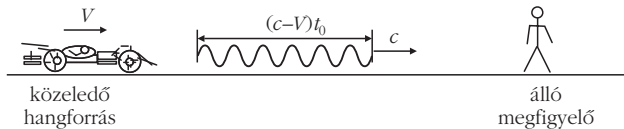
$$f_0 = \frac{n}{t_0}.$$

Ezt a gondolatot ki kell hangsúlyozni, hogy minden tanuló értse, ne csak formai megjegyzés legyen belőle.

Ezalatt a  $t_0$  időtartam alatt a hangforrásból kilépő hullámmalának, más szóval hangkígyónak a megfigyelő felé eső eleje, a levegőben  $c$  sebességgel haladva a megfigyelő felé,  $c t_0$  utat tesz meg. A hangforrás  $V$  sebességgel halad utána, tehát a  $t_0$  időtartam alatt az is megtesz  $V t_0$  utat. Így a hangforrásból a  $t_0$  időtartam alatt

$$c t_0 - V t_0 = (c - V) t_0$$

hosszúságú hangkígyó „búvik ki”, és önállósítja magát, azaz, mivel sebessége nagyobb a hangforrás sebességénél azt elhagyja, és tart a megfigyelő felé.



Az *ábra* szerint a hangkígyó  $c$  sebességgel halad a megfigyelő felé. Amikor az eleje eléri a megfigyelőt, az hallani kezdi a hangot. Mindaddig hallja, amíg a hangkígyó el nem haladt mellette. Mennyi időbe telik ez? Nyilván a hangkígyó hossza, osztva a megfigyelőhöz képesti haladási sebességével:

$$t = \frac{(c - V) t_0}{c}.$$

Ezalatt a  $t$  időtartam alatt a megfigyelő meghallja mind az  $n$  darab rezgést, amely a hangkígyóban utazik. Így tehát a megfigyelő által hallott hang magassága

$$f_{\text{közel}} = \frac{n}{t} = \frac{n}{\frac{(c - V) t_0}{c}}.$$

Itt fel kell ismerni, hogy  $n/t_0 = f_0$  a hangforrás eredeti hangmagassága. Így, végül, a megfigyelő által hallott hang frekvenciája

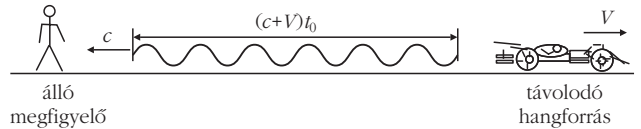
$$f_{\text{közel}} = \frac{f_0}{1 - \frac{V}{c}}$$

formában írható, amelyről könnyen látszik, hogy nagyobb a hangforrás igazi rezgésszámánál, vagyis a megfigyelő magasabb hangot hall, mint a közeledő hangforrás saját hangja.

Ha a hangforrás elhaladt a megfigyelő mellett és már távolodik tőle, akkor ismét adjon  $t_0$  időtartamig hangot  $f_0$  frekvencián. Most a megvizsgálandó hangkígyó hosz-

za más lesz, annak ellenére, hogy most is ugyanakkora  $t_0$  ideig szól a hangforrás. Ugyanis a megfigyelőtől távolodó hangforrásból a megfigyelő felé elinduló hangkígyó eleje a levegőhöz képest ismét  $c$  sebességgel jön ki a hangforrásból, de a hangforrás  $V$  sebességgel távolodik a megfigyelőtől, ennek következtében lesz a hangkígyó hossza

$$c t_0 + V t_0 = (c + V) t_0.$$



A megfigyelő a mellette elvonuló hangkígyót most

$$t = \frac{(c + V) t_0}{c}.$$

ideig hallja. A hallott hang frekvenciája az előzőekben mondottak szerint

$$f_{\text{távol}} = \frac{n}{t} = \frac{n}{\frac{(c + V) t_0}{c}} = \frac{f_0}{1 + \frac{V}{c}},$$

amely láthatóan kisebb  $f_0$ -nál, a hangforrás eredeti hangjának magasságánál, és persze, még kisebb a közeledéskor hallott rezgésszámánál.

A mellettünk elhaladó versenyautó hangjának jelentős ugrását hallhatjuk tehát, magas hangról mély hangra. A frekvenciaugrás rajzos szemléltetésekor ügyeljünk arra, hogy a közeledéskor hallott frekvencia és a hangforrás valódi frekvenciájának különbsége nagyobb, mint a hangforrás valódi frekvenciájának és a távolodáskor hallott frekvenciának a különbsége:

$$\frac{f_0}{1 - \frac{V}{c}} - f_0 = f_0 \frac{V}{c - V} \quad \text{közeledéskor, illetve}$$

$$f_0 - \frac{f_0}{1 + \frac{V}{c}} = f_0 \frac{V}{c + V} \quad \text{távolodáskor.}$$

Jól látható, hogy a közeledéskor adódó tört nagyobb. A grafikus ábra tehát ilyen:

$f_{\text{közeledő}}$	$f_0$
$f_{\text{távolodó}}$	$f_0$

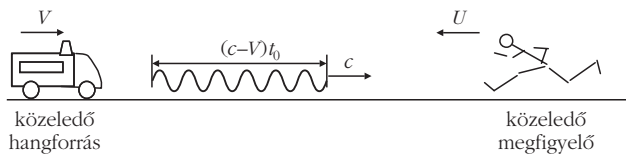
A teljes frekvencia ugrás

$$f_0 \frac{V}{c - V} + f_0 \frac{V}{c + V} = f_0 \frac{2 c V}{c^2 - V^2}$$

magyságú. A további lehetséges eseteket szintén a hangkígyó sugallta szemléletes kép alapján vezethetjük le.

Egymás felé közeledő, majd egymástól távolodó hangforrás és észlelő esete.

Az álló talajhoz és levegőhöz képest a hangforrás mozgáson  $V$  sebességgel, a megfigyelő mozogjon vele ellentétes irányban  $U$  nagyságú sebességgel. Mindkét sebesség kisebb a hang levegőbeli terjedési sebességénél. A hangforrás bocsásson ki ismét  $t_0$  ideig  $f_0$  frekvenciájú hangot.



A megfigyelő felé haladó hangkígyó hossza  $(c - V)t_0$ ,  $f_0$ -t ismét kifejezhetjük a  $t_0$  időtartam alatt lezajlott rezgések számával, azaz  $f_0 = n/t_0$ . A megfigyelő a levegőhöz képest, a hangkígyóval szemben,  $U$  nagyságú sebességgel halad negatív irányban, a hangkígyó pedig a levegőhöz képest most is  $c$  sebességgel halad pozitív irányban, így a megfigyelőhöz képesti sebességének nagysága  $c + U$ . A megfigyelő annyi ideig hallja a hangot, amíg a hangkígyó és ő elhaladnak egymás mellett:

$$t = \frac{(c - V)t_0}{c + U}.$$

Ez idő alatt a megfigyelő  $n$  darab rezgést hall, tehát az általa észlelt rezgésszám:

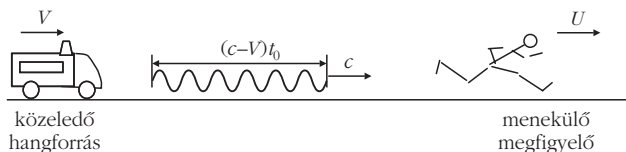
$$f = \frac{n}{t} = \frac{n(c + U)}{(c - V)t_0}.$$

A hangforrás saját,  $n/t_0 = f_0$  rezgésszámát bevezetve, a  $V$  sebességű hangforrással szemben  $U$  nagyságú sebességgel haladó megfigyelő által észlelt hang frekvenciája:

$$f = \frac{c + U}{c - V} f_0.$$

Ez a frekvencia, a képletből láthatóan, mindenképpen nagyobb a hangforrás saját frekvenciájánál.

Itt érdemes felvetni azt az esetet, amikor az észlelő „menekül” a hangforrás elől, természetesen  $U < c$  sebességgel. Ezt az utóbb kapott képletben  $U$  előjelének cseréjével kapjuk, de gyakorlásként érdemes megint részleteiben meggondolni.



Ebben az esetben a hangkígyó utoléri az észlelőt, majd el is hagyja. Együttlétük időtartama

$$t = \frac{c - V}{c - U} t_0.$$

Az észlelő által érzékelt hang rezgésszáma

$$f = \frac{n}{t} = \frac{n(c - U)}{(c - V)t_0} = \frac{c - U}{c - V} f_0.$$

Nos, erről nem tudjuk előre megmondani, hogy  $f_0$ -nál kisebb vagy nagyobb-e. Ez  $U$  és  $V$  egymáshoz képesti nagyságától függ, de ha a hangforrás és észlelő közeledéséhez ragaszkodunk, akkor  $U < V$ , a hallott hang magasabb  $f_0$ -nál.

Másik érdekes eset az, ha a megfigyelő és a hangforrás ellenkező irányban, ugyanazon az egyenesen távolodnak egymástól. A megfigyelő sebessége  $U$  nagyságú, ugyanakkor a hangforrás sebessége  $V$  nagyságú. Most is adjon ki a hangforrás  $t_0$  időtartamon át hangjelet, és álljon ez a hangkígyó is  $n$  darab rezgésből. A megfigyelő után repülő hangkígyó hossza most  $(c + V)t_0$ .

Miután utolérte a hangsebességnél kisebb sebességgel haladó megfigyelőt, ahhoz képest a sebessége csak  $c - U$  lesz, de elhagyja. Így a megfigyelő az  $n$  darab rezgést most

$$t = \frac{c + V}{c - U} t_0$$

időtartam alatt észleli. Az általa hallott hang frekvenciája tehát

$$f = \frac{n}{t} = \frac{n(c - U)}{(c + V)t_0} = \frac{c - U}{c + V} f_0,$$

amely frekvencia, mint a képletből látható, feltétlenül kisebb a hangforrás saját frekvenciájánál.

Az előbbi két eset természetesen magába foglalja azt is, amikor a hangforrás áll, és csak a megfigyelő mozog. Ez  $V = 0$  helyettesítéssel kell, hogy adódjék. Iskolai gyakorlásként azonban érdemes meggondoltni a hangkígyó alkalmazásával.

A fentiekben nem tárgyaltunk minden lehetséges esetet, az elmondottak csak a „hangkígyó” módszertani ötletének megvilágítására szolgáltak.

A róla elnevezett jelenségről *Doppler* 1842-ben fejtette ki elgondolását *Über das farbige Licht der Doppelsterne* (A kettőscsillagok színéről) című, Prágában megjelent munkájában. Mint az a címből látható, nem a hangtani jelenség volt figyelmének középpontjában, hanem a kettőscsillagok fénye. A Doppler-elv azért is fontos a fizika tudomány számára, mert a színképvonalak eltolódásának vizsgálata segítségével csillagászati ismeretekhez is jutottunk.

További említésre méltó érdekesség, hogy az álló helyzetű kisülési csőben gerjesztett gázatomok által kibocsátott fény vizsgálata során tapasztalható jelenség, a spektrumvonalak kiszélesedése is Dopplerre emlékeztet. Tekintve a gázban azokat az atomokat, amelyek mindegyike – azonos gerjesztettségénél fogva – ugyanazt a frekvenciájú fényt bocsátja ki, ezek fénye a spektroszkópban mégsem egyetlen vékony fényvonal lesz. Hanem, mivel a Maxwell-féle sebességeloszlás szerint különböző egyedi sebességgel mozognak össze-vissza, egy részük a spektroszkóp felé, más részük attól távolodva, érvénybe lép Doppler elve, s az atom által ténylegesen kisugárzott  $f_0$  frekvencia helyett annál kisebb és annál nagyobb frekvenciákat is észlelünk, ami a spektroszkópban úgy jelenik meg, hogy a spektrumvonal kiszélesedik.

# BESZÁMOLÓ A XVI. ÖVEGES JÓZSEF FIZIKAVERSENYRŐL

Az ELFT Általános Iskolai Oktatási Szakcsoportja a 2005/2006-os tanévben 16. alkalommal rendezett fizikaversenyt a 14 éves tanulók számára. Ez a verseny az első igazi alkalom arra, hogy a korosztály fizika iránt érdeklődő, tehetséges tanulói országos szinten összemérhessék tudásukat, illetve a döntőn találkozhatnak is egymással, tapasztalatokat cserélhessenek.

Az első tizennégy évben a döntő előtti fordulót a megyék, illetve a budapesti kerületek a helyileg kialakított hagyományoknak megfelelően szervezték meg. Csak a döntő lebonyolítása volt a Fizikai Társulat, azaz az Általános Iskolai Oktatási Szakcsoport feladata. A 2003/2004-es tanévtől kezdődően azonban az Oktatási Minisztérium csak az általa kiírt pályázaton nyertes szervezőket támogatta anyagilag. Ekkortól vállalta magára a Szakcsoport a verseny I. és II. fordulójának a megrendezését is.

Ennek feltétlenül előnye, hogy minden versenyző azonos feltételek teljesítése esetén juthat tovább, valóban a feladatokat legjobban megoldók mérhetik össze tudásukat mind a II., mind a III. fordulóban. A változás letagadhatatlan hátránya viszont az, hogy sem az I., sem a II. forduló nem tartalmazhat kísérleti feladatot, mivel az sehogyan sem biztosítható, hogy minden helyszínen azonos feltételek mellett dolgozhassanak a diákok.

A szervezés évről-évre nagyon komoly feladatot jelent a Szakcsoport, illetve a Társulat titkársága számára. Az idén például 382 iskola 1545 tanulójaához kellett eljuttatni a feladatsorokat, amelyeket a Szakcsoport vezetősége által felkért feladatkitűző bizottság (tagjai: *Csákány Antalné*, ny. főiskolai adjunktus, az ELFT Általános Iskolai Oktatási Szakcsoportjának elnöke, *Pápai Gyuláné*, ny. általános iskolai tanár és *Zátonyi Sándor*, ny. OPI főigazgató-helyettes) állított össze. A nevezéseket is a Társulat titkársága gyűjtötte össze.

A versenyt ebben az évben sem lehetett volna megszervezni az iskolákban lelkesen dolgozó, nagy hivatás tudattal rendelkező és elkötelezett fizikatanárokat, az intéz-

mények érdekeit jól látó és képviselő, a tehetséges tanulók fejlődését szem előtt tartó igazgatók, a még működő szaktanácsadók, illetve Pedagógiai Szolgáltató Központok közreműködése nélkül.

A tavalyi verseny döntőjét csak szponzorok anyagi támogatásával tudtuk a korábbiakhoz hasonlóan úgy megszervezni, hogy a versenyzőknek a döntő ideje alatt ne kelljen fizetni se a szállásukért, se az étkezésükért. Ezért ebben az évben 1000 Ft nevezési díjat kértünk a tanulóktól. A nevezési díj 40%-át átutaltuk a megyei pedagógiai intézeteknek a verseny II. fordulójának szervezési költségeire (terembér, dolgozatok javítása, postaköltség stb.). Az átutalást szintén a Társulat titkársága végezte.

A verseny I. fordulóját tömegversenynek terveztük. Ezzel azt szeretnénk volna elérni, hogy minél több gyerek érjen el sikereket a versenydolgozat megírásakor, és kapjon kedvet a fizikával való elmélyültebb foglalkozáshoz. Ezért az I. forduló feladatai nem voltak sokkal nehezebbek, mint egy átlagos iskolai dolgozat feladatai.

A feladatok és megoldásuk megtalálhatók az alábbi honlapokon: [www.kfki.hu/elftaisk](http://www.kfki.hu/elftaisk) (Szakcsoport honlapja), [www.fizika.hu](http://www.fizika.hu) (a Mozaik Kiadó honlapja), [www.kfki.hu/education/verseny/oveges](http://www.kfki.hu/education/verseny/oveges) (közvetlen információk a versenyről, *Janóczki József* kezeli), [www.tar.hu/fiztan](http://www.tar.hu/fiztan) (*ifj. Zátonyi Sándor* által kezelt honlap).

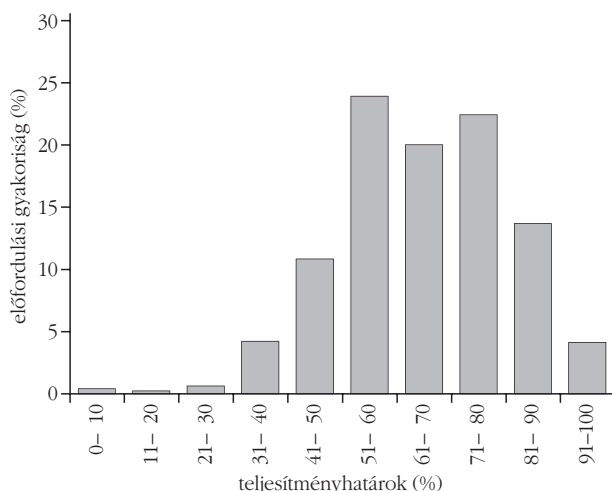
Az I. fordulóban – a versenykiírásnak megfelelően – számításos és teszt jellegű feladatokat kellett megoldani a versenyzőknek. A dolgozatokat az iskolákban javították ki a tanárok, a feladatkitűzők által összeállított javítási útmutató alapján.

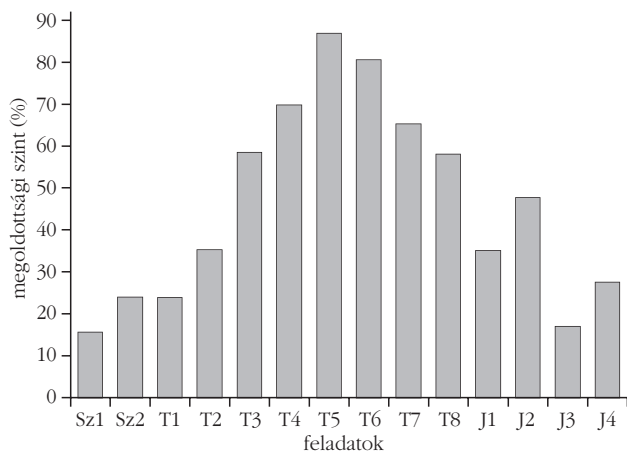
Azért, hogy megtudjuk, hogyan oldották meg az egyes feladatokat a tanulók, a feladatok minden egyes részlete megoldottságának visszajelzésére alkalmas statisztikai lapot szerkesztett Csákány Antalné (a verseny felelőse) és *Hajdú Györgyné* (Budapest, XIII. kerületi Pedagógiai Szolgáltató Központ), és arra kérték a javító tanárokat, hogy ezek kitöltése mellett szövegesen is értékeljék a feladatsort.

A részben elektronikusan, részben papíron visszaküldött adatok összesítése alapján állíthatjuk össze az I. forduló teljesítményeloszlását (*1. ábra*). Látszik, hogy teljesítettük a kitűzött célt: sok gyerek tudta jól megoldani a feladatsort, az I. fordulóban induló gyerekek 86%-os átlagteljesítményt értek el. Az indulók 38%-a, 601 tanuló dolgozott 70%-nál eredményesebben, ők juthattak a II. fordulóba.

A II. forduló feladatait és azok javítókulcsát Csákány Antalné, *Kövesdi Katalin* (SzTE TFK), *Fülöp Viktorné* (Mosonszentmiklós) és *Jeszzenszky János* (Budapest) állította össze. A II. fordulóba jutott diákokat a megyei versenyfelelősök értesítették az újabb verseny helyszínéről és időpontjáról. A versenyfelelősök által megbízott tanárok javították ki a dolgozatokat a szervezők által küldött javítókulcs felhasználásával. A legjobb 70 dolgozat készítője vehetett részt a verseny döntőjében.

1. ábra. Az I. fordulóban mutatott versenyzői teljesítmények





2. ábra. A II. forduló feladatainak megoldottsága

A feladatsor összeállításánál kiemelt szempont volt az, hogy az induló 601 versenyző közül jól ki lehessen választani a döntőbe jutó legjobbakat. Emiatt nem fordítottunk különös gondot arra, hogy az pusztán az iskolai törzsanyag ismeretében sikeresen legyen megoldható.

A döntőbeli feladatsor a versenykiírásnak megfelelően két számításos feladatot és 8 tesztfeladatot tartalmazott, továbbá 4 jelenség értelmezését kérte. Ez a feladatsor és javítókulcsa szintén megtalálható a szakcsoport már említett honlapján.

Az egyes feladatok sikeres megoldóiról készült statisztikából (2. ábra) látszik, hogy a számításos feladatokat sokan nem tudták jól megoldani, és a jelenségelemzés is túl nehéznek bizonyult több versenyző számára. Ez utóbbiban bizonyára nemcsak a jelenség okának megtalálása, hanem a magyarázat pontos mondatokba fogalmazásában hiányzó gyakorlat is nehézséget okozott. Mivel azonban a kétszintű érettségi tartalmaz ilyen típusú feladatokat, nem baj, ha legalább a versenyre készülő tanulók találkoznak már korábban is ilyen feladatokkal. A továbbjutó versenyzők teljesítményének átlaga 63% volt.

A verseny döntőjét ebben az évben is, már harmadik alkalommal, a győri Kazinczy Ferenc Gimnáziumban rendeztük meg. Jelentős szerepet vállaltak ebben társrendezőként: Győr-Moson-Sopron Megye Közgyűlése, Győr Megyei Jogú Város Polgármesteri Hivatala, Győr-Moson-Sopron Megye Pedagógiai Intézete és a Kazinczy Ferenc Gimnázium.

A hagyományokhoz híven az Öveges József Fizikaverseny országos döntőjére meghívást kaptak a határainkon kívüli országokban fizikát magyar nyelven tanuló diákok legjobbjai is, idén összesen 11-en.

A döntő feladatkitűző bizottságát *Vida József*, az Egri Eszterházy Károly Főiskola Fizika Tanszékének főiskolai tanára vezette, aki egyben a versenybizottság elnöke is volt. Tagjai: *Ábrám László* (Budapest), *Janóczki József* (Debrecen), *Pál Zoltán* (Gödre) és *Wöller László* (Győr) voltak. A döntő zsűrijének elnöki tisztét *Hadházy Tibor*, a Nyíregyházi Bessenyei György Főiskola Fizika Tanszékének tanszékvezető főiskolai tanára, a versenybizottság titkári feladatait *Ősz György*, az ELFT Általános Iskolai Oktatási Szakcsoportjának vezetőségi tagja látta el.

A versenyzők május 19-én érkeztek Győrbe. A döntő ünnepélyes megnyitóján a szervezőkön kívül jelen volt:

*Németh Judit* akadémikus, a *Fizikai Szemle* főszerkesztője, *Balogh József*, Győr Megyei Jogú Város polgármestere, *Turbók Arnold Bertalan*, a Győr-Moson-Sopron Megyei Pedagógiai Intézet igazgatója.

Fülöp Viktorné szaktanácsadó felolvasta *Göncz Árpádnénak*, a verseny fővédnökének a diákokhoz intézett levelét, Németh Judit és Csákány Antalné köszöntötte a versenyzőket, majd Balogh József megnyitotta a versenyt.

A megnyitó után – az elmúlt évek gyakorlatához híven – városnézés következett. A versenyzők és kísérőik megnézték a Czuczor Gergely Bencés Gimnáziumban a Jedlik-kiállítás, és koszorút helyeztek el Jedlik Ányos szobránál.

A vacsorát követően *Pető István* dandártábornok, a kecskeméti Szentgyörgyi Dezső Repülőbázis parancsnoka *MIG-ek*, *GRIPEN-ek* és *a fizika* címmel izgalmas, a gyerekek által rendkívüli figyelemmel kísért előadást tartott.

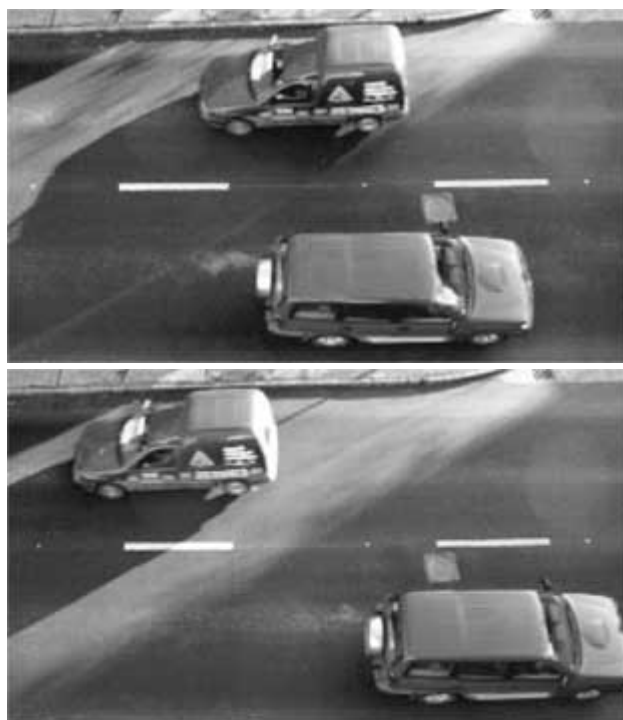
Másnap reggel 8 órakor kezdődött a verseny hat teszt feladattal, majd félórás szünet után két komolyabb, számításokat is igénylő feladat megoldásával folytatódott.

### Számításos feladat (1)

*Egy magas emeleti ablakból fényképeztük a ház melletti utca forgalmát. A két felvétel egymást követően 4/15 másodperc időkülönbséggel készült az egyenletesen haladó gépkocsikról (3. ábra).*

*a) Mekkora a gépkocsiknak az úttesthez, és mekkora az egymáshoz viszonyított sebessége, ha az úttestet kettéosztó szaggatott választóvonal egy darabjának hossza 2 méter? (Az autók közötti távolságot a szaggatott vonalakkal párbuzamosan, az út hosszirányában kell megadni! Segítségére lehet a feladatlaphoz csatolt milliméter besztású papírcsík.)*

3. ábra. Fénykép az 1. számításos feladathoz





b) A mellékelt milliméter beosztású felületen két grafikon készíts! Külön ábrázold a két autó orrának, illetve végeinek távolságváltozását az idő függvényében! (A kép felső részén látható autót jelöld A-val, az alul levőt B-vel!)

A feladat újszerű volt, sokrétű képességet mért, és kreatív gondolkodást igényelt, de a javítást végző zsűritagokat is próbára tette. A grafikus ábrázolásban többen nem rendelkeznek megfelelő jártassággal, például az adott grafikonfelületen nem tudják az  $X$  és  $Y$  tengelyek léptékeit praktikus felvenni, nem jelölik ki láthatóan a grafikonfelületen az út-idő összetartozó értékpontjait, nem a megfelelő tengelyen veszik fel a független változót stb. Az átlagpontszám körül szóródott a tanulók több mint 50%-a.

#### Számítási feladat (2)

Egy szobai csillárban 3 darab 230 V, 40 W-os izzólámpa van, melyeket két kapcsolóval lehet működtetni.

1) Készítsd el az izzók azon lehetséges, egymástól különböző kapcsolásainak rajzát, melyekben, ha mindkét kapcsoló nyitva van, ne működjék egyik izzólámpa se, és egy kapcsoló zárásával ne legyen működtethető egyszerre három izzó!

2) Válaszd ki ezek közül azokat, amelyekre érvényesek az alábbi feltételek, és a kiválasztott kapcsolások minden lehetséges kapcsolóállásában határozd meg az izzólámpák által leadott összteljesítményt! Mindegyik esetben indokold!

Feltételek:

- Egy adott kapcsolásban a különböző kapcsolóállások különböző összteljesítményt szolgáltatassanak!

- Nem engedélyezett az áramforrás rövidzárlata!

Az izzólámpa ellenállása függ az izzószál hőmérsékletétől. A névleges feszültség felével működő izzók ellenállása 30%-kal kisebb ahhoz képest, mint ha 230 V-on működnének.

Sok tanulónál a kapcsolási rajzok rendezetlenek, nem áttekinthetőek voltak. A megoldásokban levezetési hiányosságokat, algoritmushibákat tapasztaltak a javítást végzők. A versenyzők többsége az átlagpontszám alatt teljesítette ezt a feladatot, a teljesítményszint mindössze 39%-ot ért el.

Amíg a versenyzők a kitűzött feladatok megoldásával foglalkoztak, addig Csákány Antalné és Juhász Nándor az ELFT Általános Iskolai Oktatási Szakcsoportjának vezetője tagja a felkészítő tanárokkal a verseny eddigi tapasztalatairól, szervezéséről és jövőjéről tartott megbeszélést.

Ebéd után folytatódott a verseny a kísérleti, a kísérletelemző, és az Öveges József-életútját feldolgozó fizikorténeti feladat megoldásával.

#### Kísérleti feladat

A mérőkísérlethez az asztalon előkészített eszközök állnak rendelkezésedre. A zsebtelep záró fedelét előzetesen felbontottuk, így láthatod, miként van a három elem összekapcsolva.

Feladatok:

a) Kapcsolj a telepről 1,5 V-ot, 3 V-ot és 4,5 V-ot a 6 V / 3 W-os kerékpárizzóra, és mérd meg az áthaladó áramerősségeket!

b) Készíts a méréshez kapcsolási rajzot és töltsd ki az alábbi összefoglaló táblázatot!

c) A táblázat felhasználásával készíts grafikon a mellékelt milliméter beosztású felületen az áram-feszültség összefüggéséről!

d) Adj magyarázatot az alábbi kérdésre: a kétszer, háromszor, négyszer nagyobb feszültség hatására miért nem kétszer, háromszor, négyszer nagyobb az izzólámpán áthaladó áram erőssége?

$U$ (V)	$I$ (A)	$R$ ( $\Omega$ )	$P$ (W)
1,5			
3			
4,5			
6			3

A diákok többsége biztosan kezelte az elektromos mérőműszereket, és az áramköröket is megfelelően össze tudta állítani. Csak néhány tanuló számára volt ismeretlen a mérőműszer, ők nem tudták használni azokat. 50% alatt a tanulóknak mindössze 11%-a teljesített.

#### Kísérletelemző feladat

A kísérletet bemutató személy gyűjtőlencse mögött egy lézerezőforrást mozgat fel és le úgy, hogy a lézernyaláb a lencse optikai tengelyével mindig párhuzamos maradjon. Egyik esetben a felfogó ernyőt a lencse előtt 15 cm-re, másik esetben 45 cm-re helyezi el. A fényfolt függőleges irányú elmozdulása mindkét esetben ugyanakkora hosszúságú, viszont az elmozdulás iránya a lézer mozgató irányával az egyik esetben megegyezik, másikban ellentétes lesz.

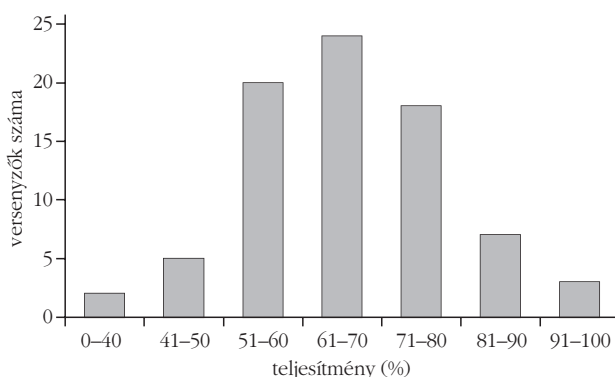
a) Adj magyarázatot a látott jelenségre! Készíts ábrát az elemzéshez!

b) Mekkora a lencse gyűjtőtávolsága?

Mivel az optika témaköre a tananyag legvégén található, arra számítottunk, hogy ez a feladat teszi majd leginkább próbára a legtöbb tanulót. Meglepetésre, ennél érték el legtöbben a maximális pontszámot, a versenyzők fele 87% felett teljesített.

A feladatsor összes feladatának hibátlan megoldásával együttesen 136 pontot lehetett volna szerezni, ennyit egyetlen versenyző sem ért el. Az első helyen végzett tanuló 128 ponttal győzött. Az összes megszerzett pont egy versenyzőre jutó átlaga 88,3, ez 64,9%-os teljesítményszintnek felel meg.

4. ábra. A döntő versenyzőinek teljesítményszint szerinti eloszlása







5. ábra. Az első helyezett Fonyó Dávid felkészítő tanárával, Vargáné Pompor Máriával

A 4. ábra grafikonja azt szemlélteti, hogy szám szerint hány tanuló került be az egyes, százalékban megadott teljesítménykategóriákba.

A verseny után – a kötetlen programok alatt – a kifüggesztett posztereken mindenki tanulmányozhatta a feladatok helyes megoldását. Majd, a vacsorát követően, *Csodás fizikai kísérletek* címmel Molnár Miklós, a Szegedi Tudományegyetem docense tartott látványos és érdekes kísérleti bemutatót.

Az ünnepélyes eredményhirdetésre május 21-én, vasárnap reggel a városháza dísztermében Juhász Nándor levezető közreműködésével került sor. A díszelnökségben helyet foglalt Kovách Ádám, az ELFT főtitkára, Szabó Miklós, Győr-Moson-Sopron Megye Közgyűlésének alelnöke és Németh Tibor, a Győri Kazinczy Ferenc Gimnázium igazgatója is. Kovách Ádám a fizikaversenyek szerepéről, fontosságáról beszélt. A versenyt Hadházy Tibor értékelte, majd Csákány Antalnival és Vida Józseffel átadta a versenyzőknek a díjakat és okleveleket. Csákány Antalné megköszönte a versenyszervezők munkáját és a szponzorok anyagi támogatását. A verseny Szabó Miklós szavaival zárult.

## Díjak, jutalmak

Ebben az évben hetedik alkalommal talált gazdára az ELFT Általános Iskolai Szakcsoportja által alapított *Öveges József Érem*. Az idén Fonyó Dávid (Keszthely), a verseny első helyezettje, és felkészítő tanára, Vargáné Pompor Mária kapta (5. ábra). Az érmeket Kaposvárott, a XXX. Általános Iskolai Fizikatanári Ankét és Eszközkiállítás ünnepélyes megnyitóján vehették át.

A zsűri a legjobb 28 versenyzőt (70% feletti teljesítményért) díjazta. I. díjat érdemelték ki a 90% felett, II. díjat a 80–90%-ot, míg III. díjat a 70–80%-ot teljesítő versenyzők.

I. díjat kaptak: FONYÓ DÁVID (Keszthely, tanára: Vargáné Pompor Mária, 94,1%), ÉLES ANDRÁS (Debrecen, Kiszely Ildikó, 92,6) és CSEPPENTŐ LAJOS (Karcag, Pardy Károlyné, 90,4).

II. díjat kaptak: PETRI LÁSZLÓ (Okány, Pesti Györgyné, 83,1), KÖRMÖCZI LÁSZLÓ (Szeged, Jubász Nándorné, 82,4),

MARTON TAMÁS (Budapest, Kövesdy István, 82,4), PAPP BALÁZS (Miske, László Gyuláné, 82,4), REMES KRISTÓF BENCE (Barcs, Horváth Ferenc, 81,6), TÖRÖK LAJOS DÁNIEL (Budapest, Horváth Gábor, 80,9) és BEREZC DÉNES (Mezőkeresztes, Kirnyák Andrásné, 80,1).

III. díjat kaptak: PÁLOVICS PÉTER (Zalaegerszeg, Orbán Edit, 79,4), KELECSÉNYI NÁNDOR (Gyula, Szabadosné Bécsi Katalin, 78,7), SIPOS LEHEL (Sepsiszentgyörgy, Bodor Mária, 78,7), TRÉNYI RÓBERT (Szeged, Nagy Anett, 78,7), BENYÓ KRISZTIÁN (Balatonfüred, Benyóné Farkas Anna, 77,9), MÉSZÁROS ANDRÁS (Győr, Somogyi Sándor, 77,9), KRÄMER ZSOLT (Pécs, Sebestyén Zoltán és Sebestyén Zoltánné, 77,2), SZAKSZ GÁBOR (Budapest, Szeghő István, 77,2), SZIRMAI-KALOS BARNABÁS (Budapest, Horváth Gábor, 77,2), WAGNER ZSOLT (Budapest, Horváth Gábor, 76,5), BALÁZS SOMA MÁRTON (Budapest, Rudolf Tamásné, 75,0), FEKETE NORBERT (Budapest, Erdősi Katalin, 74,3), IZSÓF MÁTÉ (Lakszakállas, Bajcsi Barnabás, 72,8), NAGY DÁNIEL (Budapest, Csapó Ida, 72,8), GARAMSZEGI BALÁZS (Eger, Pecsenye Pál, 72,1), KRICHÓ DÓRA (Szombathely, Pál Anrásné, 72,1), MEZEI MÁRK (Budapest, Richtseidt Ferencné, 72,1) és MIKÓ ALBERT (Léva, Paterka Éva, 72,1).

Minden díjazott versenyző Magyar Bálint oktatási miniszter által aláírt oklevelet kapott. Ők és felkészítő tanáraik az oklevelek mellett helyezésüknek megfelelően jelentős értékű ajándék könyvsomagokat, illetve az *Élet és Tudomány*, a *PC World* és a *KöMaL* folyóiratok negyed, fél, illetve egy éves megrendelésére szóló előfizetéseket vihettek haza a felajánló kiadók jóvoltából.

Minden versenyző kapott egy-egy számot a *PC World* folyóiratból lemez melléklettel, az *Élet és Tudomány*, a *Természet Világa* korábbi számaiból, valamint a várost, a megyét és a támogató cégeket bemutató prospektusokat, ajándéktárgyakat.

Tíz kiemelkedő teljesítményt elért versenyzőt a Győr-Moson-Sopron Megyei Közgyűlés, a Győr-Moson-Sopron Megyei Pedagógiai Intézet, a Győr Megyei Jogú Város, a Czuczor Gergely Bencés Gimnázium, a Kazinczy Ferenc Gimnázium, a Budapesti Piarista Gimnázium és a Halászi Takarékszövetkezet különdíjban részesített.

A verseny döntőjének további eseményeit, a feladat-sort és annak megoldását tartalmazó kiadvány az ELFT titkárságán szerezhető be.

A XVI. Öveges József Fizikaverseny döntőjének gördülékeny lebonyolítása az előzőekben már említett és az alább megnevezett kollégák tevékeny közreműködése nélkül nem valósulhatott volna meg: Kiss Gyula, az ELFT Általános Iskolai Oktatási Szakcsoportjának titkára és a verseny ellenőre, Kleizerné Kocsis Mária, Nikházy Lászlóné, Slezsák Zsolt zsűritagok, Nagy Zsigmondné, az ELFT ügyvezető titkára, Gesztesi Péter, Gesztesi Péterné informatikus, Antoni Istvánné, Czínke Sándor, Horváthné Perger Zsuzsanna, Kódsi Jánosné, Kukorelliné Szabó Mónika, Vidáné Papp Csilla és Várhegyi Lászlóné felügyelőtanárok, Wöller Lászlóné, Poócza József és Sebestyén Zoltán szervezőtanárok.

A beszámolót készítették:  
Csákány Antalné, Jubász Nándor  
Ősz György, Vida József

# IX. ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ TANULMÁNYI VERSENY

Sükösd Csaba  
BME Nukleáris Technika Tanszék

2006 tavaszán a Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány és az Eötvös Loránd Fizikai Társulat kilencedik alkalommal rendezte meg az Országos Szilárd Leó Tanulmányi Versenyt. Már a 2004-es verseny meghirdetésekor a hagyományos tematika kibővült: a nukleáris témák mellé egyéb „modern fizikai” területek is bekerültek a kitűzött feladatok tematikájába. 2006-ban – újdonságként – határon túli magyar anyanyelvű iskolák tanulói részére is megnyílt a részvétel lehetősége. Ezzel 32 erdélyi tanuló élt is. Sajnos, Felvidékről, Vajdaságból és Kárpátaljáról nem érkezett nevezés. A verseny iránti érdeklődésben, a benevező diákok számában néhány év óta mutatkozó csökkenő tendencia nem változott. Míg korábban rendszeresen 400 fölött volt a jelentkezési létszám, 2005-ben a háromszázat sem érte el, 2006-ban is csak a határon túli résztvevőknek köszönhetően haladta meg a háromszázat. Ennek oka talán az, hogy az új érettségi-felvételi rendszer bevezetésekor, 2005-ben, az Oktatási Minisztérium – az OKTV kivételével – megvonta a felvételi kedvezményeket a magas színvonalú szakmai tanulmányi versenyek nyerteseitől.

Az első forduló (válogató verseny) 10 példáját az iskolákban lehetett megoldani 3 óra alatt. Kijavítás után a tanárok azokat a megoldásokat küldték be az Eötvös Társulatba, amelyekkel a 9–10. osztályos (junior) versenyzők legalább 40%-os, a 11–12. osztályos (szenior) versenyzők legalább 60%-os eredményt értek el. Ezeket ellenőrizve egy egyetemi oktatókból álló bírálóbizottság a legjobb 10 junior versenyzőt és a legjobb 20 szenior versenyzőt hívta be a paksi Energetikai Szakközépiskolába (ESZI) a 2006. április 29-én megrendezett döntőre. Sajnos a döntő időpontja egybeesett az Országos Irinyi Kémiai Versennyel, ezért a behívott junior versenyzők egyike nem tudott megjelenni. Végeredményben 20 szenior és 9 junior versenyző vett részt a döntőn. A versenyeken bármilyen segédeszköz (mobiltelefon és internet kivételével) használható volt.

A verseny lebonyolításáért felelős versenybizottság vezetője Sükösd Csaba, tagjai Berta Miklós, Czifrus Szabolcs, Radnóti Katalin, Szűcs József egyetemi, illetve főiskolai oktatók, Csajági Sándor, Kaszás Dezső, Kopcsa József, Mester András, Ujvári Sándor és Vastagh György középiskolai tanárok voltak. Különös gondot fordítottak arra, hogy a feladatok kitűzői, illetve a döntő dolgozatainak elbírálói között senki ne legyen, akinek tanítványa indult a versenyen.

Ismertetjük a válogató verseny, valamint a döntő feladatait, és a megoldások lényeges gondolatait.

## A válogató verseny (I. forduló) feladatai

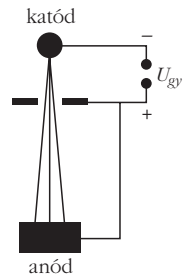
### 1. feladat

Egy röntgenső gyorsító feszültsége  $U_{gy}$ .

a) Mi annak a feltétele, hogy az anódból kiinduló röntgensugárzás fotonjai frontális ütközés során megállítsák a keltő elektronokat?

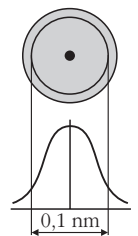
b) Legfeljebb mekkora lehet a röntgenfoton energiája egy ilyen ütközés után? (5 pont)

*Megoldás:* A feladatban leírt foton-elektron ütközés (egy speciális Compton-szóródás) a rajz alapján már teljesen felgyorsult elektronokon fog bekövetkezni. A kérdéses feltételt a lendület- és energiamegmaradási egyenletek felírásából lehet meghatározni. Az eredmény: a gyorsító feszültségnek 113,7 kV-nak, vagy ennél nagyobbak kell lenni. A b) kérdésre a válasz: a foton energiája legfeljebb két elektron teljes energiájával, azaz  $2eU$ -val lehet egyenlő.



### 2. feladat

A hidrogénatomban a proton vonzása tartja fogva az elektront. A hullámmodell szerint *alapállapotban* az elektront egy gömbszimmetrikus, csomófelület-mentes állóhullám írja le. Egyensúlyi állapotban a gömb alakú atom sugara  $R_0 \approx 0,05$  nm, energiája  $E_{H0} = -2,2$  aJ. A proton vonzásából származó *átlagos elektrosztatikus energia*  $1/R$ -rel arányos és értéke alapállapotban  $E_{p0} = -4,4$  aJ. Az „atomba zárt”, kvantumozott nyugvó elektron *átlagos mozgási energiája* pedig  $1/R^2$ -tel arányos.



Becsüljük meg, hogy a hidrogénatomot mekkora külső nyomással lehetne úgy összepréselni, hogy térfogata 1%-kal csökkenjen? (5 pont)

*Megoldás:* Vezessük be az  $\alpha = R_0/R$  jelölést! Ahhoz, hogy az atom térfogata 1%-kal csökkenjen (azaz az eredetinek 0,99-szorosa legyen), a sugarát  $(0,99)^{1/3} = 0,9967$ -szeresre kell csökkenteni. Ekkor tehát  $\alpha = 1/0,9967 = 1,0033$ . Az „összenyomott” H-atom energiaváltozása  $\alpha$  segítségével felírható:  $\Delta E = -E_{H0}(\alpha - 1)^2$ . Emiatt  $\Delta E = 2,4 \cdot 10^{-23}$  J. Az összenyomáshoz szükséges nyomást az energianövekedéshez szükséges munkavégzés  $\Delta E = p \cdot \Delta V$  alapján becsülhetjük. Az eredmény:  $p = 4,58 \cdot 10^9$  Pa.

*Megjegyzés:* A  $\Delta E = p \cdot \Delta V$  képlet alkalmazása csak közelítés a térfogati munkára, hiszen az összenyomás nem állandó nyomáson történik.

### 3. feladat

A Rák köd középpontjában – az 1300-as években történt szupernóva-robbanás maradványaként – egy neutroncsillag található, amelyet a csillagászok Rák-pulzárnak neveztek el. A Rák-pulzár saját tengelye körül 30 Hz-es fordulatszámmal forog. A csillag anyaga atommag sűrűségnek vehető ( $\approx 1,4 \cdot 10^{17}$  kg/m<sup>3</sup>).

a) Becsüljük meg, mekkora lehet a gömb alakúnak képzelte csillag sugara, ha tömegét a Nap tömegével ( $2 \cdot 10^{30}$  kg) vesszük azonosnak!

b) A csillag felszínén mekkora lehet a nehézségi gyorsulás ( $g_n$ ) értéke?

c) Vizsgáljuk meg, hogy a  $g_n$  értékét mennyire befolyásolja a csillag gyors forgása! Hasonlítsuk össze a Földön lévő viszonyokkal! (5 pont)

*Megoldás:* A csillag sugara körülbelül 15 km, a felszínén a gravitációs gyorsulás  $6 \cdot 10^{11}$  m/s<sup>2</sup>. A centrifugális gyorsulás nagysága kereken ezredrésze a gravitációs gyorsulásának, így a nehézségi gyorsulás értékét (a két gyorsulás eredőjét) a csillag forgása csak kis mértékben befolyásolja, akárcsak Földünk esetében.

#### 4. feladat

Melyik az az atommag, amelynek nukleonokból történő keletkezésekor előáll 0,908 százalékos tömeghiány 306,8 MeV energiának felel meg? A magot azonos számú proton és neutron alkotja. (5 pont)

*Megoldás:*  $\Delta E/c^2 = \Delta m = 9,08 \cdot 10^{-3} Z(m_p + m_n)$ . Ebből  $Z = 17,97 \approx 18$ , azaz az  $^{36}_{18}\text{Ar}$  argon atommagról van szó.

#### 5. feladat

Egy 50 m<sup>3</sup> térfogatú, jól záró szobában, amelyet már régen nem szellőztettek, a radon aktivitáskoncentrációja 800 Bq/m<sup>3</sup>.

a) Hány gramm radon áramlik be óránként a szobába a padlón keresztül?

b) Mit ajánlhatunk a lakóknak ilyen, vagy ennél nagyobb aktivitáskoncentrációnál? (5 pont)

*Megoldás:* Ebben a szobában egy óra alatt átlagosan  $N = A \cdot 3600 \cdot V = 1,44 \cdot 10^8$  radon atom bomlik el. Akkor marad fenn az egyensúly, ha ugyanennyi részecske áramlik be egy óra alatt. Ennek tömege  $5,33 \cdot 10^{-14}$  g. Az Európai Unió ajánlása szerint 400 Bq/m<sup>3</sup> aktivitáskoncentráció fölött a lakásban lakókat figyelmeztetni kell arra, hogy a radonkoncentráció túl magas. Általában gyakoribb szellőztetést, különösen esti, lefekvés előtti szellőztetést javasolunk.

#### 6. feladat

A Greenpeace aktivistái tüntettek annak idején a német egyesítés után nekünk átadott friss, használatlan atomerőművi üzemanyag-kazetták vasúti szállítása ellen, feltvén a környezetet a „sugárfertőzéstől”. Mi a véleményed erről az eseményről? (5 pont)

*Megoldás:* A használatlan üzemanyag-kazetták aktivitása nagyon kicsi, mert nagyon nagy felezési idejű urán-dioxidot tartalmaznak. A 238-as tömegszámú uránizotóp felezési ideje 4,5 milliárd év, a 235-ösé 700 millió év. Az üzemanyag-kazetták csak azután tesznek szert veszélyes aktivitásra, hogy a reaktorban már használatba vették őket, de ilyenkor igen komoly biztonsági szabályok betartásával kezelik. A másik probléma a sugárfertőzés fogalmának használata. A sugárzás nem fertőz, ilyenkor a sugárszennyezés, sugárterhelés a megfelelő kifejezés.

#### 7. feladat

Biológiailag az azonos energiájú neutron- vagy  $\alpha$ -sugárzás a veszélyesebb? (5 pont)

*Megoldás:* Külső sugárzás esetén a nagyobb áthatoló-képességű neutron, mivel belső szerveket is ér, főként protonokat lök meg, melyek már ionizálnak, így szabad

gyökök keletkeznek. Az  $\alpha$ -sugárzás nem tud áthatolni a bőrön, ezért külső sugárzás esetén kevésbé veszélyes. Belső sugárzáskor (inkorporációnál), ha bekerül a szervezetbe, akkor az  $\alpha$ -sugárzás minden részecskéje igen erősen ionizál, míg a neutronok egy része csak hosszabb úton adja le az energiáját. Így inkorporált sugárzó anyag esetén az alfa-sugárzás a veszélyesebb.

#### 8. feladat

A protonokat és neutronokat kétféle kvark alkotja. Az egyik az up kvark, töltése  $+2/3$ -szorosa az elemi töltésnek, a másik a down kvark, ennek töltése  $-1/3$ -szorosa az elemi töltésnek. A proton 2 up és 1 down kvarkból, a neutron 2 down és 1 up kvarkból áll. A kvarkok nem tudnak kiszabadulni, hanem csak a proton és a neutron belsejében, kötött állapotban léteznek. Mekkora energiájú elektronokkal végzett szórás kísérlettel tehetők ezek a kvarkok „láthatóvá”? (5 pont)

*Megoldás:* A proton nagyságrendileg  $10^{-15}$  m méretű. Egy kvark megfigyeléséhez olyan hullám már megfelelő lehet, amellyel ennek tizedrészét,  $10^{-16}$  m-t lehet megfigyelni. A de Broglie-összefüggés segítségével ebből az elektron lendülete, a relativisztikus  $E = p \cdot c$  összefüggés segítségével pedig az energiája is meghatározható. Az eredmény körülbelül 12,5 GeV.

#### 9. feladat

A párizsi Eiffel-torony 324 m magas, fémből (acélból) készült. A fémbe lévő vezetési elektronok a fémbe szabadon elmozdulhatnak. Az elektronoknak van tömege, mégsem „esnek le” mind a torony aljára.

a) Miért?

b) Mi történne abszolút 0 fokon? (5 pont)

*Megoldás:* Két oka is van annak, hogy a vezetési elektronok nem esnek le mind a torony aljára. Az egyik ok az elektrongázban lévő elektronok hőmozgása. Abszolút nulla fokon sem esne le azonban minden elektron a torony aljára. Az elektronok egy része „leesik”, és ezáltal potenciálkülönbség jön létre a torony alja és teteje között. Az így kialakult télerősség akadályozza meg a többi elektront, hogy leessen. Az egyensúly feltétele az, hogy az elektromos télerősségből származó erő éppen egyensúlyt tartson az elektronra ható gravitációs erővel. Azaz:  $eE = mg$ , amiből a szükséges télerősség kifejezhető, és a torony teteje és alja közötti potenciálkülönbségre körülbelül 18 nV-ot kapunk.

#### 10. feladat

Gyakran hallani arról, hogy a globális felmelegedés következtében előfordulhat, hogy leáll a meleg Golf-áramlat, és Nyugat-Európára újabb jégkorszak vár. Mi lehet ennek a magyarázata? (5 pont)

*Megoldás:* A Golf-áramlat hajtóereje az északi sarkkör és a déli meleg tengerek közötti hőmérséklet-különbség. A globális felmelegedés azonban nem egyenletesen melegíti a Föld minden területét. Míg a déli tengereken néhány fok felmelegedést okoz, a sarkkörökön a felmelegedés a tíz fokot is meghaladhatja (olvad a jég, csökken a hótakaró által fedett terület, növekszik a napfényből az energia elnyelése, és ez felerősíti a helyi melegedést). Ezáltal végeredményben csökken az áramlatot hajtó hő-

mérséklet-különbség. Ehhez hozzájárul még, hogy a sarkkörökön megolvadó jégből és hóból származó édesvíz éppen ott hígítja fel az áramlat vizét, ahol a hosszú úton történő párolgás következtében megnőtt sótartalom miatt a mélybe kellene buknia. A hígabb víznek kisebb lesz a sűrűsége, és ezért nem fog lebukni. Az áramlat keringési rendszere tehát megszakad.

## A döntő versenyfeladatai

Ezen a versenyen is, mint az első Szilárd-versenyen (valamint 2004 óta ismét), a Junior kategória versenyfeladatai részben eltértek a „nagyok” feladataitól.

### 1. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

A csernobili atomerőmű balesetekor a baleset helyszínétől távol a lakosság legnagyobb sugárterhelését a  $^{131}\text{I}$  és a  $^{137}\text{Cs}$  izotópok jelentették. Melyik a veszélyesebb? Ugyanakkora aktivitású  $^{137}\text{Cs}$ , vagy  $^{131}\text{I}$  bekerülése a szervezetbe? (5 pont)

Adatok: a  $^{137}\text{Cs}$  fizikai felezési ideje 30 év, biológiai felezési ideje 100 nap, a bomlásakor felszabaduló összenergia 1,176 MeV, amelyből 662 keV a leánymag gamma-sugárzása során keletkezik, a többi béta-bomlásakor. A  $^{131}\text{I}$  felezési ideje 8 nap, a bomlásakor felszabaduló összenergia 0,971 MeV, amelyből átlagosan 380 keV gamma-sugárzás formájában, a többi béta-bomlásban szabadul fel.

**Megoldás:** a két izotóp bomlásonként körülbelül ugyanannyi energiát ad le mind béta-, mind gamma-sugárzás formájában. A cézium azonban vízben oldódó alkálifém, mindenütt jelen van, ahová a szervezetben el tud jutni vízben feloldódva, a jód pedig specifikusan a pajzsmirigyben kötődik, és ott fel is halmozódik. Azonos aktivitás esetén tehát ugyanannyi leadott energia cézium esetén a teljes testben nyelődik el, jód esetén pedig kizárólag a pajzsmirigyben. Így a jód károsító hatása sokkal nagyobb.

### 2. feladat (kitűzte: Radnóti Katalin)

Egy TOKAMAK belsejében a következő fúziós folyamatot használják energiaátalakításra:  $\text{D} + \text{D} \rightarrow {}^3\text{He} + \text{n}$ . A TOKAMAK plazmájának magas hőmérsékletén a részecskének 10 keV átlagos mozgási energiájuk van. Mennyire közelíthetik meg egymást az ekkora átlagos energiával rendelkező részecskék? Valóban létrejöhet-e a fúzió ezen a hőmérsékleten? (5 pont)

**Megoldás:**  $2E = 20 \text{ keV} = 3,2 \cdot 10^{-15} \text{ J}$ , innen átlagosan  $R = k q_1 q_2 / 2E = 0,72 \cdot 10^{-13}$  méterre közelítik meg egymást. Egy kisebb atommag sugara  $10^{-15} \text{ m}$  körül van, ez ennek az értéknek körülbelül a 100-ad része (72-ed része). Az  $R_{\text{mag}} = 10^{-15} \text{ m}$ -es távolság eléréséhez a részecskének  $2E = k q_1 q_2 / R_{\text{mag}} \approx 2,3 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 1,44 \text{ MeV}$  energiával kell(ene) rendelkezniük, azaz részecsként 0,72 MeV energiával. Ezek szerint a fúzió nem jöhetne létre. Az, hogy mégis létrejön, két tényezőnek köszönhető:

- a részecskék egy része az átlagos energiánál jóval nagyobb energiával is mozoghat a Boltzmann-eloszlásnak megfelelően;
- az alagúteffektus miatt a Coulomb-gátnál kisebb energiájú részecskék is létrehozhatnak fúziót.

### 3. feladat (kitűzte: Radnóti Katalin)

A radioaktivitás felfedezését követően komoly feladat volt a keletkező részecskék energiájának meghatározása. Az első adatok az  $\alpha$ -részecskékre vonatkoztak. Az könnyen észrevehető volt, hogy a rádiumvegyületek mindig kissé melegebbek, mint a környezetük. Ha egy ilyen vegyületet kaloriméterbe helyeztek, megállapítható volt, hogy mennyi hőt fejleszt óránként. Ezt az értéket elosztva az óránként keletkező  $\alpha$ -részecskék számával, meg lehet határozni egy részecske energiáját. A következő feladat tehát a bomlások számának meghatározása. Ez úgynevezett spintariszkóp segítségével történt.

A spintariszkóp egy kis méretű doboz, amelynek az alját belülről cink-szulfiddal (ZnS) vonták be, míg a másik oldalán egy lencse van. A lencse és a cink-szulfid felület közé egy tűt helyeztek, melyre kis mennyiségű radioaktív anyagot vittek fel. A tűről a cink-szulfid felületre került  $\alpha$ -részecskék a nagyítón keresztül megfigyelhető szcintillációt, fényfelvillanást hoznak létre.

A rádium bomlási sora olyan, hogy három olyan bomlási termék, leányelem is felhalmozódik, melyek szintén  $\alpha$ -részecskéket bocsátanak ki.

Egy konkrét mérés a következőképp történt: Kaloriméterben lemérték, hogy 1 gramm rádium 588 J hőt fejleszt óránként. Ezután lemérték 5 mg rádiumot tartalmazó sót, melyet 5 liter vízben feloldottak. A jól összekevert oldatból ez után  $1 \text{ mm}^3$  oldatot juttattak a spintariszkóp tűjére, ahonnan a víz elpárolgott, és a rádiumtartalmú anyag ott maradt. A berendezés elrendezése olyan volt, hogy az  $\alpha$ -részecskéknél csak századrészt lehetett észlelni. A mérés során 100 másodperc alatt 37 felvillanás volt látható. Ezeknek alapján mekkora lehet az  $\alpha$ -részecske energiája? (5 pont)

**Megoldás:** A feladatban megadott adatokkal a rádium bomlásában keletkező  $\alpha$ -részecskék energiájára körülbelül  $1,1 \cdot 10^{-12} \text{ J}$  értéket kapunk.

### 4. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

A lakásban lévő fogyasztásmérőben (villanyóra) forgó elektromos mezőt hoznak létre a benne lévő tekercsek, amikor valamilyen fogyasztót rákapcsolunk a hálózatra. Ebben a forgó elektromos mezőben az ott elhelyezett alumínium korong forgásba jön.

Mi történne, ha alumínium korong helyett

- a) szigetelő korongot,
- b) szupravezető (pontosan 0 ellenállású) anyagból készült korongot

építenénk be a villanyórába? Többet, vagy kevesebbet mérne? Indokold meg a válaszokat! (5 pont)

**Megoldás:** Az alumínium korong azért kezd el forogni, mert a benne lévő szabad (vezetési) elektronokat a forgó elektromos mező gyorsítja. Mozgásuk közben azonban az elektronok a fémráccsal ütköznek (ettől van az anyagnak ellenállása), és lendületet (és energiát) adnak át a korongnak, miáltal az is forgásba jön. A szigetelő korong nem kezdene el forogni, mert nincsenek benne szabad elektronok, amelyeket a forgó elektromos mező fel tudna gyorsítani. A szupravezető korong sem jönne forgásba, mert abban vannak ugyan szabad elektronok, de energiájukat és lendületüket nem tudják átadni az anyagnak,

mivel nem ütköznek a rácscsal (ha ütköznenek, akkor energiát adnának át, és az anyagnak lenne elektromos ellenállása, azaz nem lenne szupravezető.) Tehát sem a szigetelő, sem a szupravezető korong nem fog forogni, a villanyóra semmit sem mérne.

#### 5. feladat (kitűzte: Radnóti Katalin)

Legalább mekkora annak a láncmolekulának a hossza, amelynek vizes oldatát kémcsőbe helyezve zöld színűnek látjuk áteső fényben? (5 pont)

**Megoldás:** A molekula a piros fényt nyeli el, ha áteső fényben zöldnek látszik. Az egydimenziós húrmodell alapján ebből a húr (molekula) hosszára  $a \approx 7,97 \cdot 10^{-10}$  m kapunk.

#### 6. feladat (kitűzte: Radnóti Katalin)

A müon az elektronnál 207-szer nagyobb tömegű, de azzal megegyező töltésű elemi részecske, amely a kozmikus sugárzás hatására keletkezik átlagosan 2 GeV energiával, magasan a földi légkörben. Mivel nehezebb az elektronnál, így elbomlik elektronra és neutrínókra a következő folyamat szerint:  $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$ .

Átlagos élettartama mindössze  $\tau = 2,15 \cdot 10^{-6}$  s. Érthetetlen volt azonban, hogy ilyen rövid élettartam mellett hogyan képes a müonok jelentős része áthatolni például 10 km vastag léggrétegen, hiszen nem haladhatnak gyorsabban, mint a vákuumbeli fénysebességgel? Mi a probléma megoldása? (5 pont)

**Megoldás:** 10 km-es magasságról fénysebességgel körülbelül a müon élettartamának tízszerese alatt lehetne leérni. Ez persze nem zárja ki, hogy müonok leérjenek, hiszen ez csak annyit jelent, hogy a fent keletkező müonoknak csak nagyon kicsi,  $e^{-10} = 4,5 \cdot 10^{-5}$ -ed része érne le. Van azonban egy másik hatás is, a relativisztikus idő-dilatáció, amely miatt a gyorsan mozgó müon saját koordinátarendszerében másként múlik az idő, mint ahogyan azt mi látjuk. Ami a 2 GeV mozgási energiájú müon számára  $\tau = 2,15 \cdot 10^{-6}$  s, az egy földi megfigyelő számára  $\tau' = 4,2 \cdot 10^{-5}$  s. Ez okozza, hogy a fent keletkező müonok jelentős része (kb. 63%-a) leér a Föld felszínére.

#### 7. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

Egy Pu–Be neutronforrás másodpercenként  $10^4$  neutronot bocsát ki tokozás nélkül. A forrást polietilénből készült, vastag falú műanyag tokba helyezzük. (A polietilén szén- és hidrogént tartalmaz.)

a) Jöhet-e ki *kevesebb* neutron a tokozott forrásból, mint a tokozás nélküliből?

b) Jöhet-e ki *több* neutron a tokozott forrásból, mint a tokozás nélküliből?

c) Jöhet-e ki *ugyanannyi* neutron a tokozott forrásból, mint a tokozás nélküliből?

A választ minden esetben indokolja is meg.

Megjegyzések:

1) A Pu–Be forrásban a következő Pu-izotópok vannak különböző koncentrációban:  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ . Ezek között vannak alfa-bomló, és hasadóképes izotópok is.

2) A valóságos Pu–Be forrásokat fémtokba helyezik. (5 pont)

**Megoldás:** mindhárom kérdésre igen a válasz. A polietilén tokozásnak kétféle hatása lehet:

- Elnyeli a neutronok egy részét. Emiatt jöhet ki *kevesebb* neutron tokkal, mint tok nélkül.

- Lelassítja és visszaszórja a neutronokat a forrás felé. A lassú neutronok a forrásban lévő hasadóképes Pu-izotópokban maghasadást okoznak, és ez többlet-neutronok fellépéséhez vezethet. Emiatt jöhet ki *több* neutron tokkal, mint tok nélkül.

A körülményektől (a tok vastagságától, a forrás izotópozsettelétől stb.) függ, hogy melyik hatás dominál. Ha a két hatás éppen kiegyenlíti egymást, akkor éppen ugyanannyi neutron is kijöhet tokkal, mint tok nélkül.

#### 8. feladat (kitűzte: Ujvári Sándor)

a) Mekkora, és milyen irányú a gyorsulása annak a Cosmos 1 nevű napvitorlásnak, amelynek tömege 100 kg, és a 600 m<sup>2</sup> felületű, tükröző felületű napvitorla a sugárzásra merőlegesen áll? A vitorlást nem a napszél, hanem a Nap által kibocsátott fotonok hajtják.

b) Mekkora és milyen irányú lesz a gyorsulás, ha a napvitorlát az előzőhöz képest 45 fokkal elfordítjuk?

c) Mi történne, ha a napvitorla nem tükröző lenne, hanem fekete? (5 pont)

Adatok: A Napból jövő fotonok teljesítménye 1353 W/m<sup>2</sup> a Föld távolságában. A Nap tömege  $2 \cdot 10^{30}$  kg, a Nap–Föld távolság  $1,5 \cdot 10^{11}$  m.

**Megoldás:** A Nap gravitációs vonzóereje a vitorlásra 0,59 N, és a Nap felé mutat. A fotonok által a vitorlásra gyakorolt erő az időegység alatt átadott lendületből határozható meg: 0,0027 N. Itt két esetet kell megkülönböztetnünk:

a) Ha a vitorla fekete, azaz teljesen elnyeli a sugárzást, akkor ennyi lendületet vesz át a sugárzásból, ezért a vitorlásra „kifelé” ekkora erő hat. Az eredő erő tehát  $0,59 - 0,0027 = 0,5873$  N a Nap felé.

b) Ha a vitorla teljesen tükröző, akkor a ráeső sugárzást visszaveri, és akkor az átvett lendület az előzőnek a kétszerese. Az eredő erő még ekkor is a Nap felé mutat.

Ha a vitorlát elfordítjuk, az átadott lendület iránya is megváltozik, és a gravitációs és a fénynyomásból eredő erők vektori eredőjét kell kiszámítani. Ez lehetőséget ad a „pályamenti” gyorsításra, és így a napvitorlás fokozatosan energiát nyerhet.

### I. kategória (széniorok) utolsó két feladata

#### 9. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

A sok ismert *stabil* atommag között mindössze négy olyan van, amelyekben mind a protonok, mind a neutronok száma páratlan. Ezek:  $^2_1\text{H}$ ,  $^6_3\text{Li}$ ,  $^{10}_5\text{B}$ ,  $^{14}_7\text{N}$ .

a) Mi az oka annak, hogy a páros proton- és/vagy neutronszámú atommagok általában stabilabbak?

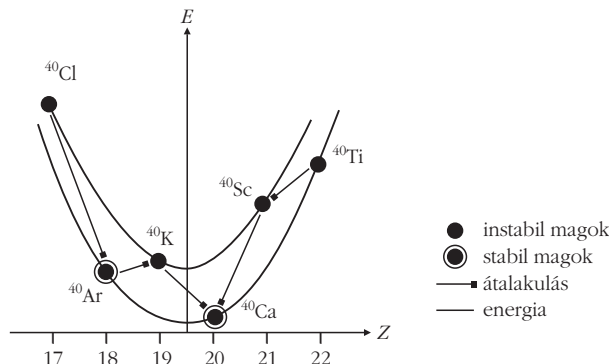
b) Mi lehet az oka, hogy csak a legkisebb páratlan számok esetén vannak stabilan létező páratlan-páratlan atommagok? (5 pont)

**Megoldás:**

a) A párenergia az oka annak, hogy a páratlan-páratlan atommagok kevésbé erősen kötöttek („magasabb energiájúak”), mint a páros-páros atommagok.



b) Az alapállapotú atommagok (kötési) energiafelületének tulajdonságaiból következik, hogy az azonos tömegszámú ( $A$ ) atommagok energiája a rendszám ( $Z$ ) függvényében parabola mentén helyezkedik el. Ezt azonban a párenergia jelenléte módosítja. A tömegszám a rendszám ( $Z$ ) és a neutronok számának ( $N$ ) összege:  $A = Z + N$ . Páros tömegszámot (pl. 40) azonban kétféleképpen is elő lehet állítani: páros  $Z +$  páros  $N$ , valamint páratlan  $Z +$  páratlan  $N$ .

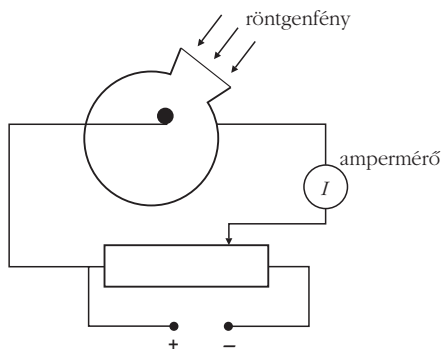


Ez ahhoz vezet, hogy egy páratlan-páratlan atommagnak mindkét oldalon lehet olyan „szomszédja”, amelyekre való bomlás energetikailag kedvező. A  $^{40}\text{K}$ -hoz hasonló atommagokat tehát az energiavölgy „alján” lévő, páratlan-páratlan atommagok között kereshetjük. Az energiavölgy „oldalán” már a Pauli-lejtő meredeksége miatt nem fordulhat elő, hogy mindkét szomszéd alacsonyabb energiájú legyen.

A könnyű atommagoknál már olyan meredek a parabola, hogy a szomszédok mindenképpen feljebb kerülnek. Ezért vannak stabil páratlan-páratlan atommagok csak a könnyű atommagok között.

#### 10. feladat (kitűzte Szűcs József)

Az *ábrán* látható kísérleti összeállításban egy gömb alakú, fémházas légritkított edény közepébe lítiumból készült katódot helyezünk. A katódot ablakon keresztül ismeretlen hullámhosszú, monokromatikus röntgenfénnyel sugározzuk be. A besugárzás hatására a katódból kilépő elektronok zárják az összeállítás áramkörét: a nagy érzékenységű ampermérő áramot jelez.



Az ellentér feszültségét növelve két komponens figyelhető meg. Körülbelül  $U = 100$  V feszültségig az áramerősség folyamatosan csökken. Ezt követően az áramerősség kis értéken marad, és csak körülbelül  $U = 5000$  V feszültséggel lehetne teljesen megszüntetni.

a) Mekkora lehet a monokromatikus röntgensugárzás hullámhossza?

b) Mi lehet az oka a két komponens felléptének? (A feltételezést számítással is támasszuk alá) (5 pont)

Megjegyzés: a lítium kilépési munkáját a számításokban elhanyagolhatjuk.

*Megoldás:* A „fotocella” elektronjait két folyamat válthatja ki: a fotoeffektus, illetve a Compton-effektus. Ez az oka a két komponens felléptének.

a) Mivel 5000 volton szűnik meg minden áram, így biztos, hogy a lítium a röntgenfoton teljes energiáját elnyeli fotoeffektussal. Ebből a röntgensugárzás hullámhosszára  $2,48 \cdot 10^{-11}$  m adódik.

b) A Compton-szórás esetén az elektronok akkor kapják a legnagyobb energiát, amikor a szóródott foton éppen visszafelé szóródik. A Compton-effektusra vonatkozó összefüggésekből a meglökött elektron energiájára ilyen feltételekkel 95,96 eV adódik, s ez teljesen összefér a kísérletben tapasztaltakkal.

## II. kategória (juniorok) utolsó két feladata

### 9. feladat (kitűzte: Vastagh György)

Egy gyorsítócsőben a céltárgyra 32 fJ energiájú deuteronnyaláb érkezik. Az ionáram erőssége 300  $\mu\text{A}$ . Mennyi energiát kell másodpercenként elvezetni a céltárgyról, hogy az ne melegedjen? (5 pont)

*Megoldás:* annyi energiát kell elvonni, amennyit a deuteronok a céltárgynak átadnak. Az áramerősségből az időegység alatt a céltárgyba becsapódó részecskék száma, és ebből végül is a céltárgynak átadott energia meghatározható. Az eredmény: 60 J másodpercenként.

### 10. feladat (kitűzte Vastagh György)

Egy üzemben a hegesztési varratok átvilágítására  $^{60}\text{Co}$  izotóp gamma-sugárzását használják. A  $^{60}\text{Co}$  bomlásakor atommagonként két gamma-foton keletkezik. Az egyik foton energiája 0,187 pJ, a másiké 0,213 pJ. A radioaktív preparátum a beszerzéskor  $3,7 \cdot 10^{10}$  Bq aktivitású volt, egy év alatt az aktivitása 12,2%-kal csökkent.

a) Mennyi a felezési idő?

b) Mekkora volt a preparátumból egy másodperc alatt kilépő gamma-fotonok összenergiája a beszerzéskor? (5 pont)

*Megoldás:*

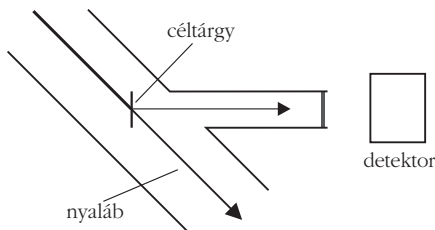
a) A felezési idő az egy év alatti aktivitáscsökkenésből az exponenciális bomlástörvény alapján meghatározható. Az eredmény:  $T = 5,33$  év.

b) Egy másodperc alatt elbomlott atommagok száma:  $N = A \cdot t = 3,7 \cdot 10^{10}$ . A fotonok összenergiája  $E = N(E_1 + E_2) = 3,7 \cdot 10^{10} \cdot (1,87 + 2,13) \cdot 10^{-13} = 1,48 \cdot 10^{-2}$  J.

## Számítógépes feladat

Egy gyorsítóberendezés mellett a következő kísérletet hajtjuk végre:

A gyorsítóban  $^{10}\text{B}$  ionokat (atommagokat) gyorsítunk, amelyek protonokat tartalmazó céltárgyra (pl. vékony polietilén-fólia) esnek. Ott rugalmatlanul szóródnak, és gerjesztett állapotba kerülnek. A detektor felé repülésük



közben elbomlanak, és gamma-sugarakat bocsátanak ki. Ezek a gamma-fotonok a Doppler-jelenség miatt módosított energiával érkeznek a detektorba. Vannak olyan atommagok is, amelyek csak az után bomlanak el, hogy a változtatható hosszúságú repülési cső végében lévő lemezben lefékeződnek. A detektor a kibocsátott gamma-sugarakat észleli.

*Feladatok:*

1) A gyorsító kikapcsolt állapotában „kalibráljuk” a detektorunkat standard sugárforrások segítségével ( $^{137}\text{Cs}$  – 662 keV,  $^{60}\text{Co}$  – 1170 keV, 1333 keV)

2) Vegyük fel a spektrumot a gyorsító bekapcsolt állapota mellett, különböző repülési csőhosszúságok esetén.

3) A felvett spektrumok alapján határozzuk meg a következőket:

- a gerjesztett állapot energiáját,
- a rugalmatlanul szóródott részecskék energiáját,
- a gerjesztett állapot élettartamát.

Figyelem! A számítógépes kísérlet elvégzéséről külön „mérési jegyzőkönyvet” kell beadni. A jegyzőkönyv tartalmazzon minden olyan adatot, amelyek a „kísérlet” megismétléséhez és az eredmények ellenőrzéséhez szükségesek (kiindulási, mérési adatok, számítási módszer, végeredmény stb.)! A kiértékeléshez és a jegyzőkönyv elkészítéséhez minden segédeszköz használható – beleértve a számítógépen rendelkezésre álló eszközöket is (pl. Excel). Excel használata esetén az Excel-táblát el kell menteni, és a jegyzőkönyvben fel kell tüntetni a nevé, hogy a kiértékeléskor a zsűri belenézhesen.

Segítség: A relativisztikus Doppler-effektus képlete:

$$f' = f \frac{\sqrt{1 + \frac{v}{c}}}{\sqrt{1 - \frac{v}{c}}}$$

(A program használatát külön részletes útmutató magyarázta el.)

## Kísérleti feladat

### Természetes eredetű radioaktív elemek vizsgálata

A mérésekhez a következő eszközök állnak rendelkezésre: 1 db porszívó, 1 db GM-csőes sugármérő detektorral, 1 db Bunsen-állvány fogókkal, 1 db műanyag írásvetítő fólia, 2 db léggömb, 1 csomag gézlap, 1 tekercs szigetelő szalag.

*Feladatok:* Gyűjts a méréseidhez radont és radon-leányelemeket! Írd le a jegyzőkönyvbe a gyűjtési módszer fontosabb elemeit!

Figyeld meg és jegyzőkönyvben dokumentáld a levegőben lévő, természetes eredetű radioaktív nemesgáz, a

radon összegyűjthető leányelemeinek bomlását! Várhatóan mennyi idő alatt fog a mérhető aktivitás a kezdeti aktivitás század részére csökkenni?

Mérésekhez a következőket tanácsoljuk: A radon-leányok összegyűjtése hosszú időt vesz igénybe, ezért ennek elindításával kezd a kísérleti munkát!

(A versenyzők számára még egy részletes útmutató is rendelkezésre állt a GM-csőes sugármérő készülék, valamint a hozzákapcsolt számítógépes mérőprogram használatára vonatkozóan).

## Értékelés

A verseny döntőjének délelőttjén a tíz elméleti feladat megoldására 3 óra, délután a számítógépes feladatra másfél óra, a kísérleti feladatra szintén másfél óra állt a versenyzők rendelkezésére. Egy-egy feladat teljes megoldása 5 pontot, a számítógépes feladat teljes megoldása 25 pontot, a kísérleti feladat teljes megoldása 25 pontot hozhatott, ez összesen 100 pont lehetett. A döntő I. kategóriás 10. feladatának kivételével valamennyi elméleti feladatra született tökéletes megoldás. A döntőben a legkiválóbb szenior versenyző 77 pontot ért el (tavaly 85 pont volt a legjobb eredmény). A legjobb junior versenyző 66 pontot ért el (tavaly 56 pont volt a legjobb). Legnehezebbnek a szenior versenyzők 10. feladata bizonyult – ahogyan arra a Versenybizottság számított is. A Versenybizottságnak meglepetést okozott az, hogy a kísérleti feladatra kevés helyes megoldás született, hiszen ez a feladat már szerepelt egyszer a Szilárd Leó versenyek történetében (1998-ban). Ennek oka valószínűleg kettős: egyrészt a felkészítő tanárok csapata lassan kicserélődik, másrészt pedig az ismeretek idővel „elkopnak”. Emiatt időnként nem árt megismételni egy-egy feladatot.



## 2006. évi díjazottak

### „Senior” kategória

I. díj: SZÉCHENYI GÁBOR (77 pont) Verseghy Ferenc Gimnázium (Szolnok), tanára *Pécsi István*,

II. díj: MOLNÁR KRISTÓF (75 pont), Zrínyi Miklós Gimnázium (Zalaegerszeg), tanára *Pálovics Róbert*,

III. díj: NAGY PÉTER (74 pont), Verseghy Ferenc Gimnázium (Szolnok), tanára Pécsi István.

### „Junior” kategória

I. helyezett: PÓSFALAI PÉTER (66 pont), Bolyai János Gimnázium (Kecskemét), tanára *Svibrán Éva*,

II. helyezett: ALMÁSI GÁBOR (61 pont), Leöwey Klára Gimnázium (Pécs), tanára *Simon Péter*,

III. helyezett: *Szolnoki Lénárd* (58 pont) Dóczy Gimnázium (Debrecen), tanára *Tófalusi Péter*.

A döntő résztvevői közt három leány volt: *Lovas Lia Izabella* (Junior 4.) Pécsről, *Szűjártó Rita* (Senior 9.) Szekszárdról és *Kovács Noémi* (Senior 18.) Budapestről.

A záróülésem a tanulói díjak és oklevelek átadása után került sor az idei *Delfin-díj* átadására, amelyet minden év-

ben a tanárok pontversenyében a legjobb eredményt elért tanárnak ítél oda a versenybizottság. Ebben az évben a *Delfin-díj*at NAGY TIBOR, a Bethlen Gábor Református Gimnázium (Hódmezővásárhely) tanára kapta. A *Delfin-díj* Alapszabályában a következő bekezdés is olvasható: „Az Alapítvány Kuratóriuma saját hatáskörben a nukleáris fizikai ismeretek oktatásában, népszerűsítésében kiemelkedő teljesítményt nyújtó további egy tanárt évente egy alkalommal részesíthet *Tanári Delfin-díj*ban.” Sükösd Csaba javaslatára a Kuratórium az idén külön *Delfin-díj*at is kiadott, amelyet CSAJÁGI SÁNDOR tanár úr (ESZI) kapott, az Országos Szilárd Leó tanulmányi versenyek döntőjének immár kilencedik éve történő tökéletes szervezéséért, és a verseny lebonyolításában kifejtett áldozatos munkájáért. A *Marx György Vándordíj*at – melyet a pontverseny legkiválóbb eredményt elérő iskolájának ítél a Versenybizottság – idén a *Verseghy Ferenc Gimnázium* (Szolnok) nyerte el.

Az ünnepi beszédek után Sükösd Csaba köszönetét fejezte ki a versenyt támogató Paksi Atomerőműnek és a paksi Energetikai Szakközépiskolának. A versenyt 2007-ban is megrendezzük változatlan tematikával. Jövőre még inkább *bátorítjuk a határon túli magyar tannyelvű iskolák tanulóit* is arra, hogy nevezzenek be az Országos Szilárd Leó Tanulmányi Versenyre.

## NÉGYSZÖGLETES KERÉK

### 139. PROBLÉMA

Egy fiatal eszkimó fókavadász az új szigonyát próbálgatja. A kisméretű, de nehéz szigonyhoz a földön fekvő vékony, hosszú, gondosan (gubancolódásmentesen) összekertett lánc csatlakozik. Amikor az eszkimó függőlegesen felfelé elhajtja szigonyát, az olyan magasra emelkedik, hogy a róla lelógó lánc tömege éppen megegyezik a szigony tömegével. Vajon hányszor magasabbra repülne az ugyanekkora kezdősebességgel függőlegesen feldobott szigony, ha nem lenne hozzákötve a lánc?

(Varga István, Békéscsaba)

### A 139. PROBLÉMA MEGOLDÁSA

Jelöljük a szigony tömegét  $M$ -mel, a lánc hosszegységre jutó tömegét  $q$ -val, a lánc pillanatnyi hosszát  $x$ -szel, ennek az idő szerinti deriváltját, vagyis a szigony pillanatnyi sebességét pedig  $v$ -vel! A lánc egyes darabkái úgy jönnek mozgásba, hogy a már mozgó lánc újabb és újabb szemeket ránt magával. Ez rugalmatlan ütközések sorozatán keresztül valósul meg, melyeknél a mechanikai energia *nem* marad állandó! Alkalmazható viszont az impulzusváltozás Newton-féle törvénye:

$$\frac{d}{dt}[(M + qx)v] = -(M + qx)g.$$

A bal oldalt átalakíthatjuk az alábbi módon:

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt}[(M + qx)v] &= \frac{dx}{dt} \frac{d}{dx}[(M + qx)v] = \\ &= v \frac{d}{dx}[(M + qx)v],\end{aligned}$$

amit  $(M + qx)$ -vel megszorozva teljes deriváltat kapunk:

$$(M + qx)v \frac{d}{dx}[(M + qx)v] = \frac{1}{2} \frac{d}{dx}[(M + qx)v]^2.$$

Integráljuk az

$$\frac{1}{2} \frac{d}{dx}[(M + qx)v]^2 = -(M + qx)^2 g$$

mozgásegyenletet  $x$  szerint a szigony  $v_0$  kezdősebességű eldobásától az emelkedés teljes  $H$  magasságáig, ahol  $v = 0$ :

$$\begin{aligned}\frac{1}{2} \int_0^H \frac{d}{dx}[(M + qx)v]^2 dx &= -\frac{M^2 v_0^2}{2} = \\ &= -g \int_0^H (M^2 + 2Mqx + q^2 x^2) dx = \\ &= -g \left( M^2 H + MqH^2 + q^2 \frac{H^3}{3} \right).\end{aligned}$$

Kihhasználva, hogy a feladat szövege szerint  $M = \rho H$ , a láncos szigony repülési magasságára végül

$$H = \frac{3}{7} \frac{v_0^2}{2g}$$

adódik. Ez az érték 7/3-szor kisebb, mint az ugyanakkora kezdősebességhez tartozó lánc nélküli eset

$$H_0 = \frac{v_0^2}{2g}$$

dobásmagassága.

A megoldásból az is leolvasható, hogy a láncos szigony kezdeti

$$\frac{1}{2} M v_0^2$$

mozgási energiája nagyobb, mint a szigony megállásának pillanatában számolható

$$MgH + \frac{1}{2} MgH$$

helyzeti energia; a mechanikai energiának 5/14-ed része, mintegy 36 százaléka disszipálódott.

(V.I.)

## 140. PROBLÉMA

Egy hegyes ceruzát függőlegesen, a hegyével lefelé egy vízszintes asztalra állítunk, majd elengedjük. A ceruza valamerre eldőlt és az asztalhoz csapódik. Elmozdul-e a dőlés közben a ceruza hegye, s ha igen, merrefelé?

(Varga István, Békéscsaba)

## KÖNYVESPOLC

# Zátonyi Sándor: FIZIKAI KÍSÉRLETEK KÖRNYEZETÜNK TÁRGYAIVAL

Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2006.

A körülöttünk lévő világ felfedezése, megismerése révén egy olyan kincs birtokába juthatunk, amely – válasszunk bármely szakmát, foglalkozást – sikeressé tehet. A helyes természettudományos világkép kialakításában segítségünkre lehet az iskolában egy jól felépített pedagógiai program, a médiumokban egy jó ismeretterjesztő. Ezt a felfedezést, megismerést egyre kevésbé kapjuk meg a közoktatásban, „köszönhetően” a természettudományok háttérbe szorulásának. Sajnos, nem jobb a helyzet a médiumok háza táján sem.

De nem ezt a súlyos helyzetet szeretném elemezni, hanem egy jó hírt szeretnék megosztani. Javaslom, fedezzünk fel mi magunk mindent! Ha ezt az, egyébként rögzöttebb, utat választjuk, akkor támaszkodhatunk a Nemzeti Tankönyvkiadó most megjelent könyvére, amely nem a tanítást teszi közvetlen céljává. Elsődleges feladatául – építve az önállóságra – az olvasó irányítását tűzte ki. Elindítani a megismerés útján, észrevétlenül átadni a tudományos módszert, a figyelmet a jelenségekre irányítani. A megfigyelendők és a tennivalók leírása mellett kérdések megfogalmazásával segíti a gyakorlatlan kezdőt. A természet megismerését elkezdeni az általános iskolában, lehetőleg már az alsóbb osztályokban kell. Aki ebben a korban megéri a kísérletezés örömeit, nem sok gondja lesz a természettudományokkal tanulmányai során. Ennek a korosztálynak sajátossága, hogy figyelmét még csak rövid időre lehet igénybe venni. A kísérletek beszerzésére, kivitelezésére, elvégzésére csak rövid időt lehet tervezni. Építeni kell a játékoságra.

Mindezeknek az elvárásoknak maradéktalanul megfelelően *Zátonyi Sándor: Fizikai kísérletek környezetünk tárgyaival* című könyve. A könyv előszavában a szerző könyvét a 9–14 éves korosztálynak ajánlja. Én továbbmegyek, és nem csak a kisiskolásoknak és felsőtagozatosoknak ajánlom e könyvet. Azok a szülők, akik nem szeretnék, hogy kísérletek nélkül tanuljon gyermekük fizikát, sok ötletet meríthetnek belőle. Ha egy szülő gyermekével együtt végzi el a könyvben leírt kísérleteket, az ismeretei felfrissítése mellett a természettudományok területén kívül eső élményhez is juthat – tapasztalhatja egyfajta kohéziós erő növekedését családján belül.

A kísérleteket konyhai eszközökkel, gyermekjátékokkal, számítógép-alkatrészekkel, esetleg egy marék száraz babbal végezhetjük el, csupa olyan, a legtöbbször otthon készen megtalálható eszközzel, amelyek látszólag nem fizikai kísérleti eszközök, és nem „szertárszagúak”. Kísérletezés után nem kapjuk készen a törvényszerűségeket, képleteket, nem vonja le a könyv a tanulságokat sem. Egy más módszert választott a szerző: feltesz egy-egy gondolkodtató, fejtető kérdést. Fogalmazódjanak meg a válaszok annak a fejében, aki mindezeket most tapasztalta. A kísérleteket tizenöt témakörből választotta a szerző, amelyek végigvezetnek a klasszikus fizikán.

*A víz és buborék a mérlegen* című kísérlet egyszerűségével és eredetiségével annyira megragadott, hogy azonnal elvonultam a konyhába, és családom bevonásával, a tikkasztó nyári kánikulában feláldozva az utolsó palack

ásványvizet, én magam is elvégeztem. A napelemekkel, a termoelemekkel, diódákkal és a világítódiodákkal való ismerkedés, ismertetés példaértékű, mert egyetlen felesleges szakkifejezés sem szerepel benne – amit a gyermek ebben a korban csak bebiflázni képes, megérteni nem. Mégis, szinte minden általános iskolában megtanítható tulajdonságra fény derül.

A könyv tartalmával összhangban van a kivitelezése. Kézbe véve a könyvet szép fényképeket, kedves, tartalomhoz és a korosztályhoz illő grafikát találunk. A könyv

mérete is mentes a kompromisszumoktól, ennek köszönhetően nem zsúfolt és nem indokolatlanul szellős. Az ízléses tipográfia és a jóminőségű papír mindezek mellé esztétikai élményt is nyújt. Összefoglalva: nagyon igényes tartalmú és kivitelű a könyv. A kötetet adhatjuk, ajánlhatjuk ajándékként is. Olvasóinak, követőinek ahhoz hasonlóan meghatározó olvasmányélménnyé válhat, mint *Öveges József*, vagy *Sztróka Kálmán* kísérletezni tanító könyvei.

Härtlein Károly

## HÍREK – ESEMÉNYEK

# AZ AKADÉMIAI ÉLET HÍREI

## Simonyi Károly Tudományos Emlékkülés, 2006

*Simonyi Károly* professzor születésének 90-ik, halálának 5-ik évfordulója alkalmából a Magyar Tudományos Akadémia, a Gábor Dénes Főiskola és a Magyar Természettudományi Társulat rendezésében 2006. október 11-én, szerdán 9.30 és 15.55 között Tudományos Emlékkülésre kerül sor a Magyar Tudományos Akadémia Felolvasó Termében (1051 Budapest, Roosevelt tér 9. I. em.). Az Emlékkülést ezúttal harmadízben rendezzük meg, a korábbi két Emlékkülésnek a Gábor Dénes Főiskola adott helyet.

Simonyi professzor humanista tudós és rendkívüli ember volt. Egyike volt az utolsó magyar polihisztoroknak, aki maradandót alkotott mind a természettudomány, mind a humán kultúra területén; életével és munkájával bizonyította, hogy az emberiség kultúrája egy és oszthatatlan. A *Villamosságtan*, az *Elméleti Villamosságtan* és az *Elektronfizika* című műszaki könyvtrilógiájával, és *A fizika kultúrtörténete* című hézagpótló, nagy formátumú munkájával nagyszerű szellemi örökséget hagyott maga után.

### A Tudományos Emlékkülés Programja:

*Kroó Norbert* akadémikus, az MTA alelnöke: *Megnyitó*

*Délelőtti ülés* – elnök: *Németh Judit* akadémikus

9.35–10.10: *Keszthelyi Lajos* akadémikus, biofizikus (MTA SzBK Biofizikai Intézet): *Simonyi professzorral a KFKI-ban*

10.10–10.45: *Bencze Gyula* DSc, fizikus (Simonyi Károly díjas, MTA KFKI RMKI Elméleti Osztály): *Az Oppen-*

*heimer-Phillips folyamat életrajza. Esettanulmány 3 felvonásban*

10.45–11.20: *Klopper Ervin* CSc, villamosmérnök, filozófus (Magyar Természettudományi Társulat): *Korok és körök. A  $\pi$ -szám 4000 éve*

11.20–11.55: *Fodor György* DSc, professzor emeritus, villamosmérnök (BME Elméleti Vill. Tsz.): *Jelfrekvencia sávjának definíciói*

11.55–12.35: Ebédszünet

*Délutáni ülés* – elnök: *Keszthelyi Lajos* akadémikus

12.35–13.10: *Kiss Ádám* DSc, fizikus (Simonyi Károly díjas, ELTE TTK Atomfizikai Tsz.): *Gyorsított részecskék szerepe mai életünkben*

13.10–13.45: *Gazda István* CSc, tudománytörténész (Gábor Dénes Főiskola Alaptudományi Tsz.): *A fizika kultúrtörténetének tudománytörténeti forrásai*

13.45–14.20: *Fehér István* CSc, vegyész, radiológus (MTA KFKI AEKI Sugárvédelmi Főosztály): *Termolumineszcens személyi dozimetria*

14.20–14.55: *Kovács Győző* Hc, villamosmérnök (Magyar Teleház Szövetség): *A 21. század számítógépe és informatikája*

Minden érdeklődőt szeretettel várunk. Az Emlékküléssel kapcsolatban bármilyen felvilágosítás: *Klopper Ervin*, CSc, szervező, tel.: (+36-1) 424-7459, mobil: (06-30) 443-7739, e-mail: klopper.ervin@axelero.hu

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

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

Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős: Németh Judit főszerkesztő.

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

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

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

Megjelenik havonta, egyes szám ára: 700.- Ft + postaköltség.

HU ISSN 0015-3257



# A TÁRSULATI ÉLET HÍREI

## Eötvös-verseny – 2006

Az idei Eötvös-versenyt 2006. október 20-án, pénteken délután 15<sup>h</sup>-tól 20<sup>h</sup>-ig rendezti meg az Eötvös Loránd Fizikai Társulat.

Részt vehetnek rajta mindenekelőtt az idén (2006-ban) érettségizett diákok, valamint mindazok, akik jelenleg is középiskolai tanulók. Nemcsak magyar állampolgárságú versenyzők indulhatnak, hanem Magyarországon tanuló külföldi diákok, valamint külföldön tanuló, de magyarul értő és beszélő diákok is, ha 2006-ban érettségiztek, vagy jelenleg is középiskolai tanulók.

A megoldásokat magyar nyelven kell elkészíteni; a rendelkezésre álló idő 300 perc, minden segédeszköz használható, de mobiltelefont a versenyre bevinni tilos!

Előzetesen jelentkezni nem kell, elegendő egy személyazonosság igazolására szolgáló okmánnyal (személyi igazolvány, fényképes diákigazolvány vagy útlevél) pontosan megjelenni az alábbi helyszínek valamelyikén:

*Budapest:* Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar, XI. ker. Pázmány P. sétány 1/A

*Debrecen:* Debreceni Református Kollégium Dóczy L. Gimnáziuma, Kossuth utca 35–37.

*Szeged:* Szegedi Tudományegyetem Természettudományi Kar, Tisza Lajos körút 84–86., II. em. Elméleti Fizika tanterem

*Pécs:* Pécsi Tudományegyetem Fizika Tanszék, Ifjúság útja 6., A/408 tanterem

*Miskolc:* Miskolci Egyetem, Egyetemváros, Fizika tanszék

*Veszprém:* Veszprémi Egyetem, Egyetem utca 10., A épület A1 tanterem

*Eger:* Eszterházy Károly Tanárképző Főiskola Fizika Tanszék, Leányka utca 4., 118. sz. előadóterem

*Kecskemét:* Katona József Gimnázium, Dózsa György utca 3.

*Nyíregyháza:* Bessenyei György Tanárképző Főiskola Fizika Tanszék, Sóstói út 31/b, 309. sz. tanterem

*Győr:* MTESZ Székház, Szent István utca 5.

*Békéscsaba:* Széchenyi István Szakközépiskola, Andrássy út 1.

*Nagykanizsa:* Batthyány Lajos Gimnázium, Rozgonyi út 23.

*Szekszárd:* Garay János Gimnázium, Szt. István tér 7–9.

*Sopron:* Széchenyi István Gimnázium, Templom utca 26.

*Székesfehérvár:* Lánosz Kornél Reál Gimnázium, Budai utca 43.

*Szombathely:* Szent-Györgyi Albert Középiskola, Pázmány P. körút 28/A.

*Versenyzottság*

## Európában elsőként...

Felmérések szerint az Egyesült Államokban az elmúlt évtizedben megsokszorozódott azoknak a száma, akik hisznek a babonákban, a boszorkányokban, a horoszkópokban, a visszajáró lelkekben és egyéb természetfeletti jelenségekben. Különösen szembetűnő a növekedés a fiatalok körében.

Ez a tendencia azonban nem csak az Egyesült Államokra jellemző, Európában sincs másként, és, sajnos, itthon is ijesztően elszaporodtak azok a rovatok az újságokban, műsorok a televízióban, amelyek áltudományos vagy éppen tudománytalan nézeteket terjesztenek. Az emberek egyre nagyobb hányada „falja” ezeket a néha már szinte a középkort idéző szövegeket. A jelenség egyik oka bizonyosan az, hogy az átlagemberek – különösen a fiatalok – természettudományos műveltségi szintje az elmúlt 20 évben jelentősen alacsonyabb lett, nem utolsósorban az erősen csökkentett iskolai természettudományos óraszámok következtében. Amikor én jártam gimnáziumba, kétszer annyi órában tanultam fizikát, mint egy mai középiskolás.

Amellett, hogy ez veszélyezteti a műszaki és természettudományos szakemberek utánpótlását, egy sokkal mélyebb és elemibb ellentmondást is hordoz magában. Egyik oldalról a 21. század embere a fejlett országokban képtelen a tudomány és technika vívmányai (elektromos-

ság, távközlés, információtechnológia, biotechnológia) nélkül élni, másik oldalról pedig szellemileg a sötét középkor szintjére süllyed vissza, ami a természettudományos ismereteit illeti. Ezzel együtt jár, hogy az emberek egy része a tudomány eredményeinek köszönhető fejlődésben látja minden baj forrását (globális felmelegedés, környezetszennyezés, radioaktív hulladékok stb.).

Annak érdekében, hogy ez a fenyegető, tudathasadásos állapot elkerülhető legyen, a világ vezető kutató laboratóriumai – közöttük a Genf közelében levő CERN is – elhatározták, hogy segítik a fizikatanárokat. Segítségükkel a tanárok jobban meg tudják mutatni a fiataloknak azt, hogy a fizika és a tudomány az emberiség javát szolgálja, hogy a világ érdekes, és a tudomány szép, amelyet érdemes művelni.

Magyar fizikatanárok 38 fős csoportja indult augusztus 19-én 9 napos tanulmányútra a CERN-be. Ez Európában az első ilyen csoport, ezzel elsőként reagáltunk a CERN főigazgatója, *Robert Aymar* tavalyi kezdeményezésére.

A tanulmányutat az Eötvös Loránd Fizikai Társulat szervezte, a magyar CERN Bizottság, a SHIF Alapítvány és a CERN pedig anyagilag is támogatta. A részvételi lehetőséget a 2006. évi Országos Középiskolai Fizikatanári Anketon hirdettük meg. Az érdeklődés olyan nagy volt,

hogy már az Ankéton teljesen betelt a létszám, sőt sokan kerültek várólistára. A CERN tervei szerint ilyen tanulmányútra évente sor kerülhet.

Büszkék vagyunk arra, hogy a felkínált lehetőséggel elsőként élve egyfajta úttörő szerepre vállalkozhattunk a fizikatanítás terén Európában. A tanulmányút részletes szakmai programja angol és magyar nyelven az interneten

megtekinthető: <https://teachers.web.cern.ch/teachers/ntp/default.htm>. A csoport hazatérte után részletesen beszámolunk a tanulmányútról az interneten és, természetesen, a *Fizikai Szemlé*ben.

Sükösd Csaba

Eötvös Loránd Fizikai Társulat alelnöke  
a tanulmányút szervezője

## HÍREK A NAGYVILÁGBÓL

### Számítógépes módszerek a modern fizikában

Nemzetközi konferencia, Kolozsvár, 2006. november 3–4.

*Szervezők:* Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), Babeş–Bolyai Tudományegyetem, Fizika Kar, magyar tagozat és KMEI Interdiszciplináris Számítógépszimulációs Munkacsoport.

*A konferencia tudományos bizottsága:* Nagy László, egyetemi tanár, a konferencia elnöke, Karácsony János, egyetemi adjunktus, dékánhelyettes, Nêda Zoltán, egyetemi tanár.

*A konferencia célja:*

- a Kolozsváron, Erdély más városaiban és külföldön tevékenykedő magyar fizikusok közötti kapcsolattartás felélénkítése;
- diákok, fiatal kutatók saját kutatási eredményeinek bemutatása;
- neves meghívott előadók bemutatói a tudományterület legújabb eredményeiről;
- hagyományteremtés, a fizika témájú tudományos konferenciák rendszeressé tétele.

*Meghívott előadók:* Csernai László, Bergen University, Norvégia, Csörgő Tamás, KFKI, Budapest, Donkó Zoltán, SZFKI, Budapest, Jankó Boldizsár, University of Notre Dame, USA, Ravasz Erzsébet, Los Alamos National Laboratory, USA, Roska Tamás, Pázmány Péter Katolikus Egyetem, Budapest, Toroczka Zoltán, Los Alamos National Laboratory, USA, Tőkési Károly, ATOMKI, Debrecen és Vertse Tamás, ATOMKI, Debrecen.

*A konferencia nyelve:* magyar.

*Helyszín:* Babeş–Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár.

*Kapcsolattartás:* a konferencia elnöke: Nagy László, e-mail: lnagy@phys.ubbcluj.ro

Konferenciatitkárság: 400604 Kolozsvár, 1989. december 21. sugárút (Magyar u.), 116. sz., postacím: RO-400750 Cluj, C.P. 1-140., tel., fax: +40-264-590825, 594042, e-mail: emt@emt.ro, kapcsolattartó személy: Matekovits Hajnalka, e-mail: hajni@emt.ro.

*Honlap az interneten:* <http://fizikakonferencia.emt.ro>

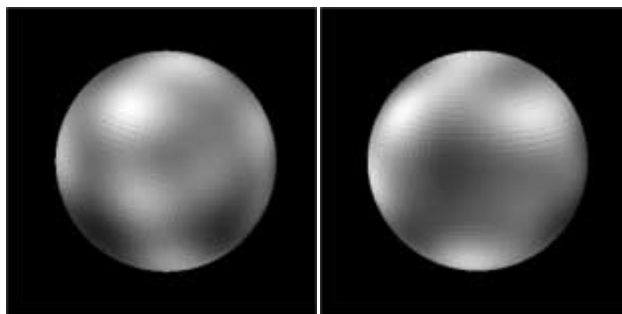
### Nyolc bolygó van a Naprendszerben!

A Nemzetközi Csillagászati Unió (International Astronomical Union, IAU) 2006. augusztus 14. és 25. között Prágában megrendezett XXVI. közgyűlése, amellyel, hogy több tucat szakmai konferenciának is otthont adott, összesen hat határozatjavaslattal készült a csütörtöki záró plénumra. Ezek közül kettő, a bolygók definíciója, illetve a Plútó és a Neptunuszon túli apró égitestek státusát szabályozó határozat keltette fel a sajtó érdeklődését. Nem véletlenül, hiszen a bolygók hagyományos értelmezése sok évezredes múltra tekint vissza, azaz az új definícióval a tudomány egyik legrégebbi fogalma változott meg, vagy, legalábbis, kapott új meghatározást. Az első javaslat („Bolygónak nevezünk azt az égitestet, (a) melynek tömege elegendően nagy ahhoz, hogy kialakuljon a hidrosztatikai egyensúlyt tükröző közel gömb alak, illetve (b) egy csillag körül kering, és se nem csillag, se nem hold egy másik bolygó körül”), amelynek definíciója alapján a már ismert apróbb égitestek közül akár 15 is átkerülhetett volna a bolygó kategóriájába, nagy felzúdulást váltott ki a csillagászok

között. Az érzelmi alapokon nyugvó ellenérzést tudományos érvekkel is alá lehetett támasztani, így a javaslat eredeti formájában nem élt sokáig.

Julio Ángel Fernández uruguay-i csillagász alternatív definíciót javasolt. Ebben a bolygók azok az égitestek, melyek a közvetlen környezetük legnagyobb objektumai, elegendően nagy tömegűek a közel gömb alak

Többé már nem bolygó, a Plútó a Hubble-űrtávcső felvételén



kialakulásához, illetve nincs fúziós reakciókon alapuló belső energiatermelésük. Javasolta továbbá, hogy a már 1900 előtt ismert bolygókat a klasszikus jelzővel különböztessük meg, míg a Plútó, a Ceres és a nagyobb Neptunuszon túli Kuiper-objektumokat a törpebolygók kategóriájába tartozzanak. Az összes többi természetes égitest (kisbolygó, üstökös) összefoglaló neve: a Naprendszer kis égitestjei.

Az IAU szakbizottsága módosításokkal élt, figyelembe véve a beérkezett bírálatokat és megjegyzéseket. Az IAU közgyűlésén augusztus 22-én megszületett határozat a Naprendszer bolygóit és egyéb égitestjeit az alábbi három kategóriába sorolja:

- 1) *Bolygó* az az égitest, amely
  - a) a Nap körül kering,
  - b) elegendően nagy tömegű ahhoz, hogy kialakuljon a hidrosztatikai egyensúlyt tükröző közel gömb alak és
  - c) tisztára söpörte a pályáját övező térséget.

- 2) *Törpebolygó* az az égitest, amely
  - a) a Nap körül kering,
  - b) elegendően nagy tömegű ahhoz, hogy kialakuljon a hidrosztatikai egyensúlyt tükröző közel gömb alak,
  - c) nem söpörte tisztára a pályáját övező térséget és
  - d) nem hold.

3) Az összes többi Nap körül keringő objektumot, kivéve a holdakat, a Naprendszer kis égitestjei közé soroljuk.

A „klasszikus bolygó” fogalmának bevezetését a közgyűlés elvetette.

Az IAU döntésének értelmében a Naprendszerben nyolc bolygó, illetve jelenleg ismeretlen számú törpebolygó és apró égitest található. A nyolc bolygó: Merkúr, Vénusz, Föld, Mars, Jupiter, Szaturnusz, Uránusz és Neptunusz.

A Plútó a most bevezetett új kategóriába, a törpebolygók közé tartozik.

<http://hirek.csillagaszat.hu>

## „Finomítják” a finomstruktúra-állandót

A finomszerkezeti állandó,  $\alpha$ , amely az elektromágneses kölcsönhatás erősségének mértéke, értékét sikerült minden eddiginél nagyobb pontossággal megmérni. Az új érték, amely az elektron mágneses nyomatékának rendkívüli precizitású mérésén alapul, egy nagyságrenddel pontosabb az eddiginél.

A Harvard Egyetem kutatócsoportja *Gerald Gabrielse* vezetésével az elektron úgynevezett  $g$ -faktorát mérte meg (Phys. Rev. Lett. 97(2006) 030801), amelyből a Har-

vard és a Cornell Egyetem, valamint a japán RIKEN fizikusai a kvantumelektrodinamika alapján a korábbinál egy nagyságrenddel pontosabb értéket kaptak  $\alpha$  értékére (Phys. Rev. Lett. 97(2006) 030808). Gabrielse véleménye szerint az új és pontosabb érték segíthet abban, hogy a kilogramm minden eddiginél pontosabb, új definícióját vezessék be, amelyhez nem szükséges a párizsi etalon használata.

<http://physicsweb.org/articles/news/10/8/1/1>

## Japán holdbázist épít?

A Tokióban nemrég megrendezett holdkutató fórumon a Japán Űrkutató Ügynökség (Japan Aerospace Exploration Agency) egy képviselője hivatalosan bejelentette, hogy Japán 2020-ig űrhajósokat küld a Holdra, és legkésőbb 2030-ig űrállomást fog ott létesíteni. A becsült költségek elérik a 26 milliárd dollárt, ezért a bejelentést

a szakmai közönség szkeptikusan fogadta. *Bruno Gardini*, az Európai Űrügynökség kutatójának véleménye szerint „a Holdra utazás annyira költséges, hogy nem hiszem, hogy Amerikán kívül más is megengedhetné magának”.

<http://www.nature.com>

## Három bolygóból álló Naprendszeren kívüli bolygórendszer

A Naprendszeren kívüli bolygórendszerek detektálása technikailag igen bonyolult feladat, mivel azok közvetlenül nem figyelhetők meg, csupán a környezetükben lévő égitestekre gyakorolt gravitációs hatásuk által. A Doppler-módszer, amelynél a csillagászok egy csillag sebességének egy másik égitest okozta periodikus változásait figyelik meg, csupán néhány bolygó felfedezéséhez vezetett a több mint 180 Naprendszeren kívüli, ismert bolygó közül. A nagyobb tömegű bolygók nagyobb perturbációt okoznak, ezért nem meglepő, hogy az eddig felfedezett bolygók inkább naprendszerünk óriásaira (Jupiter, Szaturnusz, Uránusz, Neptunusz),

mint a kisebb, Földhöz hasonló bolygókra (Merkúr, Mars) hasonlítanak.

A mérés technika fejlődésével azonban a lehetőségek kiszélesedtek, és egyre több kistömegű bolygót sikerült felfedezni. A legújabb kutatások (*Lovis, C. et al.*, Nature 441(2006) 305–309) minden eddiginél pontosabb megfigyelésekkel felfedezték a Naphoz hasonló HD 69830 jelű csillagot, amely körül nem egy, hanem mindjárt három keringő bolygót találtak. A felfedezés két okból különösen izgalmas: először is a megfigyelési módszer további kistömegű bolygók felfedezését teszi lehetővé, másodszor, a megfigyelt bolygórendszer rendkívül hasonló a mi

Naprendszerünkhöz. Ebben a rendszerben három bolygó mozog majdnem körpályán egy csillagászati egység távolságon belül (1 csillagászati egység – 1 AU – a Nap–Föld távolság), hasonlóan a Naprendszerhez. Azonban a

HD 69830 rendszerben a bolygók tömege a Földének 10–18-szorosa, vagyis ennek a rendszernek a keletkezése olyan rejtély, amely további kutatásokat ösztönöz.

<http://www.nature.com>

## Arany „buckyballt” fedeztek fel

A fizikusok felfedezték arany klaszterek egy új változatát, a *buckyball*nak is nevezett híres fullerének – üreges szerkezetű molekulák – fémes megfelelőjét. A kutatók szerint az „üreges arany kosárka” segítségével sokféle atom és molekula „ejtethető csapdába”, ezáltal lehetséges lesz az anyag tulajdonságait nanoskálán befolyásolni. A fullerének 60 szénatom gömbhöz hasonló elrendezéséből jönnek létre. Ezzel szemben az aragnál már 16–17 és 18 atom is létrehozhat egy háromszögekből álló térszerű elrendezést, amely inkább drágakő, mint labda alakú. Annak ellenére, hogy a szerkezet átmérője mindössze 6 ångström körüli, kisebb atomok azért elférnek a kosár belsejében. „Első alkalommal sikerült kísérletileg bizonyítani egy fématomokból összeálló üreges szerkezet létezését” – jelentette ki *Lai-Sheng Wang*, az Energiaügyi Minisztérium Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) vezető kutatója, a Washington Állami Egyetem professzora. Az előállított fém-klaszterek szerkezetének azonosítását *Xiao Cheng Zeng*, a Nebraska Egyetem professzorának elméleti számításai segítették elő. A kísérleteket



Az „aranykalitka”

a PNNL-hoz tartozó richlandi W.R. Wiley Environmental Molecular Sciences Laboratory-ban végezték el. A kutatási eredményekről az Amerikai Nemzeti Tudományos Akadémia on-line kiadványában lehet olvasni (*Satya Bulusu, Xi Li, Lai-Sheng Wang, Xiao Cheng Zeng*, Proc. Natl. Acad. Sci. 103 (2006) 22 8326.)

<http://www.photonics.com>

## Űrszika találkozó

A *Science* című folyóiratban a japán Hayabusa űrszonda által az Itokawa aszteroidáról gyűjtött adatokról hét cikkben számolt be egy nemzetközi kutatócsoport. Bizonyítékokat találtak arra vonatkozóan, hogy az aszteroida lényegében kőzetekből áll. A Hayabusa azt észlelte, hogy az Itokawa gravitációja sokkal gyengébb, mint a hasonló méretű aszteroidáké, és a felszíne sziklás. Ez arra enged kö-

vetkeztetni, hogy az Itokawa egy ütközés közben szétszakadt nagyobb aszteroida darabjaiból állt össze. A tervek szerint a Hayabusának anyagmintákat is kellene visszahoznia a Földre, azonban kétséges, hogy a 2005. novemberi leszálláskor sikerült-e anyagot gyűjteni, valamint, hogy hajtóműproblémák miatt sikeresen vissza tud-e térni.

<http://www.planetary.org>

## „Molekuláris mozi” a fényről

Az angliai Oxford Egyetem, az amerikai Lawrence Berkeley Laboratory és a Massachusetts Institute of Technology kutatóinak elsőként sikerült „molekuláris filmet” készíteni a fény és anyag kölcsönhatásáról, amely megmutatja, hogy mi játszódik le mikroszkopikus méretekben, amikor a fény áthatol az anyagon. A *Nature*-ben hamarosan megjelenő publikáció első szerzője, *Andrea Cavalleri*, az Oxford Egyetem Fizikai Intézetének kutatója a következőképpen foglalta össze munkájukat: „Ha meg akarjuk érteni a fény terjedését mikroszkopikus szinten, akkor »le kell filmezni«, hogyan mozognak az atomok és az elektronok a fény elektromágneses terében. Ehhez azonban olyan kamerára van szükség, amelynek zársebessége igen nagy, néhány femtoszekundum. Ez a sebesség elérhető a

modern lézertechnológia segítségével, de a lézerek nem látják az összetevő molekulákat, ehhez röntgensugarakra van szükség. Nekünk sikerült kombinálni a gyorsítók elektronnyalábját az ultragyors lézerimpulzusokkal, és az ultrahosszú elektronimpulzus egy kis részét a gyorsítóban más pályára téríteni. Így ezek az elektronok elegendően rövid röntgenimpulzusokat sugároztak ki, hogy az atomok mozgását a femtoszekundumos skálán követni tudjuk. Tehát képesek voltunk időben felbontani az atomok elmozdulását az atommagok méretének skáláján. Ez a technológia mikroszkopikus szinten más elemi folyamatokra is alkalmazható, így minden eddiginél nagyobb időfelbontással mérhetünk elmozdulásokat”.

<http://www.ox.ac.uk/research>

# HÍREK ITTHONRÓL

## Az atomoktól a csillagokig

Előadássorozat az ELTE Természettudományi Kar Fizikai Intézetében főleg – de nemcsak – középiskolásoknak

*Tudod-e*, hogyan működik a mobiltelefon és a mikrohullámú sütő, hogy keletkezik a szivárvány, milyen információkat lehet leolvasni az úrfelvételekről, hogyan lehet kincset keresni a GPS-szel és exobolygókat a Magyar Automata Teleszkóppal? • *Érdekel-e*, hogy milyen fizikai háttere van az internetnek, a sejtek önszerveződésének, a plazmatévének és az alternatív energiaforrásoknak? *Látod-e*, hogy mindennapi életünkben is mindenütt jelen van a fizika, a bennünket körülvevő modern technikai eszközök működése pedig egyenesen elképzelhetetlen nélküle? • *Akarsz-e* érdekes, meglepő, sőt meghökkentő fizikai jelenségeket, kísérleteket látni, esetleg saját kezded elvégezni a kísérleteket? • *Szeretnél-e* többet tudni az új felsőoktatási rendszerről, a három egymásra épülő cikluson alapuló egyetemi képzésről?

*Ha érdekelnek e kérdések és a tudomány válaszai*, gyere el a 2006 szeptemberében kezdődő előadássorozatra! Az ELTE TTK Fizikai Intézetében tevékenykedő kutatók és oktatók beszélnek a fizika frontvonalába tartozó érdekességekről, újdonságokról.

Az első előadás: 2006. szeptember 28-án (csütörtökön), 17.00-kor lesz az ELTE TTK légymányosi északi tömbjében (1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A), az Eötvös teremben (földszint 0.83 terem). Az előadások ingyenesek. A részletes program megtalálható a <http://www.atomcsill.elte.hu> honlapon, ahonnan a tavalyi előadások hang- és képanyaga is letölthető.

*Az előadás-sorozat programtervezete:*

2006. szeptember 28. – *Tichy Géza*: Mikrohullám árnyékolása, mobiltelefon – bevezetőt mond *Lendvai János*, a Fizikai Intézet igazgatója

2006. október 12. – *Vattay Gábor*: Az internet fizikája

2006. október 26. – *Cserti József*: A szivárvány fizikája

2006. november 9. – *Pál András*: Tű a szénakazalban – Bolygókeresés a Hungarian Automated Telescope projekt keretein belül

2006. november 23. – *Rajkovits Zsuzsa*: Buborékok, képek, káprázatok – a szappanhártyák színes világa

2006. december 7. – *Honyek Gyula*: A plazmatévétől a SIM-kártyáig ... Válaszok olyan kérdésekre, amelyeket csak kevesen tesznek fel

2006. december 21. – *Jubász András*: A mindennapok fizikája

2007. január 11. – *Czirók András*: Sejtek önszerveződésének fizikája

2007. január 25. – *Derényi Imre*: Sejtstruktúrák fizikája

2007. február 8. – *Horváth Ákos*: Mit ad nekünk a Nap: alternatív energiaforrások fizikai háttere

2007. február 22. *Kovács Béla*: Kincskeresés GPS-szel: a korszerű navigáció alapjai

2007. március 8. – *Tímár Gábor*, *Kern Anikó*: Otthonunk az űrből – felvételek az ELTE műholdvevő állomásáról  
Szeretettel várunk Téged, barátaidat, tanáraidat és szüleidet sorozatunkon!

*ELTE TTK Fizikai Intézet*

## MINDENTUDÁS AZ ISKOLÁBAN

## eSCIENCE

Adatözönben élünk. Műholdak térképezik fel Földünk felszínét és időjárását, távcsövek pásztázzák automatikusan a Világegyetem egyre távolabbi régióit, elektronikus berendezések rögzítik a nagyenergiás részecskeütkezésekből kijövő számtalan részecske összes adatát. Személyes adatainkat hitelfelvételi, vásárlási és utazási szokásainkról magán- és közintézmények gyűjtik, a humán genom projekt keretében pedig elkészült az első emberi géntérkép. Az interneten felgyülemelő adatmennyiség ma már csak *exabyte* nagyságrendben mérhető, és ez is kétévente duplázódik. Az összegyűjtött adatok kiértékelése általában nagyobb gondot okoz, mint maga az összegyűjtésük, mert sokszor nehéz átlátni az adatok közötti összefüggéseket, és kiszűrni belőlük a lényeges információkat: előre jelezni esetleges katasztrófális jelenségeket a természetben vagy a hálózata-

tokban, felismerni a terroristagyanús személyeket, megtalálni az öregedésért és örökletes betegségekért felelős géneket, azonosítani a potenciálisan piacképes termékeket, megbecsülni egy-egy döntés kockázatát.

Felvetődik a kérdés, hogy miként lehetne a – fentiekben példaként kiragadott esetekben meglevő – hatalmas adatözönt kezelni. A választ az *eScience* jelentheti.

## Mi az eScience?

Az *eScience* kifejezést egy új, „feltörekvő” technológiára használják, melynek révén nagyléptékű, komplex tudományos tevékenység fejthető ki a modern információs technológia felhasználásával. Legfőbb jellemzője a rend-



kívül sok, gyakran különböző helyekről elérhető adattal operáló kiértékelő munka, melynek eredményes véghezviteléhez az adatok automatikus gyűjtésére, optimális adatbázisba rendezésére, rendkívül nagy számítástechnikai kapacitást igénylő feldolgozására, és a lényegret megragadó vizualizációra van szükség.

Az eScience az alkalmazott tudomány, az alap kutatás, valamint a modern információs technológia (IT) interdiszciplináris egymásra hatásából született, és egy új minőséget képvisel a kiértékelésben. Az IT kifejleszti a korszerű eszközöket és informatikai rendszereket az alap- és alkalmazott kutatások mai problémáinak megoldásához. Az így keletkezett rendszerek, illetve az általuk szolgáltatott adatok, komplexitásuk miatt, már csak az eScience segítségével vizsgálhatók. Az eScience – jelenlegi fejlettségi szintjén – elsősorban a szervezett adatgyűjtés anyagának feltárására irányul, ugyanakkor a spontán felhalmozódó adatmennyiség feldolgozásához is előkészíti a szükséges technológiát.

## Miért fontos az eScience?

Az elmúlt évtized jelentősen megváltoztatta szinte minden tudomány módszertanát. Ahhoz hasonlóan, ahogy a matematika egy évszázaddal ezelőtt szétáradt szinte minden tudományban, és az elméleti modellek alapeszközzé vált, ma már szinte lehetetlen bármelyik tudományágot a modern információs technológiák használata nélkül művelni. Ezzel párhuzamosan egy másik irányú folyamat is megindult: a modern információs rendszerek annyira összetetté és bonyolulttá váltak, hogy vizsgálatukhoz, fejlesztésükhöz, valamint az általuk szolgáltatott adatok kiértékeléséhez az informatika eddigi módszerei már nem elégségesek. Szükség van a hagyományos, de bonyolult természeti jelenségek vizsgálatára kidolgozott módszerek eszköztárára is.

Sem a tudomány, sem az elektronika történetében nem ez az első forradalom. Az olcsó személyi számítógépek megjelenése megváltoztatta az informatika viszonyát a tudományhoz, az üzleti és a mindennapi élethez. Az olcsó internet forradalmasította a munkacsoportok működését, az itt közölt eredmények mindenki számára gyorsan elérhetővé váltak. Ma pedig a szemünk előtt zajlik az adattechnológia forradalma: rohamosan nő a műszerek, érzékelők, felvevő berendezések sávszélessége és mennyisége, valamint az internet-felhasználók száma, akik hála a ma már könnyen kezelhető webtechnológiának, szinte ontják a különböző értékű adatokat. Mindez oda vezetett, hogy napjainkra mind az igények, mind a már létező kapacitások kinőtték az informatika által biztosított eddigi kereteket: a már meglévő adatbázisok sokszor szétszórta, „ömlesztve” tárolják az adatokat, az új adatgyűjtési eljárásoknak egyre nagyobb mennyiségű adatot kell automatikusan begyűjteniük. A meglévő adatokat egyre nagyobb számítástechnikai teljesítménnyel lehetne csak feldolgozni, és az adatbázist használók sokszor sötétben tapogatóznak, mert nem mindig tudják, hogy pontosan milyen adatokra van szükségük, illetve, hogy mi mindenre lehetne használni az összegyűjtött információt.

Az eScience technológiája, bár a tudomány eredményeiből gyökerezik, a mindennapi élet számos területén is alkalmazható. Mindenütt alapkövetelmény a jó trendek felismerése és kiaknázása. A megfelelő irányban tett gyors elmozdulást általában siker kíséri: példa erre a Google-portál, vagy az Amazon e-kereskedelem több – az összegyűjtött adatok alapján megtervezett és jól célzott – reklámakciója. Ugyanakkor az e-buborék kipukkanása az ezredforduló körül jelezte, hogy számos technológia még nem érett be.

## Mit gondolnak mások?

Az eScience névvel jellemzett új technológia kifejlesztésének és alkalmazásának szükségessége már felvetődött az USA Nemzeti Tudományos Alapjának, a kanadai Innovációs Alapnak, valamint az angol Nemzeti eScience Központ bizottságainak ülésein, ahol megállapították, hogy az adatgyűjtés, tárolás és karbantartás kezelésére új megközelítést kell kidolgozni, mivel az eddigi eljárások rohamosan bonyolódnak, és egyre több pénzt fognak felémészteni. Az IBM kivonul a hardver-üzletágból, helyette adatbázisrendszerekre és a bioinformatikára helyezi a hangsúlyt, a Microsoft Research-nél hasonló irányvonal figyelhető meg. A *New Scientist* 2005. áprilisi száma a rákkutatás jelenlegi helyzetéről közöl áttekintést, melyből kitűnik, hogy ezen a területen szűk keresztmetszetet jelent olyan szakemberek hiánya, akik egyrészt birtokában vannak bizonyos biotechnológiai ismereteknek, ugyanakkor szakszerűen képesek kezelni az eScience eszköztárát.

## Mi a jövő?

A számítástechnika és a kutatás-fejlesztés küszöbön álló forradalma a következő technológiákra fog épülni: az egyre nagyobb adatözmény olcsó begyűjtésére, strukturált tárolására, a különböző helyeken elszórt kapacitásokhoz való egyszerű hozzáférésre, valamint az adatok és keresések megjelenítésére. Mivel hatalmas adattömegek a tudósok műszereinél jelentek meg először, a kutatók már sok tapasztalatot szereztek ezeken a területeken, ebből adódik, hogy a tudományinformatika az eScience élén járhat olyan technológiák előállításában – illetve hazai átvételükben és továbbfejlesztésükben –, amelyek az élet egyéb területein is kamatoztathatóak.

Az adatbázisok összekapcsolásával létrejövő struktúra (ezt a csillagászatban Virtuális Observatóriumnak nevezik) egy „virtuális szervezetet” definiál a hálózaton, melynek tagjai távolsági korlát nélkül képesek kihasználni annak erőforrásait. Az ilyen jellegű szervezetségre a közeljövőben a tudomány mellett elengedhetetlen szüksége lesz a nagyvállalati munkának, az államigazgatásnak, környezetgazdálkodásnak, a nemzetbiztonságnak, de hamarosan még a kulturális szférának is. Egy ilyen szervezet ugyanakkor jelentősen megkönnyítheti a kis- és közép vállalkozások számára is az adatokhoz, valamint az olcsó feldolgozó-kapacitáshoz való hozzájutást, ezáltal javítva esélyeiket a versenyben.

## Hol tart a technológia?

A fenti technológiák intenzív fejlődési szakaszban vannak. Léteznek nagyon jól használható alapmodulok, melyekre már lehet építeni, de még nem következett be az a komoly áttörés, amely a fenti problémák hatékony megoldását nyújtaná. Ennek oka egyrészt az, hogy az ipar még nem állt rá egy kiforrott technológia „gyártására”, így a kutatás-fejlesztésnek elsődleges szerepe van ezen a téren. Másrészt, ugyanezen okból, nagyon nagy lehetőségek rejlenek a témában: az, aki az első használható rendszer létrehozásában vezető szerepet játszik majd, könnyen válhat akár kis „garázscégből” is piacvezetővé, mint ahogy annak idején ezt a folyamatot a mobil- vagy internetes technológiáknál, illetve a személyi számítógépek piacán láhattuk.

## Egy példa: asztrofizikai virtuális obszervatórium

A csillagászok által létrehozott Virtuális Obszervatórium kitűnő példája az adatbázisok összekapcsolásával létrejövő struktúráknak, a megoldandó problémáknak. Nézzük meg miért, rajta keresztül megérthetjük a lényegét. A csillagászat, hasonlóan más tudományokhoz kihasználta a Moore-törvényt. Az Intel egyik alapítója által még a 60-as években felállított tapasztalati törvény ([http://en.wikipedia.org/wiki/Moore's\\_law](http://en.wikipedia.org/wiki/Moore's_law)) azt mondja ki, hogy a mikroelektronikai elemek sűrűsége nagyjából kétévenként duplázódik. Az exponenciális növekedést kifejező szabály valóban működik immár 4 évtizede, az olvasó könnyen kiszámíthatja, hogy ez hányszorosára növelte az egy chipen lévő elemek számát. A csillagászatot a számítógépek mellett leginkább az egyre olcsóbb és egyre nagyobb felbontású CCD-érzékelők megjelenése forradalmasította. Az előző évszázadok csillagászati Moore-törvénye, amely a távcsövek méretének növekedésében nyilvánult meg, a 90-es évek óta az érzékelők rohamos javulásában folytatódik. A Sloan Digital Sky Survey (SDSS) távcsöve például egy 120 megapixeles kamerát tartalmaz, amely 5 optikai sávban készít felvételeket. Ezek a felvételek azután hatalmas információ mennyiséget eredményeznek. A rengeteg adat kezeléséből adódó nehézségekről mindenkinek lehet sejtése, aki csupán egy pár megapixeles fényképezőgépet birtokol. Az SDSS végül 5 év alatt az égboltról egy 2 millió  $\times$  2 millió pixeles képet készít, és ez még csak a 90-es évek közepének technikája. A jelenleg fejlesztés alatt álló távcsövek akár egyetlen éjszaka alatt képesek lesznek erre.

Az adatokat számítógépeken tárolják, és dolgozzák fel. A hagyományos módszerek (fájlok, scriptek használata) mellett azonban az egyre gyorsabb számítógépek is képtelenek megbirkózni a hatalmas adatlavinával. A kutatók kénytelenek igénybe venni a legmodernebb információs technológiákat, így például az adatbázisokat, amelyeket eleve nagy adatmennyiségek kezelésére terveztek. Ezeket viszont inkább az üzleti élet igényeinek megfelelően alkották meg, ezért csak viszonylag egyszerűbb adatstruktúrákat képesek kezelni.

A tudományos adatok viszont szinte mindig komplexek. A galaxisokról például felvételeket készítenek, spektrumokat veszünk fel, kiszámoljuk fényességüket, morfológiai paramétereit, a szupernóvákról időben változó fényességgörbéket veszünk fel. De nemcsak az adatok bonyolultak, hanem a feldolgozás is. Míg egy üzleti példánál leggyakrabban egyetlen azonosító, például bankkártyaszám alapján kell az ügyfél vagy termék adatait előhozni, egy-egy tudományos adatfeldolgozási feladat jóval összetettebb eljárás lehet.

Tovább bonyolítja a helyzetet, hogy ugyanazon objektumhoz tartozó információk általában különböző kutatócsoportok világszerte elszórt adatbázisaiban vannak eltárolva. Van, aki rádió-, mikrohullámú, infravörös-, optikai, ultraibolya-, röntgen- vagy gamma-tartományban vizsgálja az eget. Az űsrobbanás megértéséhez, vagy egy távoli kvazárban, illetve gamma-kitörésben lezajló fizikai folyamatok felderítéséhez az adatokat összegezni kell. Mivel mindenütt egyre gyűlnek az új adatok, azokat gyakran újrakalibrálják. Nem lehet megoldani, hogy minden adat egy helyen legyen, ugyanakkor általában a legfrissebb adatokkal szeretnénk dolgozni. Össze kell tehát kötni az adatbázisokat úgy, hogy közösen lehessen bennük a kívánt adatokat keresni.

A Nemzetközi Virtuális Obszervatórium Szövetség ([www.ivoa.net](http://www.ivoa.net)), melynek Magyarország is tagja ([hvo.elte.hu](http://hvo.elte.hu)), célkitűzéseinek középpontjában elsősorban olyan szabványok kialakítása áll, amelyek az adatbázisoknak ezt a föderációját teszik lehetővé, de a szervezet koordinálja és támogatja más, az eScience témakörébe illeszkedő, széleskörűen használható technológiák és eszközök létrehozását is.

Röviden említünk néhány témakört, amelynek megoldásában magyar szakemberek is részt vesznek. Fontos lenne az adatokat olyan metainformációval kiegészíteni, amely gépek számára is olvasható. Jelenleg minden adatbázishoz létezik emberek számára olvasható dokumentáció. Ideális az lenne, ha a gépek is tudnák, hogy ha az egyik adatbázis egyik oszlopa egy galaxis fényességét fejezi ki, akkor az egy másik adatbázisban levő galaxisfényességgel összevethető, de például égi koordinátával nem. Egy másik gyakori igény a nagy mennyiségű adatainak vizualizálása. A jelenlegi technológiák összekapcsolására alapozva ma már lehetséges az SDSS égtérképét is megjeleníteni, a terapeleles kép szabadon mozgatható, zoomolható.

Az új technológia nemcsak a kutatásnak, de az oktatásnak is nagy lehetőségeket nyújt. A <http://skyserver.elte.hu/myskyserver/hu/> „Szakkör” szekciója például olyan kis szakköri projekteket tartalmaz, amelyek akár középiskolában, akár egyetemi bevezető kurzusokban használhatók. A Virtuális Obszervatórium szellemének megfelelően a diákok ugyanazokat az adatokat használhatják, mint a kutatók, és egy ingyenesen elérhető virtuális távcső segítségével maguk észlelhetik az Univerzum tágulását, vagy rajzolhatják fel a csillagok fejlődési diagramját.

*Csabai István, Papp Gábor*

Eötvös Egyetem

eScience Regionális Egyetemi Tudásközpont