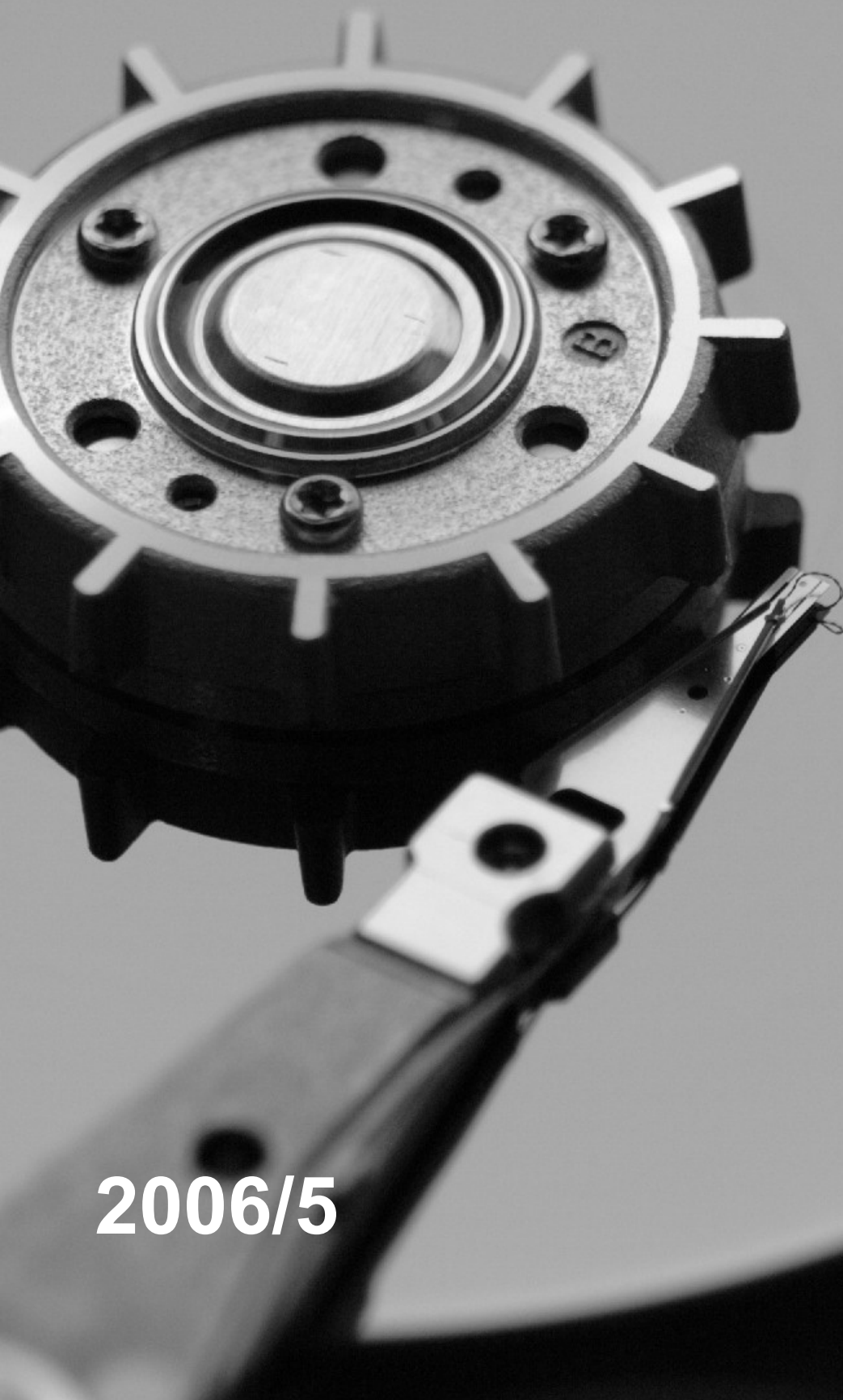


fizikai szemle



2006/5

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, Újvári 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:

Szétszedett mágneses merevlemez
(Fotó: Kármán Tamás)

TARTALOM

<i>Kiss Csaba:</i> A kozmikus infravörös háttér megfigyelése	145
<i>Barna Dániel:</i> Antianyag-vizsgálatok a CERN-ben	151
<i>Horváth Dezső:</i> 16 évem a CERN-ben	155

A FIZIKA TANÍTÁSA

<i>Lang Ágota:</i> Science On Stage, avagy mentsük meg a természettudományok tanítását!	161
<i>Vankó Péter:</i> Fizika az erdei iskolában	165

VÉLEMÉNYEK

<i>Győri István:</i> Érettségi és vidéke, avagy „növeli, ki elfödi a bajt”	169
--	-----

PÁLYÁZATOK

KÖNYVESPOLC	177
--------------------	-----

HÍREK – ESEMÉNYEK

168, 178

MINDENTUDÁS AZ ISKOLÁBAN

Digitális adattárolás I. – Forgó lemezek (<i>Mihály György</i>)	180
---	-----

Cs. Kiss: Observation of the cosmic IR background

D. Barna: Anti-matter research in the CERN

D. Horváth: My sixteen years spent in the CERN

TEACHING PHYSICS

Á. Lang: Science On Stage. Help to save the education in science

P. Vankó: Physics presented in excursion courses

OPINIONS

I. Győri: Hungarian secondary schools' final examinations and their
oppressed problems

TENDERS, BOOKS, EVENTS

SCIENCE IN BITS FOR THE SCHOOL

Digital data storage I. – Spinning disks (*G. Mihály*)

Cs. Kiss: Beobachtungen betreffend kosmische Hintergrundstrahlung im Infraroten

D. Barna: Das Forschungs-Thema Anti-Matter im CERN

D. Horváth: Meine sechzehn Jahre im CERN

PHYSIKUNTERRICHT

Á. Lang: Science On Stage. Retten wir den Unterricht in Naturwissenschaften

P. Vankó: Physik im Rahmen von Ausflugswochen

MEINUNGSÄUSSERUNGEN

I. Győri: Reifepfungen in Ungarn und ihre latente Probleme

AUSSCHREIBUNGEN, BÜCHER, EREIGNISSE

WISSENSWERTES FÜR DIE SCHULE

Digitale Datenspeicherung I. – Drehscheiben (*G. Mihály*)

Ч. Киш: Исследования по космическому ИК радиационному фону

Д. Барна: Исследования по анти-веществу в Институте CERN

Д. Хорват: Мои 16 лет в Институте CERN

ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

А. Ланг: Обучение естественным наукам в школах и необходимость
его сохранения

П. Ванко: Физика в рамках экскурсионных занятий школьников

ЛИЧНЫЕ МНЕНИЯ

И. Дьёри: Аттестат зрелости и круг связанных с ним
нерешенных проблем

ОБЪЯВЛЕНИЯ-КОНКУРСЫ, КНИГИ, ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ ДЛЯ ШКОЛ

Хранение цифровой информации I. – Вращающиеся диски (*Д. Михаль*)

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

5. szám

2006. május

A KOZMIKUS INFRAVÖRÖS HÁTTÉR MEGFIGYELÉSE

Kiss Csaba

MTA KTM Csillagászati Kutatóintézete

A modern kozmológia számára az egyik legnagyobb kihívás annak magyarázata, hogy hogyan alakult ki a Világegyetem ma látható szerkezete. A galaxisok és csillagok képződése, valamint ezt követő fejlődésük eredetileg nukleáris és gravitációs energiából nagy mennyiségű sugárzási energiát szabadított fel. Az Univerzum tágulása és a rövidebb hullámhosszú sugárzás elnyelése majd ezen energiának kibocsátása hosszabb hullámhosszakon a sugárzási energia jelentős részét az infravörös tartományba tolta el. Így tehát a *kozmosz infravörös háttér* az Univerzum szerkezetképződésének lenyomata, és vizsgálata új perspektívát jelent ezen folyamatok megismerésében. Jelentősége ellenére – főként technológiai okok miatt – csak az utóbbi években sikerült egyértelműen detektálni ezt a háttérsugárzást. A kozmosz infravörös háttér csak egy része annak, amit *extragalaktikus háttérnek* nevezünk (1. ábra), és ami azoknak a kozmikus távolságban lévő objektumoknak az összedződő fénye, amelyeket nem tudunk egyedi forrásokként megfigyelni. Az extragalaktikus háttér és szűkebb értelemben a kozmosz infravörös háttér kutatása igen szerteágazó terület. Ebben a cikkben egy rövid történeti összefoglalás és a háttérre vonatkozó fontosabb eredmények ismertetése után elsősorban a kozmosz infravörös háttér megfigyelési módszereit kívánjuk bemutatni.

Történeti háttér

Annak a ténynek a felismerése, hogy az éjszakai égbolt fénye (illetve annak hiánya) kozmológiai jelentőséggel bír, a 18. századra nyúlik vissza. Legismertebb formájában ezt a megfigyelést Olbers-paradoxon néven ismerjük (1826): ha az Univerzum végtelen és abban végtelen számú csillag van, akkor az éjszakai égbolt nem lehet sötét, hiszen bármilyen irányba nézzünk is, előbb-utóbb egy csillag felszínével találkozunk a tekintetünk. Ma már természetesen tudjuk, hogy az Univerzum tágulása és

véges kora együttesen okozza az égi háttér sötéttségét, ennek felismerésére azonban a 20. század második feléig kellett várni. Az 1950–60-as években a galaxisokból származó vizuális háttér értékét már az általános relativitáselmélet figyelembevételével próbálták meghatározni, de ezek a számítások még csak integrált csillagfényt tartalmaztak. A 60-as évek közepén már figyelembe vették a látóirányba eső galaxisokban valamint az intergalaktikus térben található por által okozott elnyelést, de az infravörösben történő visszasugárzást még nem. A kozmosz mikrohullámú háttér felfedezése jelentősen hozzájárult a korai forró univerzum elképzelés elfogadásához, és a kozmosz infravörös háttér jelentőségének felismeréséhez. Egy ilyen univerzumban ugyanis léteznie kell egy a mikrohullámú háttértől különböző infravörös háttérnek, amely számot ad a csillagok és galaxisok kialakulásáról. Először Peebles világított rá az infravörös háttér ismeretének évtizedes hiányára a 60-as években. Az egyetlen felső korlát, amely a kozmosz infravörös háttér értékére akkor létezett, a 10^{19} eV energájú protonok kozmosz sugárzásban való jelenlétéből származott. A háttér magas értéke mellett ugyanis a pionképződés miatt ezen protonok fluxusa számottevően gyengült volna. A kozmosz infravörös háttér pontosabb meghatározásához hozzájárult az a felismerés, hogy a korai galaxisoknak sokkal több energiát kellett kisugározniuk a mostaniaknál ahhoz, hogy a ma megfigyelhető fémességet¹ reprodukálni tudják. Az ilyen modell-galaxisokból kiszámított kozmosz infravörös háttér értékében még nem vették figyelembe a por elnyelő hatását, ezért ebben a modellben az infravörös háttér az 1–10 μm hullámhosszak között volt a legfényesebb. Ezt a becslést összehasonlítva az egyéb, naprendszerbeli és galaktikus előtérsugárzások intenzitásával már (helyesen) arra a következtetésre lehetett jutni, hogy a kozmosz infravörös háttér halványabb, mint az előterek. A Tejútrendszer környéki galaxisok magas inf-

¹ A héliumnál nehezebb elemek hidrogénhez viszonyított aránya

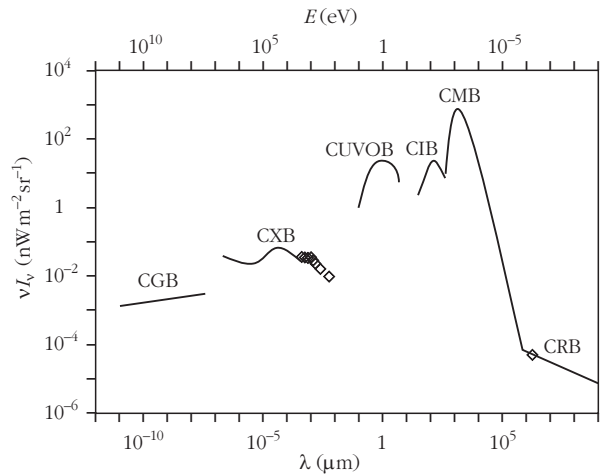
rávörös luminozitása² ahhoz a következtetéshez vezetett, hogy az infravörös háttér csúcsa körülbelül 50 μm -nél lehet, a korábban jóslott 1–10 μm helyett, és teljes energiája mintegy 1–10%-a lehet a mikrohullámú háttér energiájának. *Martin Harwit* irányította rá a figyelmet arra, hogy a kozmikus infravörös háttér mérése fontos egyes diszkrét objektumtípusok (pl. kvazárok) megértésében, amelyeket igen fényesnek találtak az infravörösben. Ugyanő mutatott rá arra is, hogy a kozmikus infravörös háttér jelentős gyengítő hatása a kozmikus sugárzás elektronjai, protonjai és gamma-fotonjai számára az inverz Compton-szórás, fotopionkeltés és elektron–pozitron párkeltés jelenségein keresztül. A 80-as évekig csak felső korlátok léteztek a kozmikus infravörös háttér értékére, és még a viszonylag fényes előterek is csak kevésbé voltak ismertek.

A kozmikus infravörös háttér eredete

A kozmikus infravörös háttérrel kapcsolatban az egyik legfontosabb kérdés, hogy milyen forrásokból származik az energiája. Bár a korai modellek egyszerűen a Tejútrendszer közelében ma láthatókhöz hasonló galaxisok vöröseltolódott színekéből próbálták összerakni a kozmikus infravörös háttér fényét, ma már tudjuk, hogy a kép ennél jóval bonyolultabb. A Világegyetem látható (barionos) anyagában két számottevő forrásból lehet energiát nyerni: magfúzióból és gravitációs helyzeti energiából.

Magfúziós energiatermelés a csillagok belsejében zajlik, és ezt a csillagfényt valóban vöröseltolódva látjuk; ez alkotja a kozmikus ultraibolya és vizuális háttér fényének legnagyobb részét (a kozmikus ultraibolya és vizuális háttér még az infravörös háttérnél is halványabb az előterekhez képest, ezért azt direkt mérésekkel a mai napig nem sikerült meggyőző bizonyossággal észlelni). Ennek a csillagfénynek egy jelentős részét azonban nem közvetlenül észleljük. A galaxisokban található por a csillagfényt elnyeli, és az infravörösben sugározza vissza, amely ezáltal az infravörös háttérhez fog hozzájárulni. A mai galaxisok nagy része azonban viszonylag kevés csillagközi anyagot tartalmaz (pl. az elliptikus galaxisok gyakorlatilag „portmentesek”). Vajon így volt ez a múltban is? Már az első infravörös tartományban megfigyeléseket végző űreszközök méréseiből kiderült, hogy léteznek olyan galaxisok a Tejútrendszerhez viszonylag közel is, amelyek szokatlanul fényesek az infravörösben, ugyanakkor halványak, sokszor alig észlelhetők a vizuális tartományban. Mint kiderült, ezek a galaxisok (Ultra Luminous Infrared Galaxy, ULIRG) éppen igen aktív csillagkeletkezési fázison mennek át (valószínűleg „ütőköznak”, vagy éppen összeolvadnak egy másik galaxissal), amit a vizuálisban a nagy mennyiségű por elrejt előlünk, viszont éppen emiatt olyan fényesek ezek a galaxisok az infravörösben. A kozmikus múltban ezek az események gyakoribbak lehetnek, mint manapság. Az általános vélekedés szerint $z = 1\text{--}2$ vöröseltolódás érték körül lehetett az Univerzumban a globális

² Az égítést által adott időegység alatt kibocsátott teljes sugárzás energiája



1. ábra. Az extragalaktikus háttér komponensei

csillagkeletkezési ráta maximuma. Ebben az időben 10–50-szer olyan nagy volt az átlagos csillagkeletkezés sebessége, mint ma ($z > 2$ értékekre a csillagkeletkezési ráta a $z = 1$ és 0 között megfigyelhető gyors esésnél jóval lassabban csökken). Emiatt a kozmikus infravörös háttérhez a legnagyobb hozzájárulást a $z = 1$ körüli vöröseltolódású (nagyreszt ULIRG típusú) galaxisok adják, a háttér teljes fényességének körülbelül 50–70%-át.

A kozmikus infravörös háttér másik fontos forrását a gravitációs helyzeti energiát „felhasználó” aktív galaxisok (kvazárok) jelentik. Ezekben a középponti fekete lyuk felé hulló anyag gravitációs energiájának egy része végeredményben röntgensugárzás formájában távozna a rendszertől (ez a kozmikus röntgenháttér fő forrása), a por azonban elnyeli a röntgensugárzás egy részét, s ez az energia aztán ismét az infravörösben jelenik meg. Az ilyen kvazárok/aktív galaxisok a kozmikus infravörös háttér teljes energiájának mintegy 20%-át adhatják, de egyes hosszabb infravörös hullámhosszakon ezek lehetnek a háttér meghatározó objektumai.

Extragalaktikus és egyéb hátterek

Az extragalaktikus háttér komponensei (1. ábra) nem esnek szigorúan egybe az elektromágneses spektrum szokásos felosztásával, mert egy-egy komponenst általában egy jól meghatározott fizikai folyamat hoz létre. Az extragalaktikus háttér az alábbi komponensekre szokás felosztani: kozmikus rádióháttér (CRB), kozmikus mikrohullámú háttér (CMB), kozmikus infravörös háttér (CIB, 3–400 μm), kozmikus ultraibolya és vizuális háttér (egyben!, CUVOB, 0, 1–3 μm), kozmikus röntgenháttér (CXB) valamint kozmikus gammaháttér (CGB)³.

Az extragalaktikus háttér megfigyelése általában nem egyszerű feladat, hiszen az általában igen halvány az égi háttér egyéb összetevőivel képest. Ez a helyzet például a kozmikus ultraibolya- és vizuális, valamint az infravörös háttér esetében, ugyanakkor például a kozmikus röntgenháttér az égi háttér legfényesebb komponense röntgen-

³ A külön nem jelölt hullámhossztartományok egybeesnek az elektromágneses spektrum szokásos felosztásával.

ben. Egy háttérkomponens lehet eredendően diffúz, vagy felépülhet olyan kompakt források fényéből, amelyeket egy adott mérőműszerrel nem tudunk egyenként megfigyelni. Bármilyen legyen is a háttér, adott mérési konfigurációban és az ég adott helyén egy konstans fényességgel (abszolút érték) és egy ezen érték körüli átlagos változékonysággal (fluktuációs amplitúdó) jellemezhető.

Egy „átlagos” csillagász általában akkor találkozhat az égi háttérrel, ha valamilyen mérésben meg kell szabadulnia ettől a zavaró hatástól. Ha bármilyen mérésben egy egyedi forrás fényességét szeretnénk meghatározni, akkor ismernünk kell az égi háttér értékét is a forrás környezetében. Az égi háttér értéke azonban – a háttéralkotó komponensek fluktuációi miatt – minden irányban kissé eltérő. Minthogy a háttér értékét nem ismerjük pontosan, forrásunk fényességét sem tudjuk teljes pontossággal megállapítani. Ezt a bizonytalanságot nevezzük *konfúziós zaj*-nak. A konfúziós zaj egy adott mérési konfigurációban néhány praktikus okból alkalmazott transzformációtól eltekintve ekvivalens az autokorrelációs függvény (lásd később) értékével. Bár minden hullámhosszon jelen van, részben technikai, részben asztrofizikai okok miatt a konfúziós zaj az infravörösben különösen nagy jelentőségű. Egy adott műszer számára a konfúziós zaj a mérések pontossága szempontjából végső határ: ellentétben más típusú „zajokkal” (pl. műszerzaj, fotonzaj) az integrációs idő növelésével a jel/zaj viszony nem javítható.

A kozmikus infravörös háttér megfigyelése

A kozmikus infravörös háttérnek kevés olyan karakterisztikus tulajdonsága van, amelyre a mérés könnyen felépíthető lenne. Az extragalaktikus eredet miatt a sugárzásnak nagy skálákon izotrópnak kellene lennie. Az infravörös háttérnek nincsen egyedi színképi jellegzetessége sem, a végső spektrum bonyolult módon függ a háttér felépítő egyedi források színképétől, ezek kozmikus történetétől, valamint a forrásokban található por tulajdonságaitól. Minthogy a háttér legalább részben diszkrét források alkotják, az izotróp háttérre fluktuációk rakódnak. A kozmi-

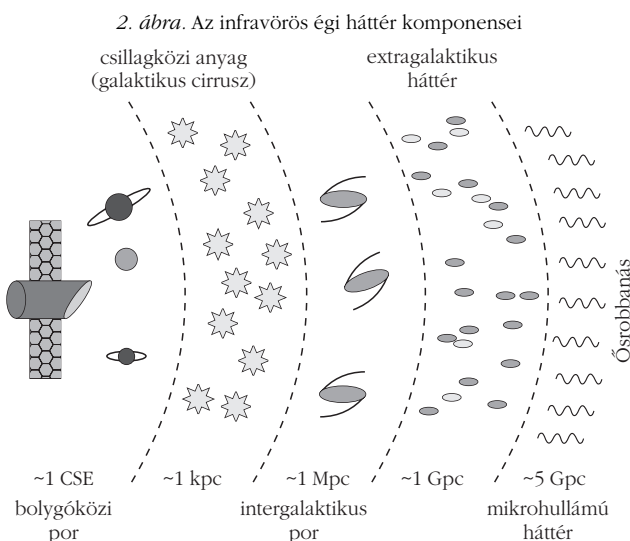
kus infravörös háttér mérése mind technikailag, mind asztrofizikai értelemben igen nagy kihívás. A háttér közvetlen méréséhez (lásd részletesen később) abszolút égboltnyesség-méréseket kell végezni egy nagyon jól meghatározott abszolút nullaponthoz képest, amihez ki kell küszöbölni a távcső alkatrészeinek emisszióját, valamint a földi légkörből származó sugárzásokat (hőmérsékletüknél fogva ezek mind erősen sugároznak az infravörösben). A közeleli fényes égi forrásokból származó szórt fényt (Nap, Föld, Hold, fényesebb bolygók) szintén ki kell zárni. Ez a gyakorlatban csak nagy figyelemmel tervezett, alacsony hőmérsékletre (<4 K) hűtött és az atmoszféra fölé emelt berendezésekkel, műholdakról lehetséges (a légkör egyébként is szinte tökéletesen elnyeli a 20 μm -nél hosszabb hullámhosszú infravörös sugárzást).

Az asztrofizikai kihívás a kozmikus infravörös háttér elkülönítése a többi, általában fényesebb égi forrástól. Ezek részben diszkrét források (csillagok és egyéb kompakt források a Tejútrendszerben), valamint ezek összeolvadó fénye, részben diffúz források, mint a Naprendszerben található interplanetáris poron szóródott napfény és ennek termikus emissziója (az *állatövi fény*), a Galaxis csillagközi anyagának kvázi-termális emissziója (ún. *galaktikus cirrusz emisszió*), valamint az intergalaktikus por emissziója. Minthogy ezen komponensek elkülönítése az infravörös égi háttérben az egyik legfontosabb feladat, ezért alapvető tulajdonságaikat röviden összefoglaljuk.

Előterek

Állatövi fény: A klasszikus állatövi fény elnevezés a napkelte előtt, vagy napnyugtá után feltűnő, a Nap közelében akár szabad szemmel is látható halvány derengésre vonatkozik, amely a bolygóközi poron szóródott napfény. Az infravörös csillagászatban azonban szintén állatövi fénynek nevezzük az ugyanezen porszemcsékből származó termikus, infravörös emissziót. A bolygóközi por az ekliptika⁴ síkjában, tórusz alakban koncentráliódik, s nagyrészt kitölti a teljes belső Naprendszert, egészen a Jupiter pályájáig. A felhő teljes tömege körülbelül egy üstökös tömegével egyezik meg. A porszemcsék hőmérséklete körülbelül 270 K (a hőmérséklet-eloszlás bizonyos szektorszerkezetet mutat), ezért legerősebben körülbelül 25 μm -en sugároznak, és a 3–70 μm tartományban az állatövi fény az ég fényességének domináns forrása. Mivel a Föld ezen felhő belsejében kering, a keringés során változó irányból látjuk a felhő egyes részeit. Az évszakos változásokból tehát kikövetkeztethető a felhő nagyléptékű szerkezete. A térbeli eloszlás eddigi legpontosabb modelljét a COBE műhold DIRBE műszerének mérései alapján készítették, és az ISO műhold ISOPHOT műszere határozta meg a hőmérséklet-eloszlást a felhőben [1].

Cirrusz emisszió: A galaktikus cirrusz emissziót az IRAS műhoddal fedezték fel 1984-ben nagy skálákon jelentkező, speciális szálas szerkezetet mutató, diffúz sugárzásként [2]. A galaktikus cirrusz nevet a földi légkörben található cirrusz felhőkhöz való hasonlóságáról kap-



⁴ A Nap látszó évi útja az égbolton

ta. A cirrusz emisszió nem koncentrálódik a Tejútrendszer síkjában, mint általában a csillagközi gáz és por, hanem magas galaktikus szélességeken is az égi háttér legmeghatározóbb összetevője 70 μm -nél hosszabb hullámhosszakon. Ma a cirrusz emissziót a Tejútrendszer kis sűrűségű semleges hidrogénfelhőiben található por kvázi-termális sugárzásával azonosítjuk. Ilyen felhőkben a sűrűség körülbelül 20 cm^{-3} , a porszemcsék hőmérséklete pedig körülbelül 18 K. A cirrusz emisszió jellegzetes szerkezete a molekulafelhőkéhoz hasonlóan egy fraktállal írható le. A szerkezet megismerése egyrészt fontos a csillagkeletkezés legelső lépcsőfokának, a csillagközi anyagban létrejövő sűrűsödések kialakulásának megértésében, másrészt a szerkezet ismeretének alapján a cirrusz emissziót el lehet különíteni az égi háttér egyéb összetevőinek fluktuációitól. Az cirrusz szerkezetét először az IRAS műhold 100 μm -es mérései alapján tanulmányozták, és $\alpha = -3$ spektrálindeket (hatványfüggvény-spektrum kitevője) találtak több égi terület vizsgálata során. Később ezt az értéket széles körben alkalmazták hosszabb hullámhosszakra is. Azonban megkérdőjelezhető, hogy a cirrusz emisszió szerkezete ugyanolyan lenne, bármilyen hullámhosszon vizsgáljuk is azt. Hosszabb hullámhosszakon ugyanis a „hagyományos” cirrusz hőmérséklettől (18 K) eltérő hőmérsékletű, hidegebb (körülbelül 15 K) területek is láthatóvá válnak a cirrusz emisszióban, amelyek a 100 μm -es hullámhosszon alacsonyabb hőmérsékletük miatt még nem sugároznak erősen, de 170–200 μm körül már az emisszió domináns forrásai lehetnek. Ha ezen területek szerkezete más, mint a 100 μm -en látható területeké, akkor más az α index hosszabb hullámhosszakon. ISO/ISOPHOT mérések alapján [3] sikerült kimutatni, hogy az α spektrálindeket valójában hullámhosszfüggő; a teljesítményspektrum mindig meredekebb (kisebb negatív szám) hosszabb hullámhosszakon. Emellett sikerült összefüggést találni a mező fényessége és a teljesítményspektrum meredeksége között, ami lehetővé tette a cirrusz teljesítményspektruma meredekségének meghatározását a leghalványabb, kozmológiai mezőkre is. Erre $\alpha = -2,3 \pm 0,6$ adódott, ami fontos különbség az eddig használt $\alpha = -3$ -hoz képest, mivel a cirrusz teljesítményspektrumának előzetes ismerete elengedhetetlen a kozmikus infravörös háttértől való korrekt szétválasztáshoz.

Intergalaktikus por: Már évtizedekkel ezelőtt feltételezték, hogy por nemcsak a Tejútrendszer belsejében, hanem azon kívül, a Tejútrendszert is magába foglaló Lokális csoport tagjai között is létezik, s mint ilyen, hozzájárulhat az infravörös égi háttérhez. Természetesen ez nemcsak a Lokális csoportban, hanem minden más galaxishalmazban is így lehet. Az első ilyen jellegű méréseket az ISO műhold ISOPHOT műszerével végezték 120 és 200 μm -es hullámhosszakon, a Coma galaxishalmaz irányában. Bár az intergalaktikus port sikerült kimutatni, a mért intenzitás igen kicsiny volt, amiből arra következtethetünk, hogy a jelenlegi mérési pontosság mellett a Lokális csoportban található intergalaktikus por csak elhanyagolható mértékben járul hozzá az égi háttér fényességéhez.

A kozmikus mikrohullámú háttér: A kozmikus mikrohullámú háttérrel azért kell az infravörös háttér mellett megemlítenünk, mert bár energiájuk teljesen más forrás-

ból származik, a mikrohullámú háttér tartalmazza az extragalaktikus háttér teljes energiájának legnagyobb részét, és a körülbelül 2,7 K-es feketetest-sugárzásnak megfelelő spektruma „átlóg” a hosszú infravörös hullámhosszak tartományába, ahol a két komponens meg kell különböztetni egymástól.

Direkt mérések

A kozmikus infravörös háttér direkt mérései tulajdonképpen precíz abszolút fotometriát jelentenek. A mérés elve igen egyszerű, megfelelő kivitelezése azonban igen nagy kihívás: távolítsunk el minden előttersugárzást, ami marad, az a kozmikus infravörös háttér. Minthogy a kozmikus infravörös háttér jele gyenge az előterekéhez képest, ezért ehhez minimalizálni kell az adott hullámhosszon az előterek hozzájárulását. A műszerekből származó hatások minimalizálásán túl elsősorban az állatövi fény, rövidebb infravörös hullámhosszakon a Tejútrendszer csillagai, hosszabb hullámhosszakon a galaktikus cirrusz hatásával kell számolnunk. Az állatövi fény hatását csökkenthetjük magas ekliptikai szélességű mező, a csillagközi anyag (cirrusz) hatását pedig például olyan terület választásával, amely irányában csak minimális mennyiségű HI gázt sikerült megfigyelni. Még az ilyen „kozmosz ablakokban” sem elhanyagolhatók azonban az előttersugárzók. Fluktuációs mérések, illetve forrásszámlálások esetén csak ilyen kozmikus ablakokban van esélyünk a kozmikus infravörös háttér megfigyelésére. Direkt mérések esetén általában szükség van előterekkel „szennyezett” területek megfigyelésére is, hogy hozzájárulásuk mértékét pontosabban meghatározhatjuk.

Az első direkt méréseket a COBE műhold DIRBE műszere végezte. Az állatövi fény megfelelő modelljéből megjósolható volt ennek járuléka. A csillagközi anyag esetében várható, hogy a cirrusz intenzitása arányos az adott irányban található hidrogénatomok (HI) oszlopsűrűségével (az alacsony sűrűség miatt sem molekuláris hidrogén, sem bonyolultabb molekulák nincsenek). Az állatövi fény kivonása után az infravörös intenzitás és a hidrogén-oszlopsűrűség korrelációban megjelenő konstans, pozitív infravörös intenzitás nagy valószínűséggel a kozmikus infravörös háttér járuléka. A COBE/DIRBE műszerrel 1,25 és 240 μm között összesen 10 hullámhosszon próbálkoztak meg a kozmikus infravörös háttér detektálásával, amiből csak a 60 μm -t meghaladó hullámhosszaknál jártak sikerrel. Később 2MASS (Two Micron All Sky Survey) csillagszámlálási adatokkal kombinálva a DIRBE méréseket 2,2 és 3,5 μm -en is sikerült a kozmikus infravörös háttérrel nagy bizonyossággal detektálni. A 60 μm -nél rövidebb hullámhosszakon pusztán a forrásszámlálásokból kaphatunk alsó korlátot az infravörös háttér értékére.

Bár az ISO műholdat nem kifejezetten abszolút felületifényesség-fotometriára tervezték, bizonyos mérési módjai lehetőséget kínálnak a fentihez hasonló vizsgálatok elvégzésére. Ez a munka jelenleg is folyik a MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézetében, német és finn intézetekkel együttműködésben.

Fluktuációs mérések

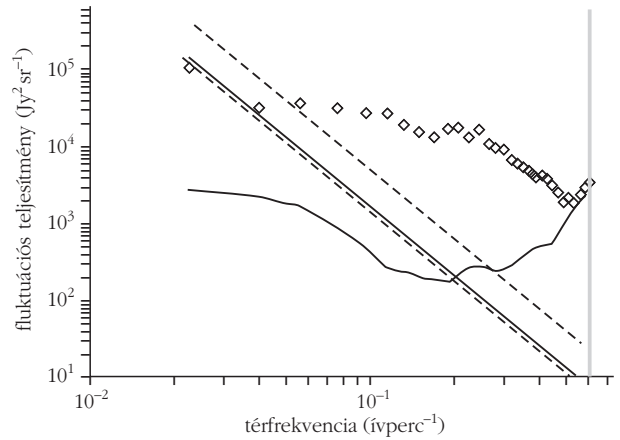
Míthogy a kozmikus infravörös háttér fénye diszkrét forrásokból származik, a megfigyelő látómezejében különböző égi irányokban megjelenő források eltérő száma fluktuációkat okoz a mért háttérfényességben is. Ezért a fluktuációk mérése információt hordoz a források számáról és eloszlásáról. A fluktuációk a kétdimenziós autokorrelációs függvényvel ($C(\theta)$), vagy a megfelelő kétdimenziós teljesítményspektrummal jellemezhetők. A fluktuációs mérések nem szolgáltatnak közvetlen információt a háttér abszolút értékéről; két fő módszer létezik, amelyekkel a fluktuációs mérésekből megszorításokat tehetünk a kozmikus infravörös háttér értékére. Egy adott kozmikus galaxisfejlődés-modellből a háttér teljes fényessége mellett kiszámítható az autokorrelációs függvény értéke is egy meghatározott térbeli skálán, a fluktuációk méréséből így kiszámítható a háttér értéke a modell keretein belül. A másik megközelítésben a fluktuációkat a forrásszámlálások eredményeivel hasonlítják össze, majd ezt alkalmazzák a források integrált fényére, amelyből a kozmikus infravörös háttérre alsó korlát kapható.

A fluktuációk detektálása az infravörösben könnyebb, mint a direkt mérések kivitelezése, mert nem kell meghatározni az abszolút fotometriai nullpontot. Ugyanakkor a fluktuációs méréseknek jórészt ugyanazokkal a kihívásokkal kell megküzdeniük, mint a direkt méréseknek, mivel az előtérforrások és a műszereffektusok jelentősen hozzájárulnak az infravörös égi háttér fluktuációihoz. A fluktuációs mérésekben feltétlenül szükséges az izotrópia igazolása is, azaz hogy a fluktuációk az égen bármely irányban ugyanakkorák.

A kozmikus infravörös háttér teljesítményspektruma

Bár a kozmikus infravörös háttér teljesítményspektrumának tulajdonságai önmagukban is érdekesek, hiszen információt szolgáltatnak a háttér felépítő források eloszlásáról, a teljesítményspektrum vizsgálata elsősorban azért lett népszerű, mert az infravörös égi háttér teljesítményspektrumában viszonylag könnyen elkülöníthetők az egyes komponensek. A kozmikus infravörös háttér teljesítményspektruma 1 ívpercnél nagyobb térbeli skálán (alacsony térfrekvenciákon) jó közelítéssel egy vízszintes egyenes, míthogy a háttér alkotó források eloszlása körülbelül a Poisson-statisztikának megfelelő. Ezen térbeli skála alatt (magasabb térfrekvenciákon) a teljesítményspektrum „letörik”, eltér a Poisson-eloszlásnak megfelelőtől: a háttér forrásai ezeken a skálán már nem véletlenszerűen oszlanak el, a domináns hatás a galaxisok halmazokba rendeződése.

Bár a Naprendszer interplanetáris porfelhőjének nagyon határozott alakja van, a felhőben a por eloszlása igen egyenletes, és teljes mértékben hiányoznak a kis skálájú fluktuációk (10 ívperc és alatta, [4]). Ezért bár az állatövi fénynek az égi háttér abszolút értékéhez való hozzájárulása az égen lassan változik, adott égtérület teljesítményspektrumára (vagy autokorrelációs függvényére) nincsen számottevő hatással. Alacsony intenzitása miatt ugyanez mondható el az intergalaktikus porról is. A



3. ábra. A kozmikus infravörös háttér teljesítmény-spektruma 170 μm -en, az ELAIS-N2 mezőben. A kozmikus infravörös háttér teljesítmény-spektrumát a szürke négyzetek jelölik. A két szaggatott vonallal jelölt egyenes a cirrusz emisszió két különbözőképpen meghatározott járulékát jelöli. A folytonos fekete görbe a pontforrás-leképezési függvény teljesítményspektruma.

Tejútrendszer csillagai mellett az előterek részéről a legnagyobb hozzájárulást a cirrusz emisszió adja a fluktuációkhoz, mind a közeli-közepes, mind pedig a távoli infravörös hullámhosszakon. A kozmikus infravörös háttér teljesítményspektrumát eddig csak 170 μm -en sikerült egyértelműen megfigyelni, kihasználva, hogy itt a műszerzaj mellett az egyetlen jelentős járulék a cirrusz emisszió. Amennyiben feltételezzük, hogy a cirrusz teljesítményspektruma $\alpha = -3$ -mal írható le, akkor, mivel a kozmikus infravörös háttér teljesítményspektrumára $\alpha \approx 0$, megfelelően alacsony cirrusz hozzájárulás mellett magas térfrekvenciákon a kozmikus infravörös háttér „kibukkan” a cirrusz alól (3. ábra). A kozmikus infravörös háttér ábrán látható teljesítményspektrumában magas térfrekvenciáknál a vízszintestől való eltérést már a háttér alkotó források halmazokba rendeződése okozza.

A korrelációs és konfúziós zaj mérése

A korrelációs mérésekben az égi háttérfényesség kétdimenziós autokorrelációs függvényét számítják ki, adott θ szeparációra: $C(\theta) = \delta F(x+\theta) \delta F(x)$ ⁵. Míthogy a teljesítményspektrum és az autokorrelációs függvény között egyértelmű kapcsolat van, ezért ugyanazok a hatások befolyásolják a korrelációs méréseket, mint a teljesítményspektrumot.

A közeli infravörös tartományban tehát a Tejútrendszer csillagai és az állatövi fény a legfontosabb előterek. A COBE műhold DIRBE műszerének mérései alapján magas galaktikus és ekliptikai szélességeken a diszkrét források (csillagok) valamint az állatövi fény járulékának levonásával lehetővé vált a kozmikus infravörös háttér fluktuációinak megfigyelése előbb 1,25, 2,2 és 3,5 μm -en, majd a 12–100 μm -es tartományban. E hullámhosszakon a fluktuációk arányát a teljes háttérfényességhez viszonyítva 5–10%-ban állapították meg, így ebből becslést kaptak a kozmikus infravörös háttér értékére is.

⁵ $\delta F(x) = F(x) - F$, ahol $F(x)$ az ég felületi fényessége az „ x ” helyen, F az átlagos felületi fényesség, az átlagolás a teljes égtérületre történik

A távoli infravörösben a konfúziós zaj két domináns összetevője a galaktikus cirrusz emisszió és az extragalaktikus háttér fluktuációi. Az extragalaktikus komponensnek az égen minden irányban ugyanakkorának kell lennie (izotrópia feltétel), a cirrusz komponens viszont annál erősebb, minél fényesebb a vizsgált terület, azaz minél több csillagközi anyag van a látóirányban. Így a konfúziós zaj több, különböző fényességű mezőkben mért értékéből meghatározható, mekkora lenne a fluktuációk értéke, ha egyáltalán nem lenne csillagközi anyag a látóirányban, azaz csak a kozmikus infravörös háttérrel látnánk. Ilyen mérésekkel az ISO műhold ISOPHOT műszerével sikerült 90 és 170 μm -en a kozmikus infravörös háttér fluktuációit detektálni [5]. A fluktuációk értékéből modellszámítások segítségével a háttér abszolút értékét is sikerült meghatározni. Mivel a mérés sok, az ég különböző részein található mezőkben detektálta bizonyos bizonytalanságon belül ugyanazt a fluktuációs értéket, ezért itt az izotrópiát is sikerült bizonyítani.

Forrásszámlálások

A kozmikus infravörös háttér abszolút értéke és fluktuációi önmagukban nem adnak felvilágosítást a háttér felépítő egyedi források tulajdonságairól és időbeli fejlődéséről. A forrásszámlálások az ilyen kérdésekre is válaszolhatnak. A forrásszámlálás során megpróbáljuk a kozmikus infravörös háttérrel a lehető legnagyobb részben forrásaira bontani. Ez a legtöbb esetben pusztán a forrás detektálását jelenti az előírt jel/zaj viszony felett, lehetőség szerint több hullámhosszon. Rövidebb infravörös hullámhosszakon a Tejútrendszer csillagaitól kell elválasztanunk az extragalaktikus objektumokat, ami általában az objektumok „színe” (több hullámhosszon megmért fényességének összehasonlítása) alapján történik. 60 μm -nél hosszabb hullámhosszakon nem a csillagok „eltávolítása” a nehéz feladat, hanem az extragalaktikus források elkülönítése az úgynevezett cirrusz-csomóktól. A cirrusz emisszióban ugyanis – térbeli szerkezeténél fogva – „álforrások” jelennek meg, amelyek valójában kisméretű sűrűsödések a csillagközi anyagban. Ráadásul ezeket a forrásokat színük alapján sem könnyű elkülöníteni az extragalaktikus objektumoktól.

A forrásszámlálások az egyedi források azonosításán kívül fontos megkötéseket jelentenek az infravörös háttérre. Kumulatív fényességük a kozmikus infravörös háttér fényességének alsó határát jelenti: azok a források, amelyeket nem sikerült a háttérben megfigyelni, csak növelhetik a háttér fényességét. Ugyanakkor a kozmikus infravörös háttér teljes fényességét ismernünk kell ahhoz, hogy megmondhassuk, hogy mennyire teljes a forrásszámlálásunk, a két információ együtt pedig korlátot szab egy valóban diffúz kozmikus infravörös háttérkomponens létezésére. A forrásszámlálások legfontosabb statisztikus eredménye a szám-fényesség-összefüggés: adott S fényességig hány S -nél fényesebb forrást látunk az adott égterületen. Az összefüggést általában $N(S) = (S/S_0)^{-k}$ alakban szokták megadni. Eukli-

deszi tér és egyforma fényességű, egyenletesen elszórt források mellett k értéke 1,5 volna, a forrásszámlálások eredményei azonban ennél körülbelül kétszer nagyobb értéket mutatnak.

A közeli infravörös tartományban (J, H és K sávok) a jelenlegi „legmélyebb” forrásszámlálásokat a Hubble-űrtávcsővel végezték az úgynevezett Hubble-mélyvizsgálatok (Hubble Deep Field North/South) keretében. Hosszabb (12, 25, 60 és 100 μm) hullámhosszakon az IRAS műhold szolgáltatott forrásszámlálás-adatokat, de a távcső alacsony érzékenysége miatt a háttérnek csak igen kis részét sikerült forrásokra bontani. Az ISO műhold ISOPHOT és ISOCAM műszerei voltak az elsők, amelyek a 7 μm -nél nagyobb hullámhosszakon (egészen 180 μm -ig) képesek voltak a kozmikus infravörös háttérben jelentős számú forrást önállóan megfigyelni, a háttér teljes fényességének mintegy 3–10%-át forrásokra bontva. A Spitzer-űrtávcső legutóbbi mérései 24, 70 és 160 μm -en már a háttér mintegy 10–30%-át voltak képesek forrásokra bontani [6]. A forrásszámlálások – a fluktuációs és direkt mérésekkel egyetértésben – egyértelműen a „gyors evolúciós” modelleket támogatják, amelyekben a mai galaxisok nem hasonlítanak $z = 1-2$ körüli társaikra, amelyek azokban az időkben heves csillagkeletkezési fázison mentek át.

Kitekintés

A kozmikus infravörös háttér vizsgálata – elsősorban az erre a célra tervezett űreszközök sikere miatt – az elmúlt körülbelül egy évtizedben a csillagászat egyik legnépszerűbb és legfontosabb kutatási témájává vált. Az infravörös háttér forrásokra bontásának vágya fontos hajtóerő volt az újabb infravörös űrtávcsövek tervezésénél, így ezek programjában előkelő helyen szerepel a kozmikus infravörös háttér megfigyelése. A következő generációs Herschel és James Webb űrtávcsövek már a háttér 90%-át képesek lesznek forrásokra bontani. Ezek az eszközök azonban – felépítésüknél fogva – nem alkalmasak az égi háttér teljes fényességének közvetlen mérésére, így a COBE/DIRBE és ISO/ISOPHOT műszerekkel végzett abszolút fotometriai mérések még évtizedekig egyedülállóak maradnak.

Irodalom

1. CH. LEINERT, P. ÁBRAHÁM, J. ACOSTA-PULIDO, D. LEMKE, R. SIEBENMORGEN – Astron. & Astroph. 393 (2002) 1073
2. F.J. LOW, D.A. BEINTEMA, T.N. GAUTIER és mások – Astroph. J. 278 (1984) L19
3. CS. KISS, P. ÁBRAHÁM, U. KLAAS és mások – Astron. & Astrophys. 399 (2003) 177
4. P. ÁBRAHÁM, C. LEINERT, D. LEMKE – Astron. & Astroph. 328 (1997) 702
5. CS. KISS, P. ÁBRAHÁM, U. KLAAS, D. LEMKE, M. JUVELA – Astron. & Astrophys. 379 (2001) 1161
6. H. DOLE, E. LE FLOC'H, P.G. PÉREZ-GONZÁLEZ és mások – Astroph. J. Supp. 154 (2004) 87

Ajánlott internet-címek:

Hazai infravörös-csillagászati kutatások: <http://www.konkoly.hu/KISAG>

Herschel-űrtávcső: <http://www.rssd.esa.int/Herschel>

Infrared Space Observatory (ISO): <http://iso.esac.esa.int>

Spitzer-űrobszervatórium: <http://www.spitzer.caltech.edu>

Antianyag

A kvantumfizika egyik nagy eredménye az antirészecskék létezésének megjósolása volt. A *Dirac* által bevezetett egyenletnek, amely a Schrödinger-egyenlet relativisztikus megfelelője, két megoldása van: közülük az egyik magától értetődő módon feleltethető meg az elektronnak, de a másik, formálisan, egy negatív energiájú részecskét ír le. Ennek a megoldásnak az értelmezése eleinte nehézséget okozott. Végül az az interpretáció vált elfogadottá, hogy ez egy az elektronnal azonos tömegű, ám pozitív töltésű, és *pozitív energiájú* részecskét ír le, amely a *pozitron* nevet kapta. 1933-ban *Carl David Anderson* ködkamrás kísérleteivel kozmikus sugárzásban valóban fel is fedezte ezt a részecskét. Ezért az eredményéért 3 évvel később megkapta a fizikai Nobel-díjat.

Elfogadva, hogy a Dirac-egyenlet nemcsak az elektront, hanem a többi $1/2$ spinű (az elektrontól különböző tömegű) részecskét (fermion) is leírja, az akkor ismert másik fermion, a proton antirészecskéjének a létezését is fel kellett tételezni. Az antiprotont 1955-ben fedezte fel *Owen Chamberlain*, *Emilio Gino Segrè*, *Clyde Wiegand* és *Thomas Ypsilantis* az amerikai Berkeley laboratóriumában. $6,5$ GeV/c energiájú protonokat ütköztettek egy álló céltárgyba, és a keletkező részecskék között megfigyeltek a protonnal azonos tömegű, ám negatív töltésű részecskéket. Ezért az eredményért Chamberlain és Segrè 1959-ben kapta meg a Nobel-díjat. (A következő években újabb fermionokat fedeztek fel, ezek antirészecskéjét is mind megtalálták, a kísérletek minden kétséget kizáróan igazolták a Dirac-egyenlet megoldásainak interpretációját.)

Antiprotonból, pozitronból és antineutronból azokhoz hasonló atomokat építhetünk fel, mint amilyenekből a minket körülvevő világ áll. A legegyszerűbb ilyen atom az antihidrogén, amely nem bomlik el, ugyanúgy stabil, mint a „közönséges” hidrogén. Az antiatomok által alkotott antianyag, a belőle esetleg felépülő világ egyenértékű a minket körülvevő anyaggal, világgal: az *antianyag* megjelölés önkényes. Anyag és antianyag egymásnak valamiféle tükröképei. Ez magától értetődően vezet ahhoz a kérdéshez, hogy hol van ez az antianyag. Erre az anyag, illetve antianyag egy további tulajdonsága sugall egy részleges választ. A megfigyelések szerint a hidrogénatom csak addig stabil, amíg nem találkozik egy antihidrogén atommal (általánosabban, amíg nem találkozik anyag és antianyag). Ha ez a találkozás létrejön, akkor a részecske és az antirészecske megsemmisül, annihilációs folyamat során más részecskékké, végeredményben fotonokká alakul. Legyszerűbb példa az elektron–pozitron pár, amely két vagy több fotonból álló „sugárzás” (nyugalmi tömeg nélküli anyaggá) változik át. Ugyanez a sorsa egy többlépcsős folyamat végén a proton–antiproton párnak is, bár a „szétsugárzás” eredményeként első lépésben még tömeges részecskék is, javarészt pionok, keletkeznek. Ez magyarázza, hogy lokálisan, persze galaktikus léptékben, vagy csak anyag, vagy csak antianyag lehet jelen.

Csakhogy a csillagászok nem látnak antianyagból álló galaxisokat a távolban sem. Lehet, hogy anyag és antianyag egyenértékűsége, az anyag–antianyag szimmetria mégsem pontosan igaz? Lehet, hogy csak a kísérleteink nem elég pontosak ahhoz, hogy ezt „földi” tapasztalatok alapján is belássuk?

Antihidrogén-kísérletek

A fenti kérdések régóta foglalkoztatják a kutatókat, és számos kísérletet hajtottak már végre (illetve terveznek), hogy a választ megtalálják. Ahelyett, hogy az egyes antirészecskéket külön-külön vizsgálnánk, célszerűbb a belőlük felépülő összetett részecskékkel (általános értelemben vett atomokkal) foglalkozni.

A legegyszerűbb antiatom, az antihidrogén, egy kéttest kötött állapot, mely az elektrodinamikában könnyen kezelhető, energiaszintjei pontosan számolhatóak. A hidrogén esetében az elméleti és kísérleti eredmények igen jó egyezést mutattak. Az anyag–antianyag szimmetria ellenőrzésére elég lenne kimérni az antihidrogén energiaszintjeit, és összevetni azokat a hidrogén igen pontosan ismert energiaszintjeivel. Bármiféle szignifikáns eltérés arra utalna, hogy anyag és antianyag nem pontosan ugyanolyan.

Persze az antihidrogénnel való kísérletezéshez először létre kell hozni az antihidrogént, és ez, mint látni fogjuk, nem is olyan könnyű feladat annak ellenére, hogy a két alkotórészét már az '50-es évekre felfedezték. Ahhoz, hogy az antiproton és a pozitron összeálljanak antihidrogén atommá, kellően közel kell hozni őket a koordináta- és az impulzustérben is. Ez pedig, mivel ellentétes elektromos töltésűek, nem könnyű feladat.

Az első antihidrogén atomokat 1995-ben a CERN LEAR (Low-Energy Antiproton Ring) nevű tárológyűrűjében hozták létre. A szükséges antiprotonokat ugyanúgy állították elő, mint 1955-ben Amerikában: protonokat ütköztettek egy álló céltárgyba. A keletkező részecskék közül kiválogatták az antiprotonokat, amelyek aztán a tárológyűrűbe kerültek. A tárológyűrűben az antiprotonok útjába egy céltárgyat helyeztek. Ennek a céltárgynak nagyon „vékonynak” (vagy ritkának) kellett lennie, hogy a keletkező antihidrogén atomok ne semmisüljenek meg már a céltárgyon belül. Ezt egy xenon gázsugár formájában valósították meg. Amikor egy antiproton keresztülhalad egy xenon atom magjának az elektromos terén, kis valószínűséggel elektron–pozitron pár keletkezik. A pozitron (ismét csak kis valószínűséggel) befogódhat az antiproton terébe. Azok az antiprotonok, amelyek nem alkottak antihidrogén atomot, a tárológyűrű mágneses terében továbbra is a körpályájukon maradnak. A keletkezett antihidrogén atomok viszont, mivel semlegesek, elhagyják a tárológyűrű mágneses terét a körpálya érintője mentén, és az útjukba helyezett detektorokba csapódnak, ahol végül az antiproton és a pozitron is megsemmisül (annihilál). Az olyan események utaltak antihidrogén keletke-

zésére, ahol ugyanazon pontból néhány pion, illetve két, egymással ellentétes irányú foton repült ki. 11 antihidrogén atom keletkezését figyelték meg. Az amerikai *Fermilab* laboratóriumban később egy hasonló kísérletben körülbelül 100 antihidrogén atomot sikerült megfigyelni. A keletkezett antihidrogén atomok száma egyrészt igen kicsi volt, másrészt nagy sebességgel hagyták el a tárológyűrűt, lehetetlenné téve, hogy rajtuk komoly méréseket végezzenek. Detektálásuk a megsemmisülésük által történt. A kísérletek eredménye az antihidrogén létének bizonyítása volt (bár ebben az antiproton és pozitron felfedezése óta senki sem kételkedett).

Az antianyag előállítására szolgáló kísérletek következő generációja szintén a CERN-ben született meg. Az ehhez szükséges berendezés egy új tárológyűrű volt, amely az AD (Antiproton Decelerator, Antiproton Lassító) nevet viseli. Mint a neve is mutatja, ez a gyűrű éppen a fordítottja a részecskefizikai laboratóriumokban megszokott berendezéseknek: nem egyre nagyobb energiákra gyorsítja, hanem lassítja a benne tárolt részecskéket. Erre azért van szükség, mert az antiprotonokat továbbra is úgy a legcélszerűbb előállítani, hogy nagyenergiájú protonokat lőnek egy fém céltárgyba. A keletkező antiprotonok ebben a folyamatban is nagy energiával rendelkeznek, a kísérleteknek viszont minél lassabb antiprotonokra lenne szükségük. (Hiszen minél kisebb egy antiproton és egy pozitron egymáshoz viszonyított sebessége, annál valószínűbb az antihidrogén keletkezése.) A tárológyűrű egy ciklusa során az antiprotonok energiája 5,3 MeV-re csökken, majd kiengedik őket a rajta dolgozó kísérletek valamelyikének.

Bár az 5,3 MeV energia igen alacsonynak számít a CERN-ben, még mindig túl nagy ahhoz, hogy hatékonyan lehessen antihidrogént előállítani. Az antiprotonok további lassítása például az úgynevezett Penning-csapdában lehetséges. Ez a berendezés elektromos és mágneses

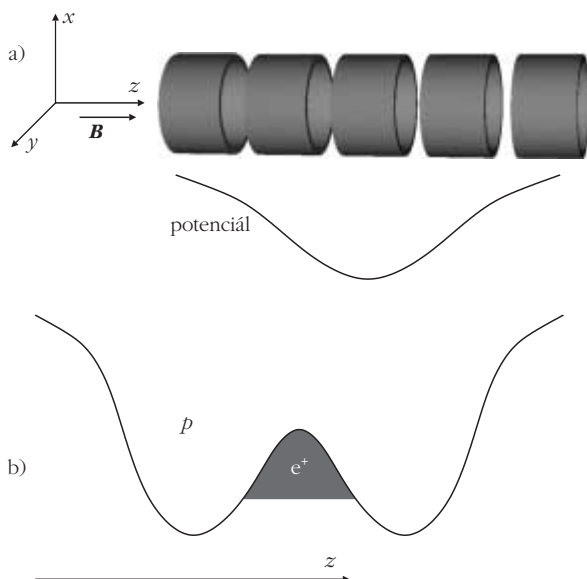
teret alkalmaz töltött részecskék csapdázására (1.a ábra). A z tengellyel párhuzamos mágneses tér megakadályozza, hogy a részecskék radiális (x vagy y) irányban elszökjenek. A gyűrű alakú elektródákra kapcsolt feszültség pedig egy elektromos potenciálvölgyet hoz létre a z tengely mentén, így a részecskék ebben az irányban sem tudják elhagyni a csapdát. Amikor az antiprotonok megérkeznek a tárológyűrűből, ez a potenciálvölgy a belépési oldalon nyitva van. Az antiprotonok a túloldali potenciálfalról visszapatannak, eddigre azonban a belépő oldalon bezárják a potenciálvölgyet azáltal, hogy ezekre az elektródákra igen gyorsan rákapcsolják a megfelelő feszültségeket. A csapda elé rendszerint még egy igen vékony fóliát is elhelyeznek. Az ezen való áthaladás során az antiprotonok energiát vesztenek, így nagyobb számban lehet őket a csapdában tartani. A módszer hátránya, hogy az antiprotonok egy része annihilál a fólia anyagával.

A csapdázás azonban önmagában nem lassítja (vagy más szóval *bűti*) az antiprotonokat. Ahhoz, hogy tovább lassítsuk őket, energiát kell elvonni tőlük. Ez az úgynevezett *elektronbűtés*: a csapdába elektronokat is betöltenek. Mivel ezeknek a töltése éppúgy negatív, mint az antiprotonoké, az elektromos potenciálvölgy ezekre is bezáró, nem tudják elhagyni a csapdát. Az antiprotonok energiát adnak át az elektronoknak a velük való ütközések során, amellyel azok az erős mágneses térben végzett körkörös mozgás közben kibocsátott szinkrotronsugárzás formájában szabadulnak meg.

Miután az antiprotonok a csapdában lelassultak, már csak össze kellene hozni őket a pozitronokkal¹ és várni. Mivel azonban a pozitronok pozitív töltésűek, ugyanaz a potenciálvölgy, amelyik az antiprotonokat csapdázza, számukra potenciálhegy, azaz a csapda közepétől elfelé taszítja őket. Ezért két egymásba ágyazott potenciálvölgyet kell kialakítani (1.b ábra).

A CERN AD tárológyűrűjén két kísérlet dolgozott a kezdetektől fogva antihidrogén előállításán: az ATHENA² és az ATRAP³. Az első publikáció „hideg” (azaz kis mozgási energiájú) antihidrogén atomok keletkezéséről az ATHENA-kísérletről származik⁴, csak alig valamivel megelőzve az ATRAP-kísérletet. Mindkét kísérlet a fenti technikát alkalmazta antihidrogén előállítására, azonban a detektálási módszerük különböző. A keletkező antihidrogén atomokra, mivel semlegesek, már nem hat a csapda elektromágneses tere, ezért azok szabadon távoznak. Az ATHENA-kísérletben ezek az antihidrogén atomok beleütköznek a csapda elektródáiba és annihilálnak. Az ilyenkor jellemző eseményt a csapda köré helyezett detektorok észlelik: azonos helyről jövő két, egymással el-

1. ábra. a) Penning-csapda. A mágneses tér x/y irányban, a gyűrű alakú elektródák elektromos tere pedig z irányban tartja bezárva a töltött részecskéket. b) Egymásba ágyazott potenciálvölgyek antiproton és pozitron együttes csapdázásához.

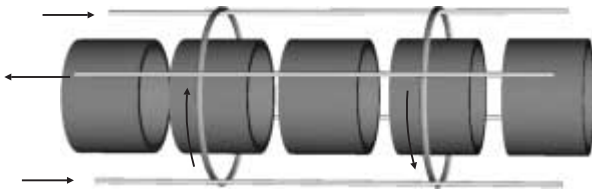


¹ Az antihidrogén előállításához szükséges pozitronokhoz sokkal egyszerűbben jutunk. Bizonyos radioaktív, β^+ -bomló anyagok (például ^{22}Na) szolgálnak forrásként.

² <http://athena.web.cern.ch/athena/>

³ <http://hussle.harvard.edu/~atrap/>

⁴ *Nature* 419 (2002) 456, http://athena-positrons.web.cern.ch/ATHENA-positrons/wwwathena/Documents/nature01096_r.pdf Ez az első cikk még mintegy 50 000 antihidrogén atom keletkezéséről számol be. Azóta a „gyártott” antihidrogén atomok száma milliós nagyságrendű.



2. ábra. Ezzel az áramelrendezéssel lehet olyan mágneses teret előállítani, amely a csapda középpontjában rendelkezik minimummal, és így alkalmas az antihidrogén atomok csapdázására.

lentétes irányba repülő foton a pozitron annihilációjából, valamint néhány ugyanonnan jövő pion az antiproton annihilációjából. Az ATRAP-kísérletben a csapdából kirepülő antihidrogén atomok erős elektromos téren haladnak át, és ez újra ionizálja őket. A pozitronjuktól megfosztott antiprotonokat egy másik csapda ejti rabul. Végül ezt a csapdát kikapcsolják, és a szétrepülő antiprotonokat az annihilációjuknak köszönhetően detektálják és számolják meg. Az ionizáló elektromos tér erősségének változtatásával ez a módszer lehetőséget ad a keletkezett antihidrogén atomok kötési energiájának, azaz a kvantumállapotuknak a meghatározására.

Az antihidrogén keletkezését mindkét kísérletben most is a megsemmisülése jelzi. Az anyag–antianyag szimmetria vizsgálatához azonban jó lenne magát az antihidrogént csapdázni, hogy alaposabb, például lézerspektroszkópiai vizsgálatnak vehessük alá. Mivel az antihidrogén elektromosan semleges, ez nem könnyű feladat. A lehetőség a mágneses dipólmomentum kihasználásában rejlik. Egy mágneses dipólus energiája külső mágneses térben $\Phi = -\boldsymbol{\mu} \cdot \mathbf{B}$, ahol $\boldsymbol{\mu}$ a mágneses dipólmomentum. A kvantummechanika szerint (amennyiben egy 1/2-spinű részecske mágneses dipólmomentumáról van szó) a mágneses dipólmomentum iránya vagy megegyezik, vagy ellentétes a külső tér irányával, úgyhogy a képlet a következőképpen írható: $\Phi = \pm \boldsymbol{\mu} B$. Ha a mágneses tér nagysága (és ezáltal a dipólus energiája) helyről helyre változik, akkor ennek megfelelően a dipólusra $\mathbf{F} = \pm \boldsymbol{\mu} \nabla B$ erő hat. Amennyiben a dipólmomentum iránya a külső térrel ellentétes, ez az erő abba az irányba mutat, amerre a mágneses tér csökken. Az antihidrogén esetében bonyolultabb a helyzet, hiszen ez két, saját mágneses momentummal rendelkező részecskéből áll. Továbbra is igaz azonban, hogy a különböző spinkonfigurációk⁵ energiái különbözőképpen tolnak el a mágneses tér nagyságától függően. Bizonyos konfigurációkra olyan erő hat, amely a csökkenő tér irányába mutat (*kis-tér keresők*), más konfigurációkra viszont a növekvő tér irányába mutató erő hat (*nagy-tér keresők*). A kis-tér kereső konfigurációkat csapdázhatjuk egy olyan mágneses térrel, amelynek a csapda középpontjában minimuma van. Például a 2. ábrán látható csapdában ilyen mágneses tér valósul meg. Ez a csapdázó erő igen kicsi, ezért eredményes használatához az szükséges, hogy a keletkezett antihidrogén mozgási energiája kicsi legyen. Ezt a módszert kívánja alkalmazni az ATHENA folytatásaként létrejött ALPHA-kísérlet.

⁵ Az antiproton és a pozitron spinjének egymáshoz, illetve a külső térhez képesti iránya.

Újabb az ASACUSA-kísérletben⁶ is használtak Penning-csapdát antiprotonok tárolására. Ezzel azonban (egyelőre) nem antihidrogén, hanem extrém kis energiájú antiprotonnyaláb előállítása a cél. Módszerükkel eddig nekik sikerült a legtöbb (10^6) antiprotonot csapdázni az AD gyűrű egy ciklusában. Ehhez a sikerhez jelentősen hozzájárult a kísérletnek egy nagy elismerést kiváltó eszköze, az úgynevezett RFQD (radio-frequency quadrupole decelerator, rádiófrekvenciás kvadrupól lassító), amely az AD-ből érkező antiprotonokat 100 keV nagyságrendű energiára lassítja le, ezáltal sokkal hatékonyabbá téve a csapdázást.

Az ASACUSA-csoport eddig főleg egzotikus atomok spektroszkópiájával foglalkozott (lásd következő fejezet), és csak újabban csatlakozott az antihidrogén előállítását célzó kísérletekhez. Ez a csoport (melynek a szerző is tagja) az ellentétes töltésű antiprotonok és pozitronok együttes csapdázására egy másik módszert kíván alkalmazni. Az elv már régóta ismert: oszcilláló, inhomogén elektromos térben egy töltött részecskére ható erő időtárlaga abba az irányba mutat, ahol az oszcilláló tér amplitúdója kisebb. Miért? Tegyük fel, hogy az elektromos potenciál az x tengely mentén $\Phi = \Phi_0 \cdot x^2$ függvény szerint változik ($\Phi_0 > 0$). Ez egy pozitív töltésű részecskére nézve vonzó (csapdázó), egy negatív töltésű részecskére azonban az $x = 0$ ponttól elfelé taszító erőt jelent. Egy $\Phi = -\Phi_0 \cdot x^2$ potenciál viszont a pozitív részecskéket taszítja, a negatívokat vonzza. Mi történik, ha ezt a két teret időben periodikusan egymásba változtatjuk? Vegyük azt a időpillanatot, amikor a részecskékre ható erő a középpont felé mutat. A részecske ebbe az irányba elmozdul. A tér közben ellenkező előjelűre változik, ezért egy a részecskét kifelé taszító erő jelentkezik. A részecske azonban most már közelebb van a középponthez, mint korábban, ezért kisebb kifelé taszító erő hat rá, mint a korábbi, befelé vonzó erő volt. Az eredő hatás tehát a középpont felé mutat, a részecske töltésétől függetlenül. Az ezen elven működő csapdákat Paul-csapdának hívják. Kidolgozásáért Wolfgang Paul 1989-ben kapott fizikai Nobel-díjat. Az ASACUSA-kísérletben egy ilyen elv szerint működő berendezéssel tervezik megoldani az ellentétes töltésű részecskék egy helyen való csapdázását. Bár ilyen berendezést már korábban is alkalmaztak ionok csapdázására, két ennyire eltérő tömegű részecskének az együttes fogvatartása új és izgalmas lépés lesz, amely nem kevés probléma megoldását teszi szükségessé.

A keletkezett antihidrogén atomok a tervek szerint egy antihidrogén nyalábot alkotnának, amelyet az antihidrogén 1s állapota hiperfinom felhasadásának kimérésére lehetne használni. Ezt a felhasadást az antiproton és a pozitron spinjének kölcsönhatása okozza. Inhomogén mágneses térben a felhasadt állapotok némelyike kis-tér kereső lesz (azaz a mágneses tér minimuma felé mutató erő hat rá), mások viszont nagy-tér keresők lesznek. Egy szextupól mágnes (3.a ábra), amelynek a z tengely mentén minimális a térőssége, szolgál a kis-tér kereső állapotok kiválogatására. Ezeket az állapotokat ez az első mágnes fókuszálja, a nagy-tér keresőket pedig kiszórja

⁶ <http://asacusa.web.cern.ch/ASACUSA/>

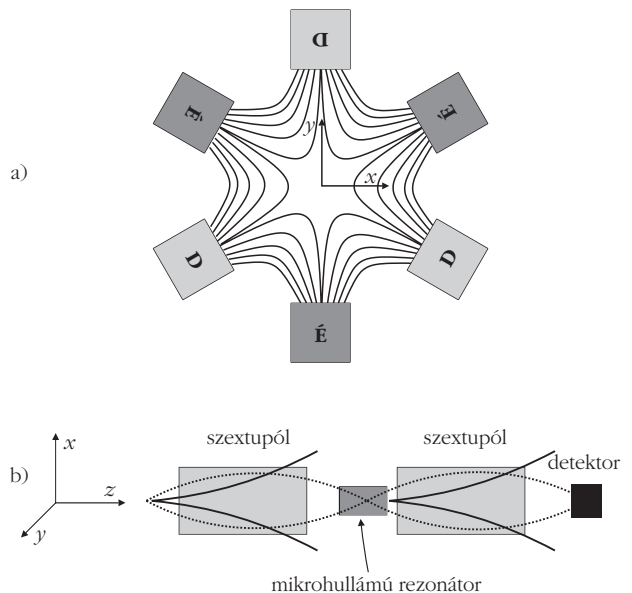
oldalra (3.b ábra)⁷. A mágnes után elhelyezett mikrohullámú üregbe már csak a kis-tér kereső állapotok jutnak el. Ha itt nem történik velük semmi, akkor a második szextupól mágnes ismét fókuszáló (azaz átengedő) módon fog viselkedni számukra, és becsapódnak a berendezés végén elhelyezett detektorba. Ha azonban az üregben levő mikrohullámú tér frekvenciája megfelelően van hangolva, akkor átmenetet indukál: az eddigi kis-tér keresőket átbillenti nagy-tér kereső állapotba. Ezeket a második mágnes kiszórja oldalra, és nem jutnak el az utána elhelyezett detektorig. A mikrohullámú tér rezonanciafeltételét tehát az jellemzi, hogy ekkor nem találunk a detektorba csapódó antihidrogén atomokat. Ezzel a módszerrel a két állapot közötti energiakülönbség meghatározható, amelyből azután az antiproton mágneses momentumára lehet következtetni.

Egzotikus atomok

Egy „szokásos” atomban a pozitív töltésű mag körül elektronok keringenek. Az elektronok negatív töltésük miatt vannak a maghoz kötve. Felmerülhet a kérdés, hogy vajon lehetséges-e más negatív töltésű részecskéket is befogadni egy atomba. A válasz erre a kérdésre: igen.⁸ Sikertült már előállítani olyan atomokat, amelyekben az egyik elektront negatív müon vagy kaon helyettesíti. Ezek az atomok amiatt is rövid élettartamúak lesznek, hogy mind a müon, mind pedig a kaon előbb-utóbb elbomlik.

Az antiproton is negatív töltésű. Vajon ki lehet-e cserélni egy atomi elektront antiprotonra is? A válasz erre a kérdésre is: igen. Ez talán elsőre kicsit meghökkentő, hiszen az antiproton (hasonlóan a protonhoz) az atommagban szeretnének elképzelni, nem pedig az atommag körül „keringve”.⁹ Ilyen atomokkal már a '80-as években is kísérleteztek. Például – szintén a CERN LEAR nevű gyűrűjén – antiprotonokat lőttek egy ólom céltárgyba. Az antiprotonok időnként kiütöttek egy elektront az ólomatombából, a helyükre léptek, majd pillanatok alatt lebukdácsoltak az egymást követő energiaszinteken, míg végül a maggal érintkezve annihiláltak. Ez az annihiláció igen hamar bekövetkezett, de az energiaszinteken való lelépkedés során kibocsátott röntgensugárzás energiáját (azaz az energiaszintek közötti különbséget) kimérve meg lehetett határozni például az antiproton mágneses momentumát.

Sokáig azt hitték, hogy az összes antiprotonos atom igen rövid élettartamú. 1991-ben azonban a Tokiói Egyetem kutatói felfedezték, hogy az antiprotonos héliumra ez nem igaz. A héliumba befogódott antiprotonok kis része (~3%) olyan kvantumállapotba kerül, amelynek az élettartama néhány mikroszekundum (metastabil állapotok). Ez



3. ábra. a) Szextupól mágnes a spinszelekcióhoz. Az antihidrogén atomok a z tengely irányában haladnak át a mágnesen. b) Az antihidrogén $1s$ állapot hiperfinom felhasadásának mérési vázlatja.

már elegendő idő a lézerspektroszkópiai vizsgálatra. Az ASACUSA-kísérlet keretében ilyen kutatások is folynak.

Az antiprotonokat hélium gázba lövik, amelyet detektorok vesznek körül. Ezek a detektorok észlelik az antiprotonok annihilációja során keletkező töltött részecskéket, elsősorban pionokat. A detektorok jelének időbeli lefutását néhány mikroszekundumnyi ideig számítógépek rögzítik (időspektrum). Az antiprotonok nagy része azonnal annihilál, hatalmas csúcsot idézve elő az időspektrum elején. A metastabil állapotokba került antiprotonok viszont sokkal elnyújtottabb jellefutást eredményeznek, néhány mikroszekundum időállandóval. Ez alatt az időtartam alatt egy lézerimpulzust lőnek a gázba. Ha a lézer frekvenciája megfelelően van hangolva, akkor átmenetet indukál egy metastabil és egy rövid élettartamú állapot között. A metastabil állapotból az instabil állapotba „átlökött” antiprotonok gyakorlatilag azonnal annihilálnak, egy nagy csúcsot okozva a detektorok időspektrumában (a lézerimpulzussal egyidőben). A lézerfrekvencia függvényében nézve ennek a csúcsnak a nagyságát az átmenetek energiája igen pontosan meghatározható.

Az antihidrogénnel ellentétben most nem annyira egyszerű megmondani, hogy mit jelentenek ezek az eredmények az anyag–antianyag szimetriára vonatkozóan, mivel nincsenek más kísérleti eredmények, amelyekkel össze lehetne hasonlítani őket. Az energiaszintek elméletileg kiszámolhatóak,¹⁰ ha feltételezzük, hogy az antiproton a protonnal azonos tömegű. A kísérleti és elméleti eredmények összevetéséből lehet aztán következtetni a proton és antiproton tömege közti esetleges eltérésre. Jelenleg az elméleti és kísérleti eredmények igen nagy pontossággal megegyeznek, azt igazolva, hogy a proton és antiproton tömege $2 \cdot 10^{-9}$ -es pontossággal azonos. Jelenleg ez az antiproton tömegére vonatkozó legpontosabb mérés.

⁷ Ez a tervezett kísérlet némileg hasonlít a klasszikus Stern–Gerlach-kísérlethez, amelyben egy inhomogén mágneses tér a rajta áthaladó $1/2$ spinű részecskenyalábot 2 részre választotta, a részecskék spinjének a mágneses térhez viszonyított állása szerint.

⁸ Ebben a témában egy korábbi cikk bővebb információval szolgál: <http://www.kfki.hu/fszemle/archivum/fsz0403/hd0403.html>

⁹ A legegyszerűbb ilyen antiprotonos atom a protónium, a hidrogénnek egy „antiprotonosított” változata, amely egy proton és egy antiproton kötött állapota.

¹⁰ Bár ezek igen bonyolult háromtest kvantum-elektrodinamikai számítások

Kitekintés

Az antianyag a tudományos-fantasztikus művekben is felbukkan, méltán. Valóban érdekes a természetnek ez a kettőssége. *Dan Brown: Angyalok és Démonok*¹¹ című könyvében egy titkos társaság antianyagbombával akarja megsemmisíteni a Vatikánt. Az antianyagot a CERN-ből lopják el. Mint fentebb bemutatjuk, antianyag valóban létezik, és minden szerzőnek joga, hogy igaz tényeket is felhasználjon egy izgalmas és fordulatos műben. Sajnálatos azonban, ha ez a könyvben szereplő néhány valóságos tény az olvasók számára a többi, fiktív dolog igazolásaként szolgál, ha az olvasók természettudományos ismereteiket egy (tévedésektől hemzsegető) regényből szerzik. Az igazság és a fikció közötti határvonal meghúzása nagyon fontos, bár nyilvánvalóan nem könnyű feladat azok számára, akik nem járatosak az adott tudományterületen.

Mint korábban említettük, a töltött részecskék csapdázásának az egyik leghatékonyabb módszere a Penning-csapda. Az e téren eddig legeredményesebb ASACUSA-kísérletben 10^6 számú antiprotont tudtak csapdázni az AD gyűrű egy ciklusában. Az AD gyűrű ciklusai körülbelül 2 percig tartanak. Egy antiproton tömegének megfelelő energia 938 MeV. Ezek szerint 10^{11} évi folyamatos üzem kellene ahhoz, hogy a csapdában levő antiprotonok tömege 1 kilotonna TNT robbanási energiájának ($4,184 \cdot 10^{12}$ joule) feleljen meg. Összehasonlításként: a Egyesült Államok által eddig használt legkisebb atomfegyver 0,01–1 kilotonna körüli.

¹¹ Egy könyvnek, írónak (vagy politikusnak) a nyilvánosság előtti emlegetése szükségszerűen reklámként, figyelemfelkeltésként szolgál, akár pozitívan, akár negatívan nyilatkozunk róla. Ez a jelen cikk szerzőjének semmiképpen sem állt szándékában; ennek ellenére fontosnak látta ezt a rövid paragrafusnyi megjegyzést. A könyv és ezen cikk szerzőjének névegybeesése is pusztán a véletlen műve...

Mindez persze csak akkor lenne igaz, ha minden egyes ciklusban újabb és újabb egymillió antiprotont tudnánk elfogni a csapdában az addigiak mellé. Ez elvi okok miatt lehetetlen. Mivel az azonos töltésű részecskék tasztják egymást, egy bizonyos mennyiség után a köztük fellépő tasztító erő legyőzi az őket bezáró elektromágneses erőket. Érintkezésbe kerülnek a csapda falával és megsemmisülnek. Semleges részecskék (például antihidrogén) esetében ez a probléma nem lép fel – csak az, hogy hogyan csapdázzuk őket egyáltalán.

Van egy további nehézség, ami megkeseríti az antianyag csapdázására vágyó kutatókat (vagy terroristákat). Az antiprotonok nemcsak a csapda falával, hanem a csapdában levő gázatomokkal való találkozás során is megsemmisülnek. Huzamosabb tárolásukhoz extrém nagy vákuumra van szükség, ezért ezeket a csapdákat nagyteljesítményű szivattyúk szolgálják ki folyamatosan. Ezenkívül folyékony héliummal való hűtésük is szükséges, egyrészt a szupravezető mágnesek miatt, másrészt a nagy vákuum elérése céljából: a hűtött falakra kifagynak a gázmolekulák. Ez a mechanizmus is szükséges az ilyen nagy vákuumok előállításához. Egy ilyen berendezés ellopása tehát nem könnyű feladat, biztosítani kell a folyamatos (nem csekély) áram- és héliumellátást.

Még egy esetleges téveszme igényel egy megjegyzést: az antianyag mint energiaforrás. Amennyiben természetes formában rendelkezésünkre állna antianyag, az használható lenne energiatermelésre. Elérhető környezetünkben azonban nincs antianyag, ezt igen nagy energiák befektetésével nekünk kell előállítani – például nagyenergiás részecskeütköztetésekben. Az ennek során felhasznált energia sokszorosra annak, ami aztán antianyag formájában ölt testet. Éppen ezért az antianyag nemcsak energiaforrásként, de (drágán előállított) üzemanyagként sem tűnik használhatónak – márcsak a tárolási nehézségek miatt sem.

16 ÉVEM A CERNBEN

Horváth Dezső
MTA KFKI, RMKI

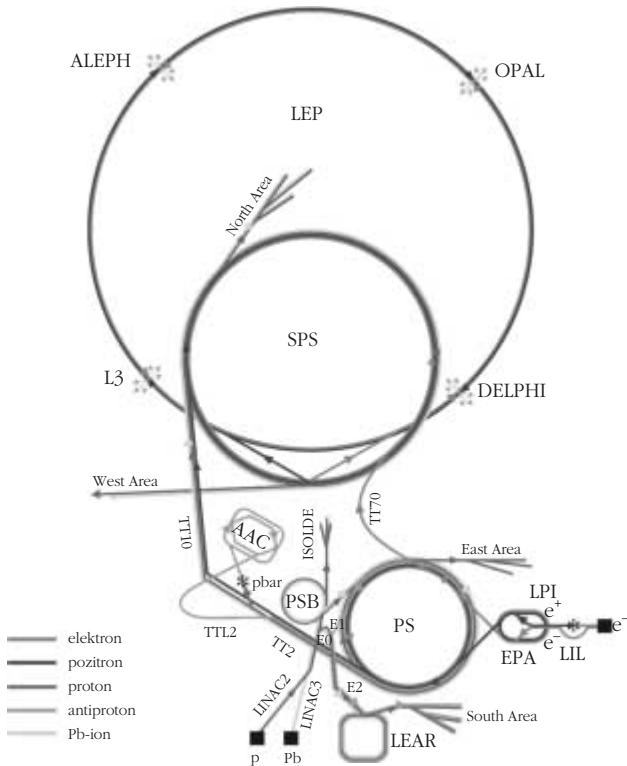
A CERN alapításának ötvenéves évfordulója alkalmából sok minden történt: hatalmas ünnepségsorozat a CERN-ben királyok és államelnökök részvételével, ünnepi ülések a részt vevő országokban, a Magyar Tudományos Akadémián is, valamint megemlékező cikkek sokasága, közöttük egy tőlem is a *Magyar Tudományban*. A jelenlegi írásom ürügye más: éppen 16 éve, hogy a CERN-be járok, és a Főszervező felkért, hogy írjam meg élményeimet.

A CERN gyorsítói

A CERN gyorsító-berendezéseinek egymásra épülő rendszere hihetetlenül bonyolult, és számomra mindig lenyűgöző volt, milyen jól működik. A mai rendszer alapját képező *Proton-Szinkrotron* (PS, az *1. ábrán*), amelyet a brookhaveni Alternating Gradient Synchrotron mintájára

építettek, 1959-ben kezdett működni. A *Szuper Proton-Szinkrotron* (SPS, 1976) volt az első „országhatáron átívelő” gyorsító (addig a CERN eszközei elfértek a svájci oldalon), azon fedezte fel 1983-ban *Carlo Rubbia* csoportja a gyenge kölcsönhatást közvetítő W- és Z-bozonokat. Az SPS számos nagyszerű együttműködést szolgált ki, többek között a jelentős magyar részvétellel kivitelezett NA49 nehézion-kísérletet is. Rá épül majd az a nyalábrendszer is, amely neutrínókat küld Közép-Olaszországba, a Gran Sasso-i neutrínóobszervatóriumba: a távolság megfelelő a neutrínók egymásba alakulásának tanulmányozására.

A *Nagy Elektron–Pozitron Ütköztető* (LEP – Large Electron Positron Collider) 1989-ben kezdett működni a CERN-ben, akkor még a stanfordi (USA) lineáris ütköztetővel azonos energián, a Z-bozon tömegének megfelelő 91 GeV-en. 1995-től kezdve a LEP gyűrűjében a részecskeenergiát fokozatosan a duplájára emelték, utolsó évé-



1. ábra. A CERN gyorsítókomplexuma 1996-ig. A Proton-Szinkrotron (PS) a lineáris gyorsítóktól kapott elektront és pozitront gyorsít a Nagy Elektron–Pozitron Ütköztető (LEP), protont és nehéz ionokat a Proton Booster (PB) közvetítésével a Szuper Proton-Szinkrotron (SPS), és protont az Antiproton Akkumulátor és Kollektor (AAC) számára. Amikor az Alacsonyenergiás Antiproton Gyűrű (LEAR) kifogy az antiprotonokból, az AAC elküld egy adagot a tárolt antiprotonokból a PS-nek, az lelassítja és átküldi a LEAR-be, ahol azokat több lassítási és hűtési periódus után a kísérletekhez juttatják. A PB minden második protoncsomagját az ISOLDE atomnyalábjai használják, főként magspektroszkópiai mérésekre.

ben, 2000-ben, a teljes ütközési energia elérte a 209 GeV-et. A LEP-et 2000 végén detektoraival együtt lebontották, hogy helyet adjon a Nagy Hadron Ütköztetőnek (hadronoknak az erősen kölcsönható, összetett részecskéket hívjuk, mint a proton, a neutron vagy a mezonok), az LHC-nek (Large Hadron Collider), amely 14 TeV (1 TeV = 1000 GeV) együttes energián protonokat, 1148 TeV-en ólomionokat fog ütköztetni (2. ábra).

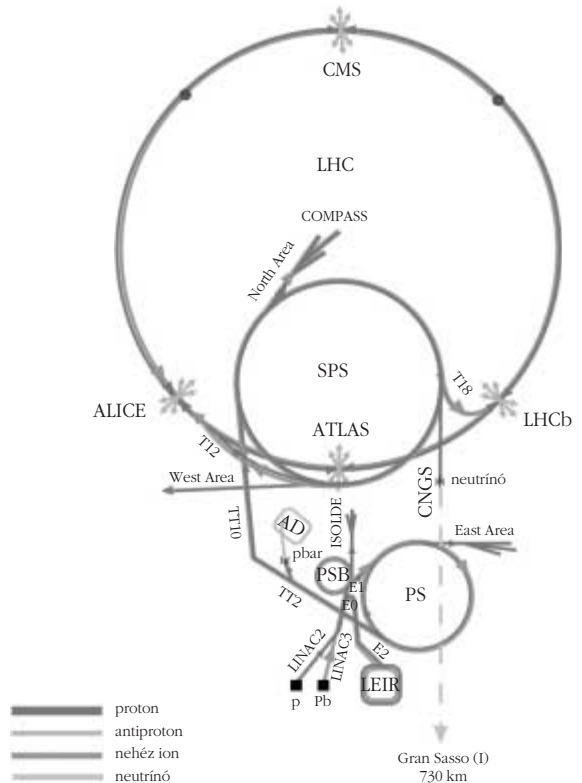
Habár a CERN elsőrendű feladatának a nagyenergiájú kutatást tartja, jelentős szerepet vállal az alacsonyenergiájú fizikában is. A PS egyik előgyorsítója, a Proton Booster, PB, minden második „lövését” az ISOLDE (On-Line Isotope Mass Separator) nevű berendezés atomi nyalábjai számára küldi. 1996-ig működött az Alacsonyenergiás Antiproton Gyűrű (Low Energy Antiproton Ring, LEAR), amelyen az első antihidrogén-atomokat sikerült előállítani (1. ábra). 1999-ben helyezték üzembe utódját, az Antiproton Lassítót (Antiproton Decelerator, AD, 2. ábra), amelyen az anyag–antianyag szimmetriát vizsgálják.

A CERN jelenleg a világ legnagyobb részecskefizikai laboratóriuma: mintegy 2800 főt foglalkoztat, és ezzel több, mint 6000, a kísérletekben résztvevő kutatót szolgál. Részecskefizikai alap kutatásra szakosodott intézmény, jelentősége azonban messze túlnő a részecskefizikán. Georges Charpak 1968-ban itt építette meg az első sokszá-

las proporcionális számlálót, amely azután forradalmasította a részecskeészlelés technikáját (nem csak a részecskefizikában), és Nobel-díjat hozott megalkotójának. Az a technológiai kihívás, amelyet az újabb és újabb gyorsítók és detektorrendszerek kifejlesztése, majd megépítése követel, komoly fejlődést hozott a vákuumtechnikában, az elektronikában és a számítástechnikában egyaránt. A LEP DELPHI (Detector with Lepton, Photon and Hadron Identification) detektorába a világ akkor legnagyobb szupravezető mágnesét építették be 1989-ben. Az LHC CMS (Compact Muon Solenoid) detektora számára már megépült a jelenlegi legnagyobb szupravezető szolenoid: a nyolc méter átmérőjű hengerben 4 T mágneses tér lesz. A CERN körül, a svájci–francia határ mindkét oldalán, technikai parkok jöttek létre fejlesztőcégek tucatjaival.

A CERN talán legszélesebb körben ismert mellékterméke a világháló. 1990-ben Tim Berners-Lee arra a célra fejlesztette ki, hogy a fizikusok az irodáikból (legyen az Genfben vagy Londonban) tudják ellenőrizni a kísérletük állapotát. Az ötlet megvalósítása néhány év alatt robbanásszerűen elterjedt a világban, 1994-ben már a vatikáni könyvtárban barangoltam vele. A CERN a jelenleg igen gyorsan fejlődő Grid-technológia fejlesztésében is az élen jár: egy 2004-ben kezdődött EU-projekt keretében a világ nyolcvan intézményének konzorciumát koordinálja egy egységes Grid-rendszer kifejlesztése érdekében. (Pillanatnyilag minden Grid-alkalmazás különböző, egymáshoz nem illő szoftverrel működik, Magyarországon is öt ilyen rendszert ismerek.)

2. ábra. A CERN gyorsítókomplexuma 2007 után. A Proton-Szinkrotron (PS) protont és nehéz ionokat gyorsít a Szuper Proton-Szinkrotron (SPS) és a Nagy Hadron Ütköztető (LHC), valamint protont az Antiproton Lassító (AD-AC) számára. Az SPS neutrínónyalábót (CNGS) indít az Olaszország közepén található Gran Sasso neutrínólaboratórium felé.



A CERN-ről sok közérdeklődésre is számot tartó érdekesség olvasható az intézet honlapján (<http://intranet.cern.ch/Public/>) és az ötvenéves évforduló programjában (<http://intranet.cern.ch/Chronological/2004/CERN50/>).

A magyar ismeretterjesztő sajtó mindig komoly figyelmet szentelt a CERN-i kutatások magyar vonatkozásainak. 1994-ben a *Fizikai Szemle* különszámot adott ki a CERN fennállásának 40. évfordulójára, a *Természet Világának* is volt részecskefizikai különszáma (*Mikrovilág*, 2000), amelyben a kísérleti vonatkozású cikkek a CERN-re összpontosultak. Amikor *Zimányi Józseffel* a *Fizikai Szemle* 2003-as CERN-külszámát szerkesztettük csatlakozásunk 10. évfordulója alkalmából, felhívásunkra egy szám terjedelmét messze meghaladó mennyiségű cikk érkezett, ezért a különszám megjelenése után még hónapokig jelentek meg eredetileg oda szánt cikkek.

Azokról a kísérletekről, amelyekben magam is tevékenykedtem, az utóbbi tíz évben bőségesen írtam a *Fizikai Szemlében*, a továbbiakban csak vázlatosan tekintem át őket, de a következő oldalakon természetesen így is lesz olyan rész, mely visszaköszön e korábbi cikkeimre.

Antiprotonfizika a LEAR-nél

Amikor 1989-ben véget ért alacsonyenergiás kaonkísérletünk a brookhaveni AGS-gyorsítónál, és a vancouveri TRIUMF-nál (TRI-University Meson Facility) is vége felé közeledett atomfizikai kísérletsorozatunk, a gyerekeim közölték, többé nem óhajtának külföldre menni (öt év Dubna és összesen három év Észak-Amerika után ez megbocsátható volt). Európai kísérletek után néztem, hogy közelebb legyek, így csatlakoztam egy Pisa–Genova–CERN–Villigen együttműködéshez az antiproton gravitációs tömegének mérésére. Ehhez elsősorban nagy tömegben csapdában tartott és lehűtött antiprotonokra volt szükség, ezek létrehozását egy anticiklotronnal próbáltuk elérni. Ez egyike volt a – szerencsére elenyészően kevés – sikertelen kísérleteimnek.

Négyéves munkával az derült ki, hogy a CERN Alacsonyenergiás Antiproton Gyűrűje, a LEAR, nem volt alkalmas az anticiklotron számára szükséges 72 MeV/c impulzusú nyaláb előállítására. A másik hasonló kísérlethez szánt rádiófrekvenciás utólassítót sem sikerült akkor üzembe helyezni (pedig az nekünk később, az Antiproton Lassítónál sikerült). Ráadásul módszerünk, amellyel az antiproton és a proton gravitációs gyorsulását szándékoztuk mérni, elvérzett a kezdeti feltételeken: a szimulációk szerint a szupravezető fémtiszta felületén elkerülhetetlenül megjelenő kis elektrosztatikus potenciálok hatása teljesen elfedi a gravitációét. Ugyanakkor maga az anticiklotron kiválóan működött, hiszen a villigeni Paul Scherrer Intézetben sikerült vele müonokat lassítanunk, pedig a müonok nyalábkarakterisztikája, rövid élettartamuk miatt, az antiprotonokénál sokkal gyengébb volt.

Az 1. ábra a CERN gyorsító-rendszerét szemlélteti 1996-ban, a LEAR működésének befejezése előtt. Bámulatos volt, ahogy a proton-szinkrotron mágnesei 14,4 másodpercenként végigvonultak a PS működésének valamennyi szakaszán: proton-, nehézion-, elektron-, és po-

zitrongyorsítás, valamint antiproton-lassítás, habár antiproton-lassításra általában félóránként, elektron- és pozitrongyorsításra pedig, a LEP energiájától függően, néhány óránként volt csak szükség.

A fenti kísérlet vége felé kezdett dolgozni a LEAR-nél a Tokiói Egyetem és a Münchener Műszaki Egyetem kutatóiból álló PS205 csoport régi barátom, *Jamazaki Tosimicu* (angol névhasználat szerint *Toshimitsu Yamazaki*, de a japán ugyanúgy gondolkodik, mint a magyar) vezetésével: céljuk a hosszú élettartamú antiprotonos héliumatom (egy antiprotonból, egy elektronból és a héliumatommagból álló kötött állapot) spektroszkópiai tanulmányozása volt.

Előéletem miatt viszonylag könnyű volt bekéredzkednem, bár a két kezemen kívül mást nem tudtam szállítani. Amikor 1993 tavaszán csatlakoztam az előkészületekhez, elképesztő rendtelenséget találtam: óriási meglepetésemre kiderült, amit azóta Tokióban is tapasztaltam, hogy a japán fizikusok nemigen törődnek rendcsinálással. A kísérleti területen mindenfelé kinyitott és esetenként félig kidőlt dobozok heverték csavarokkal és vákuumalkatrészekkel, közöttük ledobva egy-egy szerszám, és, persze, senki semmit nem talált. Úgy látszik, a német szellem némileg befolyásolt bennünket a Monarchiában, mert egyből lett szerepem: szekrényeket és dobozokat vettem, és három hét alatt sikerült mindent szépen elhelyeznem. Azt viszont, hogy vissza is rakják, nehezen sikerült elérnem, úgyhogy a továbbiakban is, ha egy német kolléga vagy én megláttunk egy eldobott szerszámot vagy csavaros dobozt, mi vittük vissza a helyére. Most már tizenkét éve használjuk az akkor feliratozott dobozokat és szekrényeket.

Az első két évben nagyon nehéz munka volt a lézerrezonanciák keresése, mert támpontunk két eléggé pontatlan korai számítás volt. Óriási diadal volt, amikor az első antiprotonos átmenetet sikerült két lézerrendszer két hétig való léptetésével megtalálnunk 1993-ban. Bonyolította a helyzetet a LEAR folyamatos nyalábjá: az antiprotonok egyenként jöttek, megállásuk után vártunk 100 ns-ot, nem fogódnak-e be az atommagban és semmisülnek meg egy rövidéletű állapotból, és ha nem, indítottuk a lézereket. Mivel másodpercenként százat „lőttünk” velük, naponta kellett festéket cserélnünk, és az excimerlézerek tükreit tisztítanunk. A lézereink teljesen el is használódtak négy év alatt.

A fordulat 1995-ben következett be. *Révai Jánossal* közösen szerveztünk egy kis konferenciát Balatonfüreden 1995 januárjában, a befagyott tó mellett, és a PS205-ös kísérlet résztvevőin kívül meghívtuk rá a témakör iránt érdeklődő elméleti kollégákat is. Itt mondta *Dimitar Bakalov* Szófiából azt, hogy van egy zseniális matematikus barátja Dubnában, aki pontosan ki fogja tudni számolni nekünk az átmeneti energiákat. Valóban, a barát, *Vlagyimir Korobov* pár hónap múlva, miután kiszámolt jó néhány átmenetet, küldött egy az eredményeit tartalmazó táblázatot. Számításai két, már megmért értékkel igen jól egyeztek. Ilyenkor persze a kísérleti fizikus illesztésre gyanakszik, ezért megköszöntük, de nem voltunk különösebben oda érte, amíg el nem kezdtünk mérni. Akkor ugyanis kiderült, hogy a számítások mindössze 50 ppm-el különböznek a mért értékektől, mégpedig mindig ugyanabban az irányban. Ettől a mérésünk egy nagyság-

rendet gyorsult, az átmeneteket nem kellett keresnünk, csak tanulmányoznunk. Amikor Korobov megérkezett, hatalmas üdvölgéssel fogadtuk, és nem értettük, miért olyan csalódott a különbség miatt. Azóta megtalálta az okát, és az elmúlt tíz évben négy nagyságrendet javított a számításai pontosságán. A versenytársai (a Tohoku Egyetem egy csoportja kivételével) közben mind feladták.

1999-ben jöttünk rá, hogy ha az általunk meghatározott antiproton-átmenetek frekvenciáit egybevetjük a proton tömegét és töltését feltételező számításokkal, valamint a harvardi *Gerald Gabrielse* ciklotronfrekvenciás antiproton-méréseivel, be tudjuk határolni az antiproton és a proton tömegének és töltésének lehetséges különbségét. Ez az anyag és antianyag szimmetriáját kimondó CPT-invariancia elv fontos kísérleti ellenőrzésének bizonyult. A CPT-invariancia a fizika egyik legfontosabb szimmetriatétele, kimondja, hogy egy mikrorendszer tulajdonságai nem változnak meg, ha egyidejűleg tükrözzük a töltéseket (charge), valamint a térkoordinátákat (parity) és az időt (time). Annyira alapvető tulajdonság, hogy az ettől eltérő modellek kidolgozónak igen lényegesnek tartott alapelveket kell feladniuk még aránylag kis szimmetriasértés érdekében is.

A LEAR-nél végzett munka életem egyik legszebb, bár igen fárasztó élménye volt. A mérési periódusok évente másfél-két hónapig tartottak, ezalatt folyamatos volt a munka. Mivel jó alvó vagyok, általában vállalkozom az éjszakai műszakokra, főleg, mivel olyankor kevés a személyes és telefonos szurkoló, akik nincsenek ugyan műszakon, de azért érdekli őket, mi történik. A PS205-ös kísérlet folyamán állítottam be egyéni rekordomat negyvenhat egymást követő, éjszakai műszakkal.

Az Antiproton Lassító (AD)

A CERN részecskefizikai laboratórium, az atomfizikát inkább csak megtűri a tematikájában. Már a 90-es évek elején tervbe vették a LEAR végleges leállítását, és amikor 1996-ban a LEAR-nél kísérletező három nagy részecskefizikai együttműködés befejezte az adatgyűjtést, az be is következett. Az ott dolgozó atomfizikusok ebbe nem törődtek bele. Még 1992-ben összeállítottunk egy tanulmánytervet az antihidrogén-atom tanulmányozásának lehetőségeiről a CERN tudományos bizottságai számára, majd azt jelentősen kibővítve meg is jelentettük: a cikknek öt szerzője volt öt különböző országból. A gyorsítófizikusok kitartó munkáján és négy ország (Japán, Németország, Olaszország és Dánia) célzott anyagi támogatásán kívül ez a cikk is hozzájárult ahhoz, hogy 1999 végére elkészült az Antiproton Lassító három kísérlettel a CPT-invariancia ellenőrzésére. Magam kettőben is benne voltam: a PS205-ös folytatásaként meghirdetett ASACUSA-ban és az antihidrogén ATHENA-ban, de az utóbbiból később kiváltam.

Az ASACUSA nevet (Tokió legrégebbi negyede után) az együttműködés nem-japán résztvevői találtuk ki, tekintettel a döntő japán hozzájárulásra, az Atomic Spectroscopy And Collisions Using Slow Antiprotons kezdőbetűiből. Három független kísérletet tartalmaz három csoporttal. Az Aarhusi Egyetem csoportja *Helge Knudsen* vezetésé-

vel lassú antiprotonok fékezéskéességét méri, a Tokiói Egyetem Komaba-részlegéből *Jamazaki Jaszunori* csoportja pedig egészen lassú antiproton-nyalábot készített elektromágneses csapdában való befogással. A spektroszkópiai témát a Tokiói Egyetem Hongo-részlegéből *Hajano Rjugo* csoportja vezette, részt vett rajtuk kívül két CERN-i munkatárs és két-három magyar is. A kísérlet előkészületei során megszületett két debreceni diplomamunka, majd 2004-ben egy doktori dolgozat. A mérőberendezéshez csoportunk a különböző részegységek precíziós mozgatóállványainak megépítésével járult hozzá, azokat *Zalán Péter* (RMKI) tervezte.

Az AD (Antiproton Decelerator) 1999-es indulása óta folyamatosan javítjuk a spektroszkópiai módszerünket, ebben *Hori Maszaki* játssza a főszerepet. A kétévenként megjelenő *Review of Particle Physics* kiadásaiban ez jól nyomon követhető: az antiproton tömegének és töltésének a protonétól való lehetséges eltérését kizárólag mi mérjük, az 1999-ben publikált eredményünk $5 \cdot 10^{-7}$ -es relatív különbséget engedett meg, a 2001-es $6 \cdot 10^{-8}$ -t, a 2003-as pedig $1,0 \cdot 10^{-8}$ -t.

Volt egy érdekes vitánk a CERN korábbi főigazgatójával, *Luciano Maianival*. 2001-ben meglátogatta a kísérletünket. (Pályafutásom során jó néhány kutatóintézetet megjártam világszerte, és csak három olyan igazgatóval találkoztam, aki látogatta az intézetében folyó kísérleteket.) Maiani közölte, nem érti, minek vessződünk ezzel, hiszen (1) a elektromos töltés kvantált; (2) az anyag semlegességéből következően az elektron és a proton töltése hallatlan pontossággal egyezik; és (3) a töltés/tömeg arány egyenlőségét igen pontosan mérték protonra és antiprotonra. A megbeszélésen mégis sikerült kísérletünk motivációit meggyőzően bemutatni. Ez hozzájárulhatott ahhoz, hogy később főigazgatói beszámolóiban mérésünket a CERN kiemelkedő eredményei között emlegesse.

Az AD másik két kísérletének, az ATHENA-nak és az ATRAP-nak 2003–2004 folyamán sikerült nagymennyiségű antihidrogén-atomot előállítania. Távlati céljuk a 2S–1S átmenet energiájának összehasonlítása kétfotonos spektroszkópiával hidrogénben és antihidrogénben, de addig még hosszú és rögös az út. Ehhez az antiproton és két pozitron hármas ütközéseiben keletkező, magasan gerjesztett atomokat alapállapotra kell hozni és csapdában tartani. A mi ASACUSA-kísérletünk (Tokió–Bécs–Budapest–Debrecen együttműködés) is bekapcsolódik az antihidrogén-kutatásba, de mi röptetni fogjuk az antihidrogén-atomokat, és mágneses térben az alapállapot hiperfinom szerkezetét vizsgálni. Ettől azt várjuk, hogy a semleges kaonokon mérthez hasonló pontosságú CPT-ellenőrzést nyújt.

Részvételünk az OPAL-együttműködésben

A CERN LEP gyorsítója 1989-től 2000 végéig működött, akkor a világ legnagyobb gyorsítóberendezése volt: 100 méter mélyen a föld felszíne alatt fekvő alagútja 26,7 km hosszú. Négy óriási (10 méter hosszú és 10 méter átmérőjű, hengeres) detektor (ALEPH, DELPHI, L3 és OPAL) figyelte az egymással szemben keringő elektronok és

pozitronok négy ütközési pontjában keletkező részecskéket. A detektorok egymáshoz igen hasonló felépítésűek voltak. Három különböző rendeltetésű részből álltak, körkörösén egymásba építve. A nyalábvezeték körül a töltött részecskék pályáját követte nyomon a belső detektor, ezt a különböző részecskék teljes energiáját elnyelő/mérő kaloriméterek vették körül, majd a műonkamrák következtek, a gyors műonokat ugyanis az összes többi részecskét elnyelő kaloriméterek nem tudják megállítani. Mindegyik detektor mágneses térrel működött, kettő szupravezetővel, a másik kettő hagyományossal. A múlt idő nem véletlen: 2000-ben szétszerelték és részben elszállították, részben megsemmisítették, a felszabadult ócskavas ára fedezte az elektronika megsemmisítésének árát (a nyomtatott áramkör veszélyes hulladék).

Budapesti és debreceni kutatókból álló csoportunk éppen tíz éve csatlakozott az OPAL (Omni-Purpose Apparatus for LEP) együttműködéshez. Négy fővel kezdtük, fénykorunkban tizenegyen voltunk. Kezdetben csak a Higgs-keresésben vettünk részt, 1997-ben azonban témakörünk kibővült a kvantumszindinamika ellenőrzésével, majd 1999-ben a fotonfizikával. A tíz év alatt csoportunkban két PhD-disszertáció és öt diplomamunka született, egy PhD-munka még készül.

Az OPAL volt a legkisebb LEP-együttműködés. Csatlakozásunk idején, 1995-ben, a cikkeinken 330 szerző szerepelt kilenc ország harmincnégy intézményéből, szemben a legnagyobb DELPHI együttműködés 550 szerzőjével. A 330 szerző is soknak tűnhet, de csak a detektor különféle berendezéseinek, alberendezéseinek üzemeltetése 150 kolléga állandó CERN-i jelenlétét igényelte – ezt biztosítani egyébként nem kis nehézséget okozott. Amikor az OPAL csoportvezetőinek előadtam a létrehozandó magyar csoport tervét, az első kérdésük az volt, hány embert tudunk majd a CERN-ben állomásoztatni. A válasz, természetesen, az volt, hogy egyet sem, mert egy ember ott állomásoztatása a járulékokkal együtt mintegy hatmillió forintba került volna évente, annyi pályázati pénzünk pedig még akkoriban sem volt. Nekünk már a detektor közös költségeihez való, fejenként és évente egymillió forintos hozzájárulás is megoldhatatlan terhet jelentett, ezért a ránk eső hányadot a negyedére csökkentettük. Ezt a nagyvonalúságot az tette lehetővé, hogy a többi csoport gazdag országokból jött, mi voltunk egyedül kelet-európaiak.

A LEP hat hónapnyit működött évente, ilyenkor általában hárman felügyeltük a mérőrendszert a föld alatt 100 méterre levő mérőszobában. Egyszer éppen ügyeletes voltam, amikor áramkimaradás miatt minden leállt. Harminc telefonszámot kellett felhívunk, hogy az egyes detektorelemek szakemberei megjelenjenek, fel-támasztani az egységüket. Ez, Murphy törvényének megfelelően, szombatról vasárnapra virradóan éjjel kettőkor történt. Amikor az utolsó áldozatokat keltem, az első már befutottak. Senki sem volt morcos, remek hangulatban vártuk az akkumulátoros vészlámpák félhomályában, hogy visszajöjjön a villany. Egy órával azután, hogy az áramszolgáltatás helyreállt, a rendszer működött. Pedig több egység tönkrement, és cserére szorult. Ez persze csak úgy működhetett, hogy az aley-

ségeknek mobiltelefonjai voltak, amelyeket felváltva hordoztunk. Egyszer éppen én hurcoltam egy ilyen telefont, és hegymászás közben magyaráztam el az ügyeletesnek, hogyan kell az aldetektoromon a nagyfeszültséget visszaállítani.

Higgs-keresés az OPAL-nál

A Higgs-mechanizmus lényege a spontán szimmetriasértés: a szabadon mozgó részecskékhez hozzáteszünk egy több- (de legalább négy-) komponensű teret, mintha abban mozognának a vákuum helyett. Ez a Higgs-tér sérti az üres tér természetes szimmetriáját, mert minimális energiáját nem a tér eltűnésénél éri el, hanem valamilyen véges értékénél. Ettől a gyenge kölcsönhatást közvetítő (a sértetlen szimmetriájú elméletben tömeg nélküli) három gyenge bozon a kísérleti tapasztalattal egyezően tömeget nyer, és a negyedik komponensből lesz az igen sajátos tulajdonságokkal rendelkező, nehéz Higgs-bozon. A Higgs-mechanizmus számos más jótékony hatással rendelkezik: tömeget biztosít anyagi részecskéinknek, mint amikor a töltött részecske folyadékban a polarizáció miatt nagyobb tehetetlenséggel mozog, mint vákuumban, és a nehéz Higgs-bozon jelenléte rendbe hoz olyan elméleti nehézségeket, amelyek egyébként lehetetlenné teszik a gyenge kölcsönhatással kapcsolatos számításokat.

A Higgs-mechanizmus közvetett kísérleti bizonyítéka a Standard Modellel végzett számítások hihetetlenül pontos egyezése a kísérleti adatokkal, ennek ellenére a Standard Modelnek – elméleti jellegű belső nehézségei miatt – számos általánosítása, kiterjesztése született. A legnépszerűbb ilyen kiterjesztés a Szuperszimmetrikus Standard Modell, amely feltételezi, hogy az alapvető részecskék fermion-bozon párokban fordulnak elő, és a szimmetriasértéshez nyolckomponensű Higgs-teret használ. A nyolc térből három megint a gyenge bozonoknak ad tömeget, a maradék pedig öt Higgs-bozont képez, amelyekből kettő töltött, tehát elvileg jobban kimutatható, mint a semlegesek.

Mivel a Standard Modell valamennyi alapvető részecskéjét sikerült már megfigyelni a Higgs-bozonon kívül, a LEP-gyorsító működése utolsó éveiben már túlnyomórészt a Higgs-bozon(ok) keresésére összpontosított. A négy LEP-kollaboráció *Igó-Kemenes Péter* vezetésével közös munkacsoportot alakított a Higgs-keresés eredményeinek összegzésére. Nagy figyelmet keltett 2000-ben, hogy az ALEPH-együttműködés szignifikáns Higgs-jelet látott, amíg a másik három eredménye a Standard Modellel számított háttérhez közeli volt. Az ALEPH Higgs-jele statisztikailag annyira meggyőző volt abban a csatornában, ahol a Higgs-bozon egy Z-vel együtt keletkezik, és mindketten két-két kvarkra, azaz összesen négy hadron-záporra bomlanak, hogy a kísérletezők nagy része azt szerette volna – hiába –, ha a LEP működését a CERN egy évvel meghosszabbítja. Személy szerint én szkeptikus voltam, két okból. Egyrészt a látni vélt jel nagyon közel volt a kinematikai határhoz, hiszen a LEP átlagos energiája 2000-ben 206 GeV volt, és ha levonjuk a Z-bozon tömegének megfelelő 91 GeV-et, éppen 115 GeV-et kapunk, ahol az ALEPH Higgs-jele a legerősebb volt. A kinemati-

kai határ környékén pedig az adatelemzés már eléggé bizonytalan. Másrészt az ALEPH-együttműködés 1995-ben már bejelentett egy új részecskét 4-hadronzóporos eseményekben, amelyet a többi kísérlet nem látott, és egy évvel később már maga az ALEPH sem.

A négy kísérlet egyesített eredménye végül rengeteg vita és még több megismételt adatelemzés után az lett, hogy a LEP-vizsgálatok 95%-os konfidencia mellett 114,4 GeV tömegig kizárják a Standard Modell Higgs-bozonjának létezését. Csak háttérrel feltételezve a pusztá szimuláció 115,3 GeV-es határt jelezne.

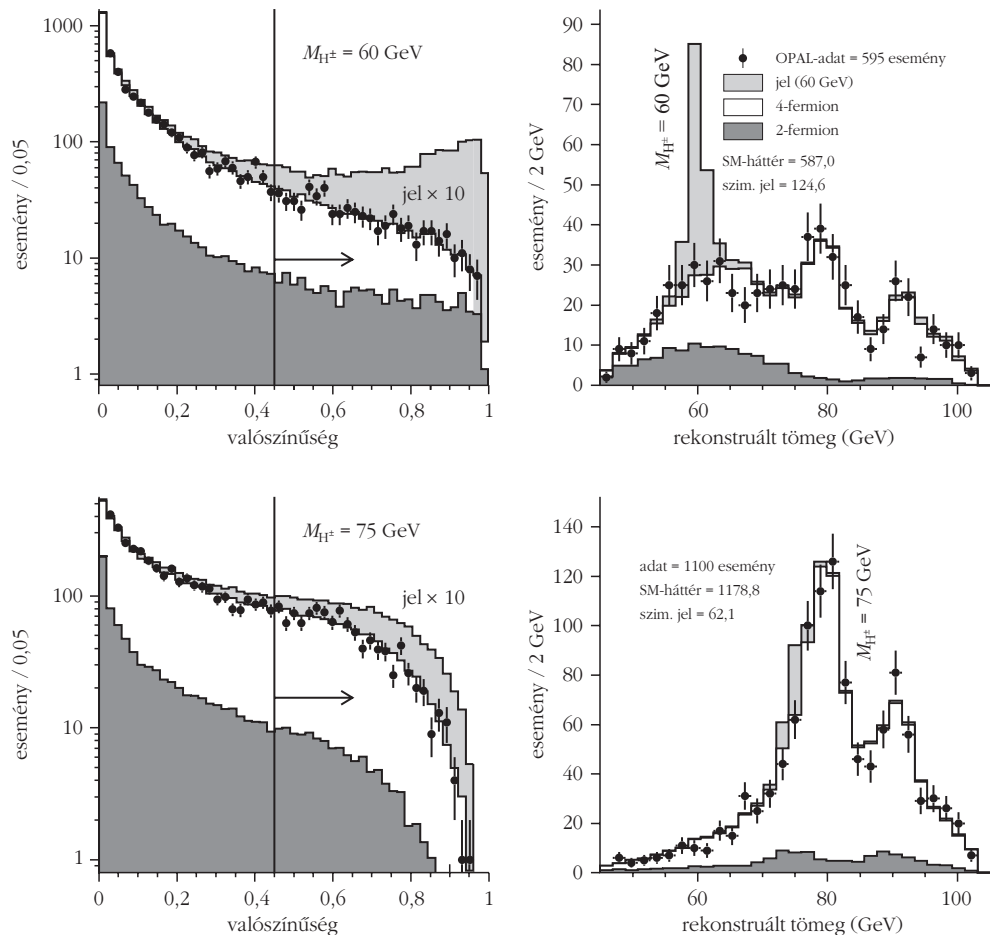
Töltött Higgs-bozon keresése

Mint említettem, a Standard Modell kiterjesztései két Higgs-dublett teret feltételezve öt Higgs-bozont jeleznek, amelyek közül kettő töltött. Az utóbbiak, ha léteznek, LEP-energiáknál párban keletkezhetnek, és egyenként vagy két kvarkra, vagy egy tau-neutrínó párba bomlanak. Ennek megfelelően főként három bomlási csatornában várhatjuk megfigyelését: a négy-kvarkosban, a tiszta leptonosban és a vegyesben, ahol az egyik bozon leptonokra, a másik kvarkokra bomlik.

Az OPAL-együttműködés keretei között a töltött Higgs-bozon keresése csatlakozásunk óta mindig erős magyar részvétellel folyt. A tiszta leptonos csatorna elemzését leszámítva az analízis valamennyi lépését csoportunk végezte, a csatornák statisztikus összegezését is beleértve.

A 3. ábra a töltött Higgs-bozon tömegére tett két különböző feltételezés mellett mutatja az OPAL-adatok analízisét. Vegyük észre, hogy milyen kiválóan egyezik a szimuláció előrejelzése a mért háttérrel. Az utóbbi természetesen tömegről tömegre különböző, hiszen más tömegű keresett részecskére másféle eseményeket fogunk nagyobb jelvalószínűségűnek találni. Az ábrából az is látszik, miért van szükségünk statisztikus módszerekre: a 60 GeV tömegű részecskét nyilvánvalóan kizárják a hadronos kísérleti adatok, a 75 GeV-eset viszont ez a csatorna önmagában nem.

3. ábra. Töltött Higgs-bozon keresése a négykvarkos csatornában (előzetes OPAL-eredmény, D. HORVÁTH – Nucl. Phys. A 721 (2003) 453c–456c). Az analízist valamennyi LEP-energiára és lehetséges Higgs-tömegre elvégeztük, az ábra 60 és 75 GeV tömegűnek feltételezett részecskékre mutatja az események várható és észlelt számát: bal oldalt az adatok jelszerűségét jellemző valószínűség, jobb oldalt pedig a rekonstruált tömeg függvényében.



Várt események észlelésének elmaradása esetén legfőbb eszközünk a statisztikus értékelésből kapható kizárási tömeg- vagy hatáskeresztmetszet-határ. Ezeket egyáltalán nem könnyű meghatározni, mert ha modellfüggetlen eredményt várunk, nem tudjuk előre a csatornák megoszlását, tehát a statisztikus kombinációt az összes lehetséges elágazási arányra és feltételezhető Higgs-tömegre ki kell számítani. A legrosszabb eset adja a csatornafüggetlen határt tömegre és keletkezési valószínűsége. A hadronos és a vegyes csatorna dominanciája környékén a kombinált tömeghatár 75,5 GeV, a tisztán leptonos csatorna járulékanak növekedésével felfelé változik és eléri a 90 GeV-et, a mért tömeghatár tehát 75,5 GeV.

Új részecskék keresése az LHC-nál

A Nagy Hadron Ütköztetőnél, az LHC-gyorsítónál is négy ütközési pont lesz négy detektorral (2. ábra). Kettő közülük általános célú: a CMS (Compact Muon Solenoid), amelyben a magyar kísérletezők zöme, csaknem valamennyi részecskefizikus és több nehézion-fizikus dolgozik, és az ATLAS (Toroidal LHC ApparatuS) egy kisebb magyar csoporttal. A másik kettő: a nehézion-fizikai mé-

résekre szánt ALICE (A Large Ion Collider Experiment) szintén jelentős magyar részvétellel, és a b-kvark fizikájára összpontosító LHCb.

A CMS-detektor építésén két magyar csoport is dolgozik. A müon-detektor helyzetmeghatározó rendszerét a Debreceni Egyetem és az ATOMKI közös csoportja fejleszt, az előreszórás kaloriméter építésében pedig az RMKI vesz részt.

Rendkívüli feladatot jelent majd a CMS-események tárolása és elemzése. Az LHC-ban 25 ns-onként ütköznek majd a protoncsomagok, ütközésenként 10–20 p–p kölcsönhatással, és az összetett hadronokból többnyire csak egy-egy kvark ütközéséből várható fizikailag érdekes esemény (remélhetőleg Higgs-bozon keletkezése is!), így óriási „zajból” kell majd kiválogatnunk, amit keresünk. Csak az előzetes eseményszűréshez 500 GB/s sebességre, azaz mintegy 4000 számítógépre lesz szükség. Évente 10 PB (10^{16} bájt) adatot kell majd tárolni és feldolgozni. A CERN ehhez létrehozta az LCG (LHC Computing Grid) rendszert, amelyhez Magyarország is csatlakozott: jelenleg az egyetlen komoly magyar LCG-rendszert az RMKI üzemelteti 100 processzorral és 7 TB

lemezterülettel. 2003 nyarán telepítettük a résztvevő intézmények (jelenleg mintegy nyolcvan) közül hetedikként az LCG szoftvert, és azóta azt néhány fizikus és informatikus működteti. Népes magyar informatikusgárda vesz részt a CERN-i grides fejlesztőmunkában, és a Magyar Grid Kompetencia Központ keretében a SZTAKI, az ELTE, a BME és a NIIFI informatikusai is hozzájárulnak az LCG-rendszer fejlesztéséhez.

Csoportunk a CMS analízis-előkészítő tevékenységébe kapcsolódott be, ebben az Osztrák Tudományos Akadémia bécsi Nagyenergiájú Intézetével működünk együtt. Célunk töltött Higgs-bozonok és a kvarkok szuperszimmetrikus modellek által jósolt partnereinek keresése proton–proton ütközésekben.

Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönettel tartozik a közös publikációkban szereplő (és nem szereplő) kollégáinak, akik nélkül sem valósult volna meg a leírtakból, a CERN-nek és a Tokiói Egyetemenek, valamint az OPAL és ASACUSA kísérletek résztvevőinek a tiszteves kellemes és eredményes együttműködésért, és amiért a különböző pályázatok (legutóbb az OTKA T042864 és T046095 és FP6 MC-ToK 509252) támogatásával együtt is igen szegény magyarokat befogadták és anyagilag is támogatták.

A FIZIKA TANÍTÁSA

SCIENCE ON STAGE, AVAGY MENTSÜK MEG A TERMÉSZETTUDOMÁNYOK TANÍTÁSÁT!

Lang Ágota

Sopron, Széchenyi Gimnázium

Ezzel a céllal gyűltek össze a természettudományt tanító tanárok (kb. 400-an) Európa 29 országából (és Kanadából) a CERN-ben a 2005. november 21–25. között megrendezett, fenti elnevezésű fesztiválon. Ez az esemény a 2000-ban, 2002-ben és 2003-ban megrendezett *Physics on Stage* folytatása, pontosabban kibővítése volt más természettudományi ágakkal: kémiai és biológiai. A történet az 1990-es években kezdődik, amikor is a fizikatanárok teljesen kétségbe estek a fizika iránti világméretű társadalmi érdektelenség láttán. Később már Európa fizikusokat foglalkoztató nagy kutatóintézetei is észlelték, hogy „hiba van a kréta körül”, amivel a fizikát tanítják. Először a CERN (European Organization for Nuclear Research) az ESA (European Space Agency) és az ESO (European Southern Observatory) ocsúdott fel és talált ki valami okosat: gyűjtsük egybe az európai fizikatanárok „krémjét”, és adjunk nekik lehetőséget tapasztalataik, ötleteik, kicserélésére azért, hogy együtt kidolgozzanak valami stratégiát arra, hogyan tehetnénk a fizikát vonzóbbá a fiatalok számára. Azonban ez a rendezvény más, mint egy hagyományos nagy összeurópai fizikatanári konferencia (Ankét), mert a szervezők műfajául a fesztí-

vált jelölték meg. Bevallom, én a kollégáimnak sosem mondtam ki ezt így, ha szóba került, hova megyek, mert még azt gondolták volna, hogy valami zenés-táncos vigasság az úti cél. És nem is tévedtek volna sokat... A meghirdetett kategóriák, amelyekre valamilyen produkcióval jelentkezni lehet, magukért beszélnek: színjáték előadása, egyéb színpadi attrakció, bemutató, vásár stb., de hagyományos plenáris szakmai előadások, a tanítás megújítását célzó módszertani műhelyek is szerepeltek az előzetes programban.

Az elmúlt öt évben a szervezők csapata megerősödött, mert immáron az EFDA (European Fusion Development Agreement), az EMBL (European Molecular Biology Laboratory), az ESRF (European Synchrotron Radiation Facility) és az ILL (Institut Laue–Langevin) is támogatja az eredeti célokat. Ők heten alkotják az EIRO-fórumot, melynek mottója: „Európa tudományos életét szolgálni”. Jól tudják, hogy ehhez először ki kell termelni az agyukat, akik a célokat meg is valósítják.

Ennek előmozdítására szervezik az „...on Stage” rendezvényeket, ahol a már említett „zenés-táncos megmozdulások” (színpadi produkciók) mellett a résztvevők akti-

vitását elváró műhelyfoglalkozásokon vitatják meg az aktuális kérdéseket. De a rendezvény leghasznosabb része a vásár. Az elnevezés találó: az országok kipakolják portékájukat (módszerek, kísérletek) a nemzeti standra (valamennyi országban hazai selejtező után állítják össze a nemzeti válogatotat), azután megpróbálják „eladni”. Ez esetünkben azt jelenti, hogy igyekeznek felkelteni más kollégák figyelmét. A fizetség természetesen az a jóleső érzés, hogy milyen sokan érdeklődnek a kísérleteink, bemutatóink iránt. Ennek látványos megnyilvánulása a rajzkészítő, fényképező, videózó kollégák sorakozása a standunk előtt, e-mail-címek cseréje, személyes információcsere. 2002-től már bizonyos díjakat is osztanak a vásáron bemutatott eszközökre. Ebben a vonatkozásban elég jól állunk: eddig mindig jutott valami a magyar delegáció tagjainak is. 2002-ben *Márki-Zay János* (Hódmezővásárhely, Cseresznyés Kollégium): II. díj; 2003-ban *Härtlein Károly* (BME, Fizikai Intézet): I. díj; 2005-ben *Lang Ágota* (Sopron, Széchenyi Gimnázium): az ESA különdíja. A szervezők a korábbiakhoz képest egy újítást is bedobtak: a vásárnak helyet adó sátorban is felállítottak egy színpadot, ahol lehetőséget adtak az országoknak, hogy bemutassák legérdekesebb kísérleteiket. Az ötlet nagyon jó, de a kivitelezésen még csiszolniuk kell.

Ezen alkalommal minden napnak megvolt a maga témája, ezek rendre: Einstein, űrkutatás, élet, fenntarthatóság, technika és társadalom. Legnagyobb várakozással az űrkutatás napja elé néztem, amikorra élő kapcsolást ígértek a Nemzetközi Űrállomással. Ez a marylandi központon keresztül valósult meg, amellyel a „műsorvezető” forródrótos összeköttetésben állt.

Térképen követhettük nyomon az ISS útját, láthattuk, mikor éri el a hatósugara a földi központot, és akkor már tárcsáztak is Marylandben. Az egy körülfordulás alatt 10 percig tartó kapcsolat során diákok tettek fel kérdéseket az amerikai *William McArthur*nak, az ISS jelenlegi parancsnokának.

A gyerekek 6 országból érkeztek, és ez a lehetőség munkájuk elismerése volt, mert részt vettek az ESA egyik projektjében. Itt jegyzem meg, hogy az ESA sok projekttel célozza meg a 10–18 éves korosztályt. (Érdemes utánanézni a honlapjukon az esetleg a magyar fiatalokat is érdeklő aktivitásoknak: www.esa.int/education, www.esa.int/kids.) Ezt támasztja alá az a képregény is, amelyben a Cassini–Huygens űrszondával ismertetik meg a fiatalokat. (Úgy látszik, megirigyelték a CERN-ről és a részecskékről szóló, hasonló jellegű kiadványt. Egyébként annak idején ez ihlette meg *Kiss Dezső*t is, amikor megírta a *Nagy vadászat, avagy a részecskék képregényes világa* című kedvenc atomfizikai segédanyagomat.) Ezt a kiadványt a résztvevőknek is osztogatták, sőt még a dedikálása is szerepelt a programban.

Persze más napokon is láthattunk érdekes, sőt jópofa produkciókat. Rögtön az első a sokat ígérő *Einstein és az ugráló Doppler-tehenek* címet viselte. A bemutató, amely a nézőket is bevonta az előadásba, a Doppler-effektust próbálta diákok számára is emészthetővé tenni. Ehhez szükséges egy elektromos pásztornak nevezett kerítés, egyik végén egy cowboy, a kerítés mentén két tehen és másik végén egy Einstein. A nehezebben beszerezhető

kellékeket diákok, illetve egy szalag helyettesítheti. A gazda egy elektromos jelet indít el, amelyet a kerítés mentén sétáló szereplő jelképez, és amelynek megérkezését a tehenek egy ugrással jelzik. Erről az eseményről fényhullámok útján értesülnek a kerítés két végén álló megfigyelők, azaz statiszták képekkel sétálnak a gazda és Einstein felé. Ami változtatható: a jel és a képek sebessége. A kérdés: a két megfigyelőhöz mikor érkezik meg az információ az egyes tehenek ugrásáról. (További megfontolásra az olvasó szíves figyelmébe ajánlom.)

Egy másik előadás az első ránézésre snassznak tűnő *Biológiaóra* nevet viselte. Egy biológia-tanár nő a görög óda műfaját választotta, amikor úgy döntött: népszerűsítő művet ír az emberi szervezetről és az abban lejátszódó folyamatokról. Így aztán a kórustól kezdve – tulajdonképpen ők helyettesítették a tanárt – minden ódakelléket bevetett, és a mű még angolul is rímelt! A kerettörténet szerint egy földönkívüli érkezik bolygónkra, rögvést találkozik egy lánnyal, akire rácsodálkozik. A lány a kórus segítségével megismerteti őt az emberrel úgy is, mint biológiai rendszerrel. Természetesen a szerelmi szál sem hiányzik – a kollégánő tudja, mitől döglök a légy! A 11–16 éves szereplők nagyon ügyesen mozogtak a görög népzene, nálam ők vitték el a pálmát.

Azért nem volt egyszerű dönteni, amikor a fesztivál vége felé egy kérdőívet töltöttünk ki például arról, melyik produkciókat tartjuk a legjobbnak. Mert nem lehet elfelejteni a spanyol kollégákat sem, akik kellemes spanyol dallamokra lejtettek táncot a színpadon matematika témakörben. Ha hozzáteszem, hogy egyikük minimum 130 kiló, ez már magában mosolyra fakasztotta a publikumot, de ők a tartalommal is gondoskodtak arról, hogy nevetőizmaink ne unatkozzanak.

A *Nem csak krétával...* című bemutató kezdetén minden néző kapott egy szívószálat, egy gémpapírt és egy darab cérnát. A cseh kolléga ezekből az eszközökből legalább hatféle kísérletet hozott ki a tömegközéppont meghatározásától kezdve az elektrosztatikáig.

Szerencsére, ha már ott voltunk a CERN-ben, megenygették, hogy bepillantsunk a színpadok mögé. A 2007 szeptemberében startoló LHC (Large Hadron Collider) programhoz 4 új detektort építenek: ALICE, ATLAS, CMS és LHCb. Én az ATLAS-t megtekintő csoportba kerültem. Ez a detektor már félkész állapotban van 100 méter mélyen a föld alatt. Érdekes volt azokat a nagy alumínium-csőket immáron a helyükre beépítve látni, amelyekben a szupravezetéshez szükséges alacsony hőmérsékletet biztosító folyékony nitrogén áramlik majd (1. ábra). Mikor másfél évvel ezelőtt nyaralás címszó alatt beugrottunk a CERN-be, ezek még a szerelőcsarnokban feküdtek. Akkor szerzett kedves ismerősünket, *Erő Jánost* meglátogatva, ő is szinte kötelességének érezte, hogy beszámoljon, hogyan haladnak a műondetektor (CMS) elektronikájának építésével. Elkészült a nyolcvan panel azokkal az áramkörökkel, amelyek segítségével majd kiválogatják az ütközéskor keletkező, terabájnyi nagyságrendű adathalmazból azokat, amelyek ígéretesnek tűnnek. Csak ezeket küldik tovább későbbi kiértékelésre.

A szervezők mindig gondoskodnak kulturális programról is, ez idén sem hiányzott. Nemrég készült el a



1. ábra. Az ATLAS detektor

CERN gömb alakú, ennek (is) köszönhetően Globe névre keresztelt központja. A tetőtérbe egy spirál alakú feljárón juthatunk, itt Einstein-kiállítás volt éppen. A feljáró melletti falon elhelyezett nagy posztereken az Univerzum keletkezéséről kaptunk tájékoztatást, illetve arról, hogyan kapcsolódnak ehhez a CERN-ben folyó kutatások. A színpadon pedig egy ősbemutatóra került sor: a *Cosmos* című modern opera volt műsoron, direkt erre az alkalomra tartogatva. Az előadás sok látványos elemet tartalmazott a multimédiában rejlő lehetőségek kihasználásával.

Figyelem! A *Science on Stage* folytatódik! A Tudomány legközelebb Grenoble-ban lép színre, 2007 áprilisában.

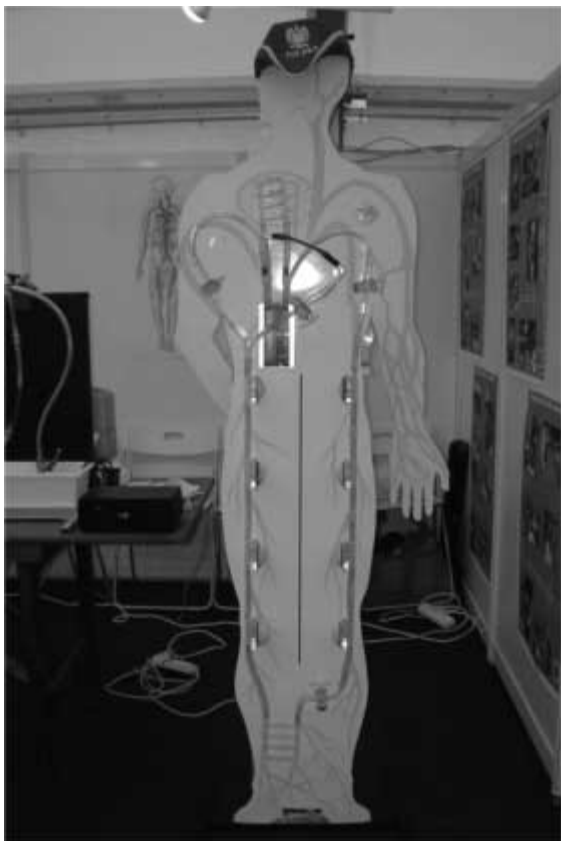
2. ábra. A magyar stand



(Itt található az ESRF, EMBL és az ILL.) Ugye tudják, kolégák, mi a teendő, ha részt akarnak venni rajta? Először is már most el lehet kezdeni törni a fejet valamely látványos kísérleten, bemutaton. Azután következnek a válogató Székesfehérváron (négyből négyszer itt volt, gondolom, jubilálni szeretnének), amelyre a *Fizikai Szemle* is fel szokta hívni a figyelmet. A legjobb ötletekkel pedig meg lehet próbálni felkerülni a színpadra, de erre a jelentkezést már körülbelül fél évvel korábban be kell adni a szervezőknek. Persze, a magyarországi szervezők ajánlásával. (Ezekről a honlapon lehet tájékozódni: www.scienceonstage.net.)

Kiindulási alapként felsorolom, hogy milyen produkciók képviselték Magyarországot 2005-ben a *Science on Stage*-en (2. ábra). *Farkas Zsuzsa* (Szegedi Tudományegyetem, JGYTFK) az optikai szálakat ajánlotta figyelmünkbe, amelyek egyre jelentősebb szerepet töltenek be az információ közvetítésében. *Härtlein Károly* (BME, Fizikai Intézet) a tőle megszokott módon ismét egy nagyvonalú kísérletet (is) hozott: idén megmutatta, hogyan lehetünk át egy deszkát ceruzával. *Köllő Zoltán* (Illyés Gyula Gimnázium, Budapest) egy határterületet választott, és a földrajzban felbukkanó fizika – ciklonok képződése, üvegházhatás stb. – szemléltetésére vállalkozott. Jómagam a biológia felé fordulva egy idegsejtmodellel rukkoltam elő. *Ludányi Lajos* (Berze Nagy János Gimnázium, Gyöngyös) az *Interdiszciplináris kapcsolatok a középiskolai oktatás gyakorlatában* pályázat nyerteseként vívta ki a részvétel jogát. *Nyerges Gyula* (Zsigmondy Vilmos Gimnázium és Szakközépiskola, Dorog) most a hangtannal kacérkodott, a klasszikus kísérletektől kezdve jutott el új számítógépes módszerekig, amelyekkel a csillagok hangját is meghallhattuk. *Piláth Károlytól* (Balassi Bálint Gimnázium, Budapest) ugyancsak egy teljesen új ötletet kaptunk, ő egy spektrofotométert épített, amely webkamerán keresztül juttatja be a gépbe a kiértékelendő adatokat. *Sebestyén Zoltán* és *Zsolt* (Testvérvárosok Téri Általános Iskola, Pécs) a tőlük megszokott formájukat hozták, azaz több apró, de érdekes kísérletet. Nekem legjobban az tetszett, amikor késsel-villával felszerelkezve egy Volta-oszlopot alkottunk, és 8–10 emberből már kijött annyi feszültség, hogy egy LED-et működtessen. *Szentgyörgyi Tímea* (SEK Budapest International School) személyében kémia tanár is képviselte Magyarországot. A csapat főnöke *Kovách Ádám* volt. (Mindezekről kicsit bővebben olvashatunk Härtlein Károly jóvoltából, aki kihajtotta belőlünk, hogy valamilyen formában rögzítsük kísérleteinket és összeállította a magyar csapat CD-jét. Ez az interneten a <http://jedlik.phy.bme.hu/scienceonstage/> cím alatt érhető el.)

És vajon mit hoztak magukkal a többiek? Fussunk gyorsan egy képzeletbeli kört a vásárban és nézzünk meg néhány érdekes kísérletet. Velünk szemben, a német standon nap mint nap szemezhettünk egy kis egy személyes napelemes autóval, amelyet egy kolléga épített. Közülünk is többen beszuszakolták magukat a kocsi-ba, kipróbálni az élményt (mármint a bennülését, mert elhajtani nem lehetett vele, már csak helyszűke miatt sem). Mellettük a lengyelek *Tud-e énekelni az uborka* címen kínálgatták *Öveges József* – minden magyar fizika-



3. ábra. A vérkeringés modellje

tanár által – jól ismert kísérletét, amelyben valamilyen gyümölcs vagy zöldség alkotja a galvánelem savas vagy sós nedvet biztosító részét, majd a kapott feszültséggel például egy zenélő képeslapban található csipet szólaltatunk meg. Megmondom őszintén, először csak legyintettem, hogy ilyenekkel is elő mernek jönni, de azután rájöttem, hogy ebben az a fontos, hogyan adjuk el/elő a diákoknak még a legegyszerűbb kísérletet is. Azért volt ezen a standon nagyobb lélegzetű mű is: az emberi vérkeringés komplett modellje (3. ábra).

Még a bypass is „be volt építve”, és egy kiadós magyarázatot is kaptak az érdeklődők. Én legtöbbször az olasz standra tértem vissza, ahol egy professzor – stílusosan – gyorsító-berendezést készített. Az acélgolyó-részecske modellvasút pályáján körözött, a sínekkal érintkezve. Az alagutak nagyobb tekercsek voltak, amelyekbe 2 amperes áramot vezetett (4. ábra). A franciák standjukat kiterjesztették a sátor melletti mezőre is, tekintettel napfényt igénylő eszközükre. Ez egy szolár-szökökút volt, amelynek pumpáját hajtó motor napelemmel működött. Minél intenzívebb a napfény, a pumpa annál magasabbra tudja felnyomni a vizet, melynek szintjét egy rajta úszó sárga labda tette messziről is láthatóvá. Érdekes volt, hogy ha csak egyetlen napelemdarabkát is letakartunk, a vízszint máris a felére csökkent. A bolgároknál a fő látványosságot egy hatalmas marsi terepasztal jelentette. Ezt diákok készítették, és a makettekkel azt mutatták be, hogyan is rendezkednének be a Marson, ha egyszer erre sor kerül. A jelek szerint egész ügyesen. Látványos volt az az embermagasságú DNS-modell is, amelyet görög



4. ábra. Gyorsító olasz módra

diákok készítettek kólás dobozokból és félliteres flakonokból. Most is többen hoztak fizikával kapcsolatos játékokat, legnépszerűbb az araszoló mozgást végző rakétaautó volt. Hasonló kategóriába tartoznak azok az eszközök, amelyek látványosak és jól mutatnak akár otthon a polcon is, gondolok itt a Galilei-hőmérőre, a radiométerre, vagy a plazmagömbre. Ezeket már nálunk is lehet kapni, nem így azt az állóhullámokat keltő berendezést, amelybe rögtön be van építve a stroboszkóp, változtatjuk a frekvenciát és még színes megvilágítás is jár hozzá. Nem tudom nyugodt lélekkel álomra hajtani fejem addig, amíg egy ilyen be nem szerzek. A másik dolog, ami még izgat, a GPS. Majd ha már Magyarországon is minden családban lesz belőle legalább egy, visszatérek a dán kollégához, aki a műszerrel, illetve az ahhoz kapcsolódó feladatokkal színesíti a matematika- és fizikaóráit.

Néhány tanár ügyesen játszott a kofaszerepet. Bár első ránézésre elsiklottam a kísérletük felett és már léptem volna tovább, mégis rámtukmálták árujukat. (Ezt utólag többnyire nem is bántam meg.) Így hallhattam például olyan projektről, amelyben teknőcök bőre alá adó-vevőt szereltek (diákok, természetesen!), hogy nyomon kövessék az állatok mozgását a tengerben. Másik helyen olyan intelligens madáretetőt mutattak, amelyik csak egy bizonyos, védett fajnak ad enni. Ez a fajok eltérő súlyán alapul, mert ahogy rászáll a madár, csak egy bizonyos súlyintervallumban nyit ki az etető.

Ahogy már korábban említettem, 2002 óta díjakat is osztanak ezen a rendezvényen. Én sajnos a zárónapon már nem tudtam részt venni, mert hétfőgén Esztergomban volt „jelenésem”. Így elképzelhető meglepetésem, amikor onnan hazaérve egy bekeretezett oklevelet találtam az asztalon, Science on Stage logóval, a nevemre kiállítva. Ezúton is köszönöm Sebestyén Zolinak, hogy felénk kanyarodott! A díjkiosztóról tehát nagy bánatomra nincsenek saját élményeim. A többiektől beszerzett információk alapján úgy tűnik, itt is történtek változtatások a korábbi alkalmakhoz képest. Most a három tantárgyban külön díjazták a legjobb kísérleteket, a szervező intézmények pedig elismerő okleveleket osztogattak. Nagy szerencsémre az ESA képviselőjét az idegsejtmodell ragadta meg. Ennek prototípusát két tanítványom, Horváth Dóra és Stubenvoll Zsolt készítette még két éve az SZTE Kísérleti Fizika Tanszéke által kiírt versenyre. Azután kiegészítették a számítógéppel, mint aggyal, és így nyertek vele a



5. ábra. A díjazottak, a díj és a Neuróda

Természet Világa diákpályázatán. Ez az oka, hogy az idei januári szám mellékletében *Neuróda = neuron és dióda* címmel olvashatunk a modellről (5. ábra). Emiatt, egészen röviden, csak néhány figyelemfelkeltő szót ejtek az eszközről. Maga az „idegsejt” Duplo-kockába épített kis áramkör, amely félvezető elemeket tartalmaz. A diódnak

köszönhetően a modellnek ingerlő és gátló bemenete van. Egy LED jelzi, hogy az inger – amely esetünkben feszültség formájában keletkezik és terjed – megérkezett, és végül a kimenettel tud kapcsolódni a következő sejthez. Így egy sejtláncot építünk ki, amely egy érzékelő idegsejttel kezdődik (receptoraink hangra, hőre és fényre érzékenyek) és a mozgató idegsejttel végződik. Mivel ezt másképpen motoros idegsejtnak hívja a szakirodalom, kínálkozott az ötlet, hogy egy kis motor zárja azt a láncot, amellyel egy olyan élőlény reakcióját modellezzük a három fajta ingerre, amelynek nincs agya. A fejlettebb élőlényeket „Garfield” modellezi, „akinek” agyába, gondolataiba a monitor segítségével láthatunk be. A három receptortól három külön láncon fut az ingerület a számítógépbe, és attól függően, hogy éppen milyen inger érkezik, Garfield álmában – mivel alapállapotban ezen kedvenc tevékenységét űzi – megjelenik egy vekker, egy kandalló, vagy egy napocska. Ez utóbbi zavarja, hiszen aludni sötétben a legjobb. Ha nincs John a közelben, hogy segítsen, a kiskocsira szerelt Garfield maga indul el lehúzni a rolót...

FIZIKA AZ ERDEI ISKOLÁBAN

Vankó Péter
BME, TTK, Kísérleti Fizika Tanszék
Árpád Gimnázium, Budapest

Az elmúlt évtizedben egyre több iskola ismerte fel a szabad természetben eltöltött egyhetes foglalkozásokban rejlő pedagógiai lehetőségeket. Divat lett az erdei iskola: a tanári kezdeményezések mellett vállalkozások alakultak komplett – szállást, étkezést, szakmai programot tartalmazó – erdei iskolai foglalkozások szervezésére. Az iskolák témája – a közösségi programok, kirándulások mellett – elsősorban a környezet- és természetvédelem, madarászás és növényhatározás, azaz az iskolai tárgyak közül jellemző a biológia dominanciája.

A budapesti Árpád Gimnáziumban 1998-ban szerveztük az első erdei iskolát a 9. évfolyam speciális matematika tagozatos és természettudományos osztályának [1]. Az iskola programját – az étkezésen kívül, amit a várkúti turistaházban szállásadónk biztosított – külső segítség nélkül, magunk akartunk összeállítani, ezért azt meghatározta a szervezők érdeklődése, szakértelme: így került be a biológia–kémia szakos kollégám növény- és állathatározása, vízvizsgálata, valamint magyar szakos kollégám által szervezett esti közösségi–kulturális együttlétek mellé az erdei iskola programjába a *fizika*.

Az erdei iskola nagy lehetőség a fizika újbóli megkedveltetésére. Az iskolai fizika népszerűtlenségét többek közt a „krétafizika” túlsúlyával, az iskolai feladatokban szereplő és a valóságos világ elszakadásával magyarázzák. Az iskolák többségében az egyre kisebb óraszámok, a gyengén felszerelt szertárak miatt alig végeznek a tanulók kísérleteket, méréseket. Az erdei iskolában sokkal több a hely és az idő, kisebb csoportokban lehet dolgozni, és a természettel, a valósággal való kapcsolat is sokkal nyilvánvalóbb. Ezért azt gondolom, hogy az iskolai kísérletezés, mérés fejlesztése és a Cso-

dák Palotája típusú tudományos játszóházak elterjedése mellett az erdei iskolának is komoly szerepe lehetne a tantárgy megújulásában.

Az erdei iskola programja

Az erdei iskolában a természettudományos tárgyakat (fizika, kémia, biológia, földrajz), illetve a tárgyakhoz kapcsolódó néhány tudományterületet (csillagászat, térképészet, ökológia) integráltan, természetes környezetben, öt napon (és egy csillagos éjszakán) keresztül intenzíven, célirányosan (projektek), kreatív csoportmunkára építve lehet tanítani. Az erdei iskola tananyaga az egész éves tananyag szerves része, érdekességével, összetettségével a tanév „megkoronázása”, ugyanakkor a további tanulmányok megalapozója is.

Az erdei iskolában az intenzív, kreatív tanuláshoz közhözönhetően a tanulók rövid idő alatt nagyon sok új ismeretet szerezhetnek, ezen túl a korlátozott iskolai lehetőségeknél sokkal hatékonyabban elsajátíthatják a természettudományos kísérletezés és megfigyelés alapvető módszereit. A természettudományos tárgyak iskolai oktatásánál is fontos a tananyaghoz kapcsolódó környezetvédelmi kérdések megbeszélése. Az erdei iskolában ez a kapcsolat sokkal természetesebb és intenzívebb. Az erdőben töltött hét a tanulók számára olyan intenzív élmény, amely megalapozhatja környezeti gondolkodásukat.

Az erdei iskola szakmai programja *projektekből* áll. A félnapos vagy egész napos projekteket az ötletek közös megbeszélése, elemzése után a tanulók négy-öt fős csoportokban, önállóan, az iskolában megszerzett ismereteik

vagy korábban kiadott segédletek alapján valósítanak meg. A feladatok megoldása szükségessé teszi a csoportokon belüli és esetleg a csoportok közti együttműködést is. Egy-egy nap végén a csoportok posztereken, az utolsó este kiselőadással számolnak be az elért eredményekről.

Projektek

A feladat és a munkamódszer eltér az iskolában megszokottól. Egy-egy projektbe egy témához kapcsolódóan több, egymást kiegészítő feladat is beletartozik. Bár egy projekt megvalósítására a 45 perces iskolai óránál sokkal hosszabb idő áll rendelkezésre, a sikeres befejezéshez hatékony munkára, jó szervezésre, a csoporton belüli munkamegosztásra van szükség. A munka fontos része a terepi felmérések, kísérleti és számítási eredmények, következtetések „publikálása”: a csoport poszterének elkészítése.

Az évek során a szervező tanárok szakjának és érdeklődésének megfelelően különböző témák kerültek a programba. A „klasszikus” biológia projekt egy 10×10 m²-es terület élővilágának felmérése: fás és lágy szárú növények rovarok és esetleg más kisebb állatok meghatározása. Némelyik posztert a terület részletes térképe mellett a megfigyelt fajok művészi igényű rajzai díszítették. Az erdei iskola másik állandó programja a lámpa nélküli éjszakai kirándulás, ahol a városi fényekhez szokott diákok a májusi lombos erdő teljes sötétjével, a sötétben való tájékozódás nehézségével és a fényszennyezett nagyvárosi ég után a sok ezer csillaggal ragyogó ég látványával ismerkedhetnek. A résztvevők erőnlétét próbára tevő egész napos nappali kirándulást viszont térkép-olvasás és tájékozódás, geológia és fizika is színesíti. Az 1. képen rezonanciakísérlet látható a szentbékállai ingókövön: a sokmázás szikla jól érezhetően billegni kezd a megfelelő ritmusú lökésektől.

A technika fejlődése új lehetőségeket jelent az erdei iskolában is: digitális fényképezés, GPS-es (műholdas) tájékozódás, számítógéppel segített „kísérleti matematika”. Izzgalmas, hagyományos módszerekkel nehezen, vagy sehogyan se megoldható matematikafeladatok válnak kezelhetővé, a kirándulás képeit este már közösen lehet megnézni, a GPS által rögzített útvonalat pedig térképre lehet illeszteni egy hordozható számítógépen (2. kép). A 2003-ban készült *Erdei iskola* CD-t (amely az általam szervezett erdei iskolák részletes programját, képeit, térképeit, segédanyagait tartalmazza) minden résztvevő megkapta, nagy része pedig elérhető az interneten is [2].

A technikai fejlődés, a változó program ellenére az erdei iskolának mindvégig fontos része maradt a fizika. A következőkben két fizika projektet ismertetek részletesebben.

„Hegy” projekt: hegy és torony magasságának mérése

Egy új projekt megvalósítása ötletbörzével kezdődik. A turistaház feletti erdővel borított Vár-hegy magasságának megmérése sok módszert javasoltak a résztvevők. Néhány javaslat talán kicsit fantazmagóriának tűnik, például



1. kép. Rezonanciakísérlet a szentbékállai Ingókövön (2003)

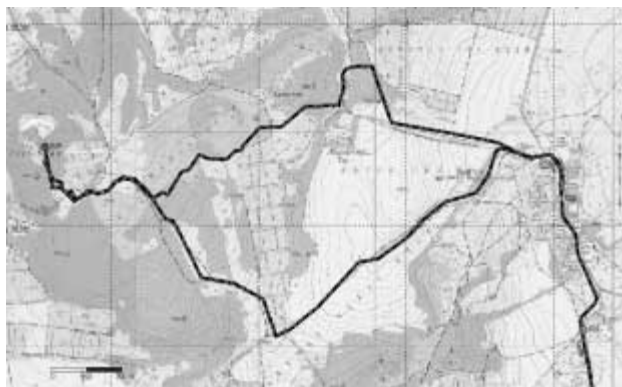
a hegy tetejéig feleresztett lufi, majd a fonál hosszának megmérése. A javaslatok megvitatása után kiválasztottuk azokat a módszereket, amelyeket ki is tudunk próbálni. Háromszögletes módszert a rálátás hiánya miatt nem alkalmazhattunk.

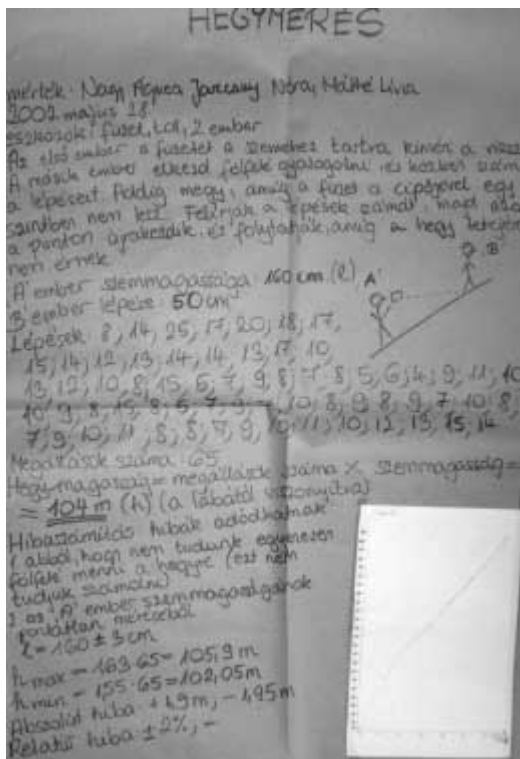
A barométeres és a víz forráspontjának változásán alapuló méréseket közösen végeztük el, de a mért adatokból a csoportok már önállóan számoltak magasságot (pontosabban a turistaház és a csúcs közti magasságkülönbséget). A számoláshoz természetesen hibaszámítás is kapcsolódik. Ezek a mérések a rendelkezésre álló barométer pontossága, illetve a forráspont csekély változása miatt elég pontatlannak bizonyultak.

A legnagyobb lelkesedést a mérőpárok által elvégzett „hegyprofil”-mérés váltotta ki. A mérés elve egy későbbi erdei iskolában készült poszteren (3. kép) látható: a mérőpár egyik tagja egyforma lépésekkel halad felfelé, miközben a társa egy vízszintesen tartott füzet segítségével figyeli, mikor kerül a másik lába az ő szemével egy magasságba. Amikor ez megtörténik, az elől járó megáll, feljegyzi a lépései számát, és bevárja a társát. Utána ezt ismétlik a csúcsig. A hegy magasságát a hátsó tanuló szemmagasságának és a megállások számának szorzata adja, de ezen kívül a lépésszámok ismeretében a hegy profilját (függőleges metszetét) is meg lehet rajzolni. Jól látszik a poszteren a hibabecslés és hibaszámítás is (valószínűleg kicsit alábecsült hibával).

A „Hegy” projekt folytatása volt 2002-ben a csóványosi betontorony magasságának mérése. A 4. képen egy erről

2. kép. Térképre illesztett GPS nyomvonal (Tóti-hegy, 2003)

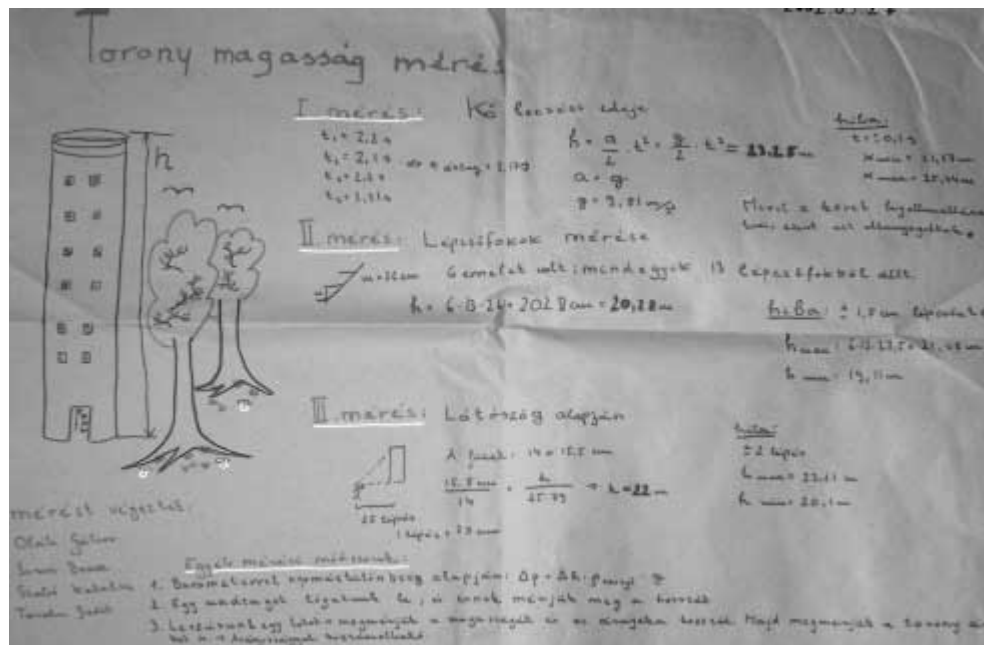




3. kép. Poszter a „Hegyprofil”-mérésről (2002)

készült poszter látható. A három elvégzett mérés eredményei (toronymagasság kavics esési idejéből, lépcsőszámlálással és látószög alapján) a hibaszámítások szerint hibahatáron belül megegyeznek. A poszter alján három további mérőeset olvasható: a már ismert barométeres módszer (ehhez a kis magasságkülönbség miatt sokkal pontosabb műszer kellett volna), madzaglelőgatás, valamint a torony és egy ismert hosszúságú bot árnyékának összehasonlítása – amit a borús idő miatt nem lehetett elvégezni.

4. kép. Toronymagasság mérése (Csóványos, 2002)



„Patak” projekt: patak vízhozamának, víz kifolyási idejének mérése

A „patakozás”: gátépítés, vízduzzasztás, vízialom készítése felnőtteknek is jó játék. A „Patak” projekt első feladata egy erdei patak vízhozamának mérése volt. Az egyik, sok közös munkát, gátépítést kívánó módszer szerint a patak vizét egy összeszűkített helyen egy nagy, tízliteres vödörben fogtuk fel, és a vödör megteléséhez szükséges időt mértük. Azonban a szelíden csordogáló kicsi patak is egy-két másodperc alatt megtöltötte a vödört – ráadásul a gát résein is sok víz elfolyt – így a módszer inkább csak alsó becslést adott a vízhozamra.

A másik, a csoportok által külön-külön elvégzett mérés lényegében a vízsebesség numerikus integrálásán alapul: egy sekély, szélesebb helyen a patak sebességét és mélységét kell megmérni 10–15 helyen egy patakra merőleges egyenes mentén. A sebességet egy vízbe dobott fadarab vagy papírcsík sebességének méréséből (elmozdulás és idő mérésével), a mélységet pedig a patakba dugott vonalzóval lehet megállapítani. Elég sok mérés (kellően kis darabok) esetén egy kis helyen a sebesség és a mélység is állandónak tekinthető, és így az ottani rész-vízhozam a kiválasztott rész szélességének, mélységének és sebességének szorzataként, a patak vízhozama pedig a rész-vízhozamok összegeként számolható. A csoportok más-más helyen, de ugyanannak a pataknak a vízhozamát mérik, így az eredmények összevethetőek.

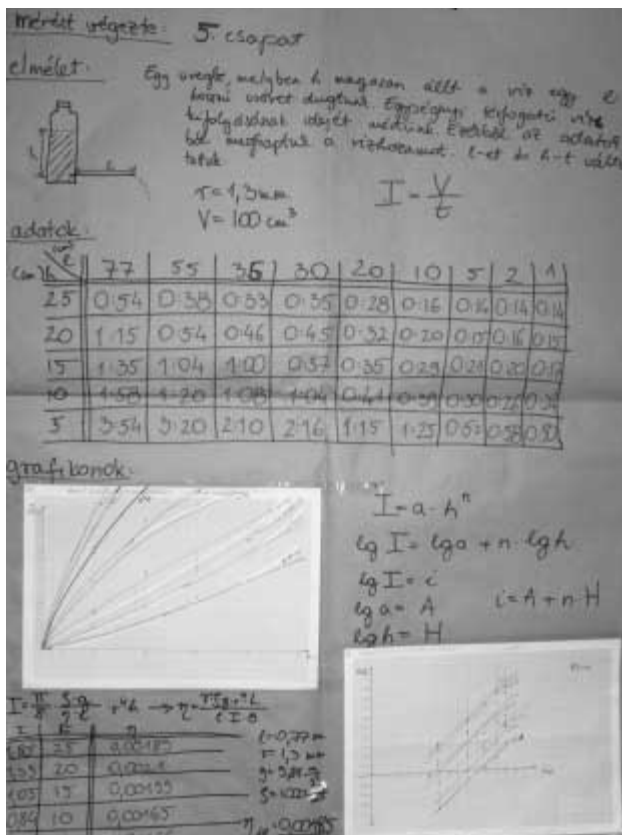
Ennek a mérésnek is van „kicsinyített”, a turistaháznál elvégezhető folytatása: pillepalack, szívószál és ragasztó felhasználásával izgalmas méréssorozathoz készíthető olcsó mérőeszköz, amelyhez már csak egy konyhai mérőpohár, stopper (karóra) és víz szükséges. A fél napig is eltartó méréssorozatban a víz „kifolyási sebessége” (vízhozama) mérhető egyrészt a hidrosztatikai nyomás (vízoszlop magasság), másrészt a kifolyócső (szívószál) hosszának függvényében (5. kép). A sok méréshez érdemes először a palackot kalibrálni: a térfogatot a mérőpohár segítségével például deciliterenként egy vonallal megjelölni. Ezután a nyomástól függő vízhozam mérése egy-egy vonal közti vízszintsülledés idejének mérésére egyszerűsödik. A hidrosztatikai nyomás a két vonal kifolyócsőhöz viszonyított átlagos magasságából számolható. A kifolyócső hossza pedig minden újabb mérés előtt egy ollóval könnyen változtatható.



5. kép. Víz kifolyási idejének mérése (Salföld, 2003)

A mérés kiértékeléséhez a vízhozamot a hidrosztatikai nyomás függvényében kell ábrázolni. A probléma érdekességét az adja, hogy hosszú cső esetén a kifolyási időt a víz és a cső sűrűlése, egészen rövid cső esetén viszont a víz tehetetlensége (a nyílásnál való felgyorsulása) határozza meg. Előbbi a cső átmérőjétől, hosszától és a víz viszkozitásától, utóbbi a nyílás átmérőjétől és alakjától függ. Könnyen belátható, hogy az első esetben a vízhozam arányos a nyomással ($I \sim p$), a másodikban pedig a nyomás négyzetgyökével ($I \sim p^{1/2}$). Általánosan írható: $I = k \cdot p^n$. Közepes csőhosszaknál a két hatás keveredik, ekkor az n kitevő értéke 0,5 és 1 között van. Ha a vízhozam logaritmusát a nyomás logaritmusának függvényében ábrázoljuk, akkor a pontokra illesztett egyenes meredekségéből a kitevő kísérletileg meghatározható ($\lg I = \lg k + n \lg p$).

A mérés során további érdekességek is megfigyelhetők: Egészen kis vízoszlop-magasságnál a szívószál végén kialakuló vízcsepp felületi feszültsége ellensúlyozza a hidrosztatikai nyomást, a víz kifolyása hamarabb leáll. Egészen rövid cső esetén jól megfigyelhető a kiömlő víz-sugár összeszűkülése is. A diákok általában élvezik a „pancsolást”, lelkesen végigcsinálják a hosszú mérést és a kiértékelést (6. kép).



6. kép. Poszter a víz kifolyási idejének mérésről (2003)

Egy jól sikerült erdei iskola – nyári táborokhoz, evezésekhez hasonlóan – érezhetően javítja hosszú távon is az osztály és a tanár kapcsolatát. Az erdei iskolában szerzett ismeretek, élmények és tapasztalatok pedig általában sokkal tovább megmaradnak, mint a hétköznapi iskolai tananyag. Érdemes kipróbálni!

Irodalom

1. Az első erdei iskola: Várkút (Bükk) 1998. május 25–29. <http://goliat.eik.bme.hu/~vanko/fizika/erdei/varkut/fizika21.htm>
2. Erdei iskola <http://goliat.eik.bme.hu/~vanko/fizika/erdei.htm>

NEMZETKÖZI MŰHELY A MULTIMÉDIÁS OKTATÁSRÓL SZEGEDEN

Magyarországon, Szegeden rendezik 2006. szeptember 20. és 22. között a *11th Workshop on Multimedia in Physics Teaching and Learning* nemzetközi konferenciát, amely az EPS hivatalos rendezvénye. A nemzetközi konferenciához témában és időben is kapcsolódik a *Multimédiás alkalmazások a természettudományos oktatásban* című program, (2006. szeptember 22–23.), amely 30

órás akkreditált továbbképzés, az akkreditálás folyamatban van. Részletek a konferencia honlapján, <http://titan.physx.u-szeged.hu/~mptl11/> található.

A rendezvényekre várják kedves érdeklődő oktatók, kutatók, tanárkollégák jelentkezését a szervezők nevében:

Benedict Mibály, SZTE, Elméleti Fizikai Tanszék
Papp Katalin, SZTE, Kísérleti Fizikai Tanszék

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-mailcíme: mail.elft@mtesz.hu

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

Kéziratokat nem örzünk 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 egyszámlán.

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

HU ISSN 0015-3257

ÉRETTSÉGI ÉS VIDÉKE, AVAGY »NÖVELI, KI ELFÖDI A BAJT«

Győri István

Szegedi Tudományegyetem,
Ságvári Endre Gyakorló Gimnázium

A 2005-ös év legfontosabb eseménye a magyar közoktatásban kétségkívül az új típusú érettségi bemutatkozása volt. A vizsga átalakításának szükségességéről, a tartalmi és formai változtatások módjáról, a célokról és a funkciókról a bevezetést megelőző évek során lefolytatott viták, egyeztetések eredményeképpen az eredeti elképzelések némileg módosultak ugyan, de még „kompromisszumos” végső formájukban is hordoztak annyi újdonságot, hogy jogosan várhatta szorongással egyes kíváncsisággal oktatáspolitikus, pedagógus és diák egyaránt: vajon hogyan valósul meg mindez a gyakorlatban? Azután megszülettek az eredmények, a szorongást felváltotta a felszabadult öröm, és a híradások már az érettségi új formájának mindent elhomályosító sikeréről szóltak. Márpedig a homály veszélyes: nem árt megőrizni a tisztánlátásunkat...

Kezdő- és peremfeltételek

Az érettségi átalakítása tulajdonképpen csak egyik eleme a magyar közoktatás megújítását célzó reformnak, amelynek szükségességéről a 2000-ben elvégzett *PISA-vizsgálat* lehangoló eredménye mindenkit meggyőzhetett. Az OECD által kezdeményezett és koordinált, a trendek nyomán követése érdekében háromévente megismételt felmérés három tudásterületre, az olvasás–szövegértésre, a matematikai–logikai gondolkodásra, illetve a természettudományos műveltségre koncentrálna a tanulók képességeit. A vizsgálat célja annak megállapítása, hogy a részt vevő 32 országban a 15 éves diákok mennyire felkészültek arra, hogy megállják helyüket a mindennapi életben: konvertálható tudással rendelkeznek-e, képesek-e új ismereteket befogadni és azokat alkalmazni, vagyis várhatóan mennyire tudnak majd a munkaerőpiac támasztotta követelményeknek megfelelni. 2000-ben az olvasási–szövegértési kompetenciára, 2003-ban a matematikai ismeretek alkalmazásának képességére fókuszált a felmérés, és a diákok eredményei alapján bizony mindkét alkalommal igen rosszul vizsgázott a magyar közoktatás. Kiderült, például, hogy 10. osztályos tanulóink mintegy fele alig, negyede pedig egyáltalán nem érti meg azt, amit olvas. De az olvasási–szövegértési képességek alapján elért 25. helyezésnél más területeken sem végeztek sokkal előrébb a magyar diákok: a problémamegoldó képességet tekintve a 20., a matematikai tudás alkalmazási képességét illetően a 25., míg a természettudományos ismeretek alkalmazásánál a 17. helyet sikerült „elcsípní”.

A rossz eredményeket nem lehetett szőnyeg alá söpörni. Ha kezdetben voltak is olyan nézetek, melyek a fel-

mérés gyakorlatorientált problémafelvetéseiben, az alkalmazott módszerben keresték a hibát, végül mégis szembeülni kellett a kimagyarázhatatlan ténnyel: a magyar közoktatásban a tudás alkalmazására való képesség fejlesztése helyett a lexikális ismeretek átadása dominál. Némileg késlekedéssel a hivatalos oktatáspolitikusok belátták, ha nem akarjuk, hogy fiataljaink szerencsésebb országokban született kortársaikhoz képest behozhatatlan hátránnyal induljanak a munkaerőpiacon folyó versenyben, akkor változtatásokra van szükség egész oktatási rendszerünkben. A rendkívül összetett feladat megoldását célzó koncepció kimunkálásában sokan vettek részt, de nem elegendően. A rendszerben dolgozó pedagógusok java része csak annyit érzékelt, hogy ismét mindent felforgatnak, egy működő szisztémát felborítanak, az amúgy sem egyszerű tanári munkát csak tovább nehezítik és bonyolítják. Dehogyan jutott el a többséghez a nemzetközi felmérés eredménye! A tervezett változtatásokról esetlegesen véleményüket kérő kérdőíveket pedig (sokszor joggal) csak az egyes „fent született elképzelések igazolására szolgáló úri huncutságként” fogadták. Hogy a kellő tájékoztatás hiánya, vagy a pedagógusok érdektelensége-e a főbűnös, azon lehet vitatkozni, de már nem érdemes. Tény, hogy a reform „felülről” indítva érte az oktatásban dolgozókat, és elég sok ellenérzést keltett.

Az átalakítás először a *tartalmi szabályozás* eszközeit érintette, vagyis a tanterveket. A dokumentumok összeállítói előtérbe kívánták helyezni a kompetenciák fejlesztését, és hogy ezek elegendő teret kapjanak, csökkenteni próbálták azt az információmennyiséget, amit a tanulóknak el kell sajátítaniuk. Ahogyan várható volt, ez nem ment simán és általában nem is sikerült. A tantervek többsége inkoherens, a teljesíthetlenséget magában hordozó alkotmány lett. Kétségtelen, hogy teljes körű egyetértéssel találkozó tantárgyi követelményrendszert nagyon nehéz megalkotni: ha a szaktanárok egy része bizonyos elemeket kihagyhatónak, sőt kihagyandónak ítél is, biztosan lesz egy másik csoport, amelynek tagjai ugyanazokat kihagyhatatlannak tartják. Még nagyobb vitákat eredményez, ha a hagyományos ismeretek egyes részeinek kényszerű elhagyása együtt jár új, eddig nem tanított ismeretek, tudáselemek megjelenésével. Márpedig ezúttal nemcsak a megszokott tantárgyak ismeretanyagában bukkantak fel új tartalmak, hanem egyidejűleg eddig ismeretlen oktatási területek, „modulok” is jelentkeztek tanóraigénnyel, úgyhogy fennállt annak a veszélye, hogy a diákok napi óraterhelése a csillagos egekbe emelkedik. „Mert a közoktatás eddig mindig csak extenzív válaszokat adott: az iskola egyre nagyobb mértékben terhelte a diákot, egyre több részben felesleges, rész-

ben romlékony ismeretet próbált vele elsajátíttatni, mely a későbbi boldogulásához egyáltalán nem kellett. Növelték a kötelező óraszámot, növelték az egyes tananyagokba belezsúfolt információmennyiséget, s egyre alacsonyabb életkorba nyomtak le bizonyos tanulnivalókat, mert ha valamit nem ötödikben, nyolcadikban kezd el tanulni a gyerek, hanem másodikban, harmadikban, akkor biztos megtanulja a felvételiig... Extenzív válaszok tömege.” – olvashatjuk egy, az oktatási miniszterrel készült interjúban. Ugyanebben a beszélgetésben a tanulók túlzott óraterhelésének elkerülése érdekében alkalmazott intézkedést is ismerteti: „*Lecsökkentettük a kötelező óraszámot a '98-as szintre.* Ez mennyiségi kérdésnek tűnik, de nem az. Az van mögötte, hogy korlátozzuk azoknak az extenzív válaszoknak a lehetőségét, amiről beszéltem” [10]. A pedagógusok többsége ebből annyit észlelt, hogy bár a tantervek a tényanyag mennyiségének alig észrevehető mérséklése mellett új feladatokat, célokat fogalmaznak meg, a teljesítésükre szánt időkeret olyan mértékben lecsökken, hogy nincs az a pedagógiai-módszertani eszközrendszer, amivel eleget lehetne tenni az elvárásoknak – már ha azokat komolyan vesszük. A tanácstalan, elbizonytalanodott tanároknak a kimeneti szabályozó, az érettségi vizsga követelményrendszerének megfogalmazásával és közzétételével kívántak valamiféle kapaszkodót nyújtani, több-kevesebb sikerrel.

A megváltozott hangsúlyok, a közoktatásban megjelenő új tartalmak és célok, nem utolsósorban a középfokú (és a felsőfokú) oktatás tömegessé válása természetesen szükségszerűvé tette az *érettségi vizsga* szerepének, feladatának, szerkezetének átgondolását, átforgalmazását is. A számos jó szándékú és hozzáértő ember munkája nyomán testet öltött koncepció az új érettségi vizsga legfontosabb jegyeiként a következőket jelölte meg: *egységesítés, kétszintűség, a korábbiakhoz viszonyított tartalmi váltás, standardizáltság és a képességek, kompetenciák mérésére helyezett nagyobb hangsúly* [1].

Az érettségi megreformálásának egyik mozgatórugója az a szándék volt, hogy a vizsga a változtatások után alkalmassá váljon a felsőoktatási felvételi kiváltására. Az érettségi vizsga felvételiként való elfogadása mellett szóló legsúlyosabb érv az volt, hogy ilyen módon majd a *közoktatás határozza meg a vizsgakövetelményeket, és nem az egyetemek, illetve főiskolák.* Az elképzelt új érettségi olyan kombinált értékelés, amely amellelt, hogy szintetizáló záróvizsga és szelekcióra alkalmas megmértetés, a pedagógiai munka átgondoltabb tervezését, az új értékek beépülését, a módszertani megújulást, gazdagodást segítő *diagnosztikus funkciókat* is ellátja [2, 3]. Ha mindezen kritériumoknak megfelel, akkor az érettségi vizsga a várakozások szerint jól megoldja a közoktatás *kimeneti szabályozásának* feladatát.

A közoktatásban bevezetett változtatások közül a matura megreformálása került leginkább reflektorfénybe, ezzel foglalkozott legtöbbet a közvélemény, a média és természetesen maguk az érintettek, a pedagógusok és a diákok is. Úgy tűnt, az új érettségitől függ minden, sikeressége vagy kudarca az egész átalakítási folyamat sorsát eldöntheti. Nem véletlen, hogy a mindenkori oktatáspolitikai irányítói is legtöbbet ezzel a kérdéssel foglalkoztak.

Az érettségi megváltoztatása a hozzá tapadó társadalmi szerep fontossága miatt indoklásra szorult, meg kellett győzni a közvéleményt a reform fontosságáról, pozitív hatásairól. Álljon itt illusztrációként az oktatáspolitikai vezető személyiségeivel 2002-ben, illetve 2005-ben készített riport egy-egy részlete:

„Az oktatási rendszer nálunk felülről meghatározott, a közoktatás alakulását a felsőoktatás, a felvételi vizsga követelményei határozzák meg. Amint az köztudott, a felvételi vizsgán a lexikális ismereteket kérik számon a diákoktól. Ha sikerül elérni azt, hogy ne a felvételi vizsga legyen a középfokú oktatás egészét meghatározó legfőbb szempont, hogy ne a vizsgapontokért való tanulás hassa át a középiskolát, akkor sokkal nagyobb tere lehet a kompetenciák fejlesztésének az iskolában. A kerettanterv és a kétszintű érettségi ennek a felülről való meghatározottságnak a megszüntetését kívánja elősegíteni. Ha a vizsgákon és a mérésekben előtérbe kerül a kompetenciák, képességek értékelése, mérése, az felerősíti a kompetenciafejlesztést, és az iskola ebben az irányban fogja kondicionálni a gyerekeket.” (Sző László, az OM politikai államtitkára, 2002. március [11].)

„A tananyagcsökkentés terén a nagy változást a kétszintű érettségi hozza. Ennek lesz a legerősebb visszahatása néhány év múlva, ha a tanárok és a szülők már elhiszik, hogy ez a rendszer így marad, és látják, hogy a gyerekek tényleg nem kell, mondjuk, magyarból negyven írói életrajzot tudni ahhoz, hogy egyetemre vagy főiskolára kerüljön. Hiába vezetünk be egy új NAT-ot, hiába mondjuk azt, hogy a tananyagba nem kell ennyi lexikális ismeret belezsúfolni, csak akkor nem fognak, ha ez már nem kell az előrehaladáshoz, tehát nem ezt várja el a szülő az iskolától.” (Magyar Bálint, oktatási miniszter, 2005. [10])

A „puding próbájára”, az egységes kétszintű érettségi vizsga lebonyolítására első alkalommal 2005 májusában-júniusában került sor. Az eredmények valamennyi tantárgy esetében jobbak lettek, mint amilyeneket a régi rendszerű érettségi vizsgákon elérték a tanulók.

Például a fizika tantárgyat tekintve az érettségi érdemjegyek átlaga az előző évek eredményeit valamivel meghaladva 3,85 lett [5]. Az elégséges érdemjegyek mennyisége 30% fölötti értékről 10% körüli értékre csökkent, és mintegy kétszeresére nőtt a vizsgát jó minősítéssel záró diákok száma.

Az átlageredményekben bekövetkezett pozitív változás, a minősítéseknek az ideális állapotot az eddigieknél jobban megközelítő eloszlása a koncepció körül bábáskodóknak, a vizsga sikeréért aggódóknak megnyugvást okozhatott, a bemutatkozás jól sikerült. Érthető elégedettséggel (és megkönnyebbüléssel) nyilatkozott erről például az OKÉV főigazgatója: „Az új típusú érettségi beváltotta a hozzá fűzött elvárásokat. Teljesen megújította az egyes tantárgyak vizsgakövetelményeit, s ez hosszú távon is nagy hatást fog gyakorolni közoktatásunkra. Az új típusú követelmények, vizsgaformák, értékelési rendszerek általános elismerést arattak szakmai körökben és a diákok között is. Azzal, hogy a korábbi érettségiknél sokkal reálisabban mérte a vizsgateljesítményeket, megfelelő alapot adott a felvételi döntésekhez is” [6].

Egy kicsit persze elgondolkodhatunk: honnan ez az ugrásszerű teljesítményjavulás? Az eddigi években nem jól vizsgáztattunk, alulértékeltük az érettségizőket? Nem jól, és/vagy nem jól kértünk számon? Vagy – mivel az érettségi vizsga az odáig elvezető pedagógiai folyamat eredményességét is minősíti – ezt a sikert értelmezzük-e úgy, hogy az új érettségi koncepció és a hozzá illeszkedő tanterv olyan jótékony batással volt a közoktatás minőségére, az alkalmazott pedagógiai módszerekre, hogy annak máris ilyen látványos eredménye lett? Ha igen, akkor minden rendben van...

Természettudományos helyzetkép

A közoktatásban elindított átalakulási folyamat egyértelmű vesztese a természettudományok, ezen belül a fizika tanítása. Az egymást gyorsan követő és felülíró folyamat-szabályozók (a NAT kétféle változata, kerettanterv) végül – kis túlzással – a „túrt, de nem támogatott” kategóriába sorolták a fizikát. Kiszorult az általános iskola hatodik osztályából, és – a néhány iskolában speciális óraterv szerint folyó képzéstől eltekintve – a gimnáziumok utolsó évfolyamán is csak azok tanulják, akik érettségi előkészítő képzésre jelentkeztek ebből a tantárgyból. De nem járt sokkal jobban a biológia, vagy a kémia tanítása sem. Az érettségi végső formájában nem kapott helyet az a kezdeti elképzelés, mely szerint egy (választható) természettudományos tárgyból mindenkinek kötelező lett volna vizsgát tennie. Pusztába kiáltott szó maradt az MTA ad hoc bizottságának figyelmeztetése: „...elengedhetetlennek tartjuk, hogy a kötelező érettségi tárgyak között legyen egy természettudományos tantárgy is. A hazai hagyományok és a mai közvélemény szerint is ebben értékítélet van, ennek társadalmi üzenete van, másrészt rendkívül fontos – létében pozitív vagy hiányában negatív – visszacsatoló funkciója van” [12].

Hogy miért szorult háttérbe a reformkoncepció kidolgozása során a természettudományok oktatása? Talán azért, mert ott még nem olyan nagy a baj? Hiszen a nemzetközi felmérések szerint ezen a területen még „csak” a középmezőny vége felé helyezkedünk el, nem a sereghajtók között! Igaz, ahhoz képest, hogy néhány évvel ezelőtt még élen jártunk a természettudományos nevelés terén, ez visszaesés, de még nem szégyen...

Nem hiszem, hogy ez a gondolkodás vezetett volna a reáliák ilyen mértékű tévesztéséhez. Az okok ennél sokkal összetettebbek, mélyebben gyökerező problémáról van szó. Mindmáig nem sikerült elfogadtatni a közvéleményre, hogy „a természettudományos ismeretek és képességek a 21. századi általános műveltség, a tudás alapú társadalom meghatározóan fontos komponensét adják” [12]. Leegyszerűsítve: ha egy rádiós vagy televíziós személyiség mondjuk József Attilának tulajdonít egy Arany Jánostól származó idézetet, az országos botrány, de ha égbekiáltó ostobaságokat fecseg a paksi erőműben bekövetkezett balesetről, az a „vájt fülűeken” kívül senkit sem zavar. (Félreértés ne essék: egyik sem öröm...) Nem magyar jelenségről van szó, az általános műveltség tartalma, határai nehezen meghatározhatók, a történelmi-társadalmi meghatáro-

zottságú eszményeken változtatni nem könnyű. De ez nem jelentheti azt, hogy le kell mondanunk arról, hogy az iskolarendszerű képzésben harmonikus, kiegyensúlyozott műveltségképet mutassunk fel! Legalább a reményét fenn kell tartanunk annak, hogy tanítványaink nem vesznek el a 21. században, nehezebben manipulálható, félrevezethető, sokkal inkább gondolkodásra, összefüggések felismerésére törekvő emberek lesznek.

Deklarált célok és tartalmak

De hiszen pontosan ezzel egybehangzó célokat tűznek ki a fizikaoktatás számára a tantervek és az érettségi követelményrendszere is! „A fizikatanítás elsődleges célja a gimnáziumban az általános műveltséghez tartozó korszerű fizikai világnépek kialakítása... A diákoknak megmutatjuk a természet szépségét és a fizikai ismeretek hasznosságát. Tudatosuljon bennük, hogy a korszerű természettudományos műveltség a sokszínű egyetemes emberi kultúra kiemelkedően fontos része... Tudják megkülönböztetni a médiában előforduló szenzációhajhász, megalapozatlan »híradásokat« a tudományos értékű információktól.” [13]

„A középszintű fizika érettségi vizsga célja annak megállapítása, hogy a vizsgázó rendelkezik-e a köznapi műveltség részét képező fizikai ismeretekkel, ...ismeri-e a természettudományos gondolkodás, a természettudományok művelése során egyetemessé fejlődött megismerési módszerek alapvető sajátosságait, ...megérti-e a napjainkban felmerülő, fizikai ismereteket is igénylő problémák lényegét.” [8]

Tehát egyáltalán nem tűnik jogosnak a természettudományos nevelés háttérbe szorításával vádolni a reformkoncepciót! Sőt, ezen a területen is részletes követelmények jelölik ki az elengedhetetlen szemléletváltás irányát: a természettudományos tárgyak, köztük a fizika oktatásának is el kell mozdulnia a hagyományos követelményrendszer és a hozzá illeszkedő módszertan felől a képességfejlesztő jellegű, kompetencia-központú szemlélet felé, meg kell találni a helyes arányt az elsajátítandó ismeretanyag mennyisége és a készségfejlesztés között. Ilyen irányban kívánja befolyásolni az oktatási folyamatot az érettségi szerkezetében végrehajtott változtatás is, ami például a fizika tantárgy esetében elődjénél összehasonlíthatatlanul sokszínűbb vizsgát eredményezett. Azzal, hogy mérések, kísérletek elvégzését, értelmezését, fizika-történeti ismeretek beépítésével színesített esszék, szóbeli feleletek megszerkesztését is igényli a vizsgázóktól, felkészültségükről sokkal árnyaltabb képet nyújt, egyben kimeneti szabályozóként irányt mutat a felkészítendő pedagógusoknak is, hogy milyen képességek, kompetenciák kialakítása, fejlesztése nem hanyagolható el az oktatás során. Nem szabad, például – hogy csak egyet említsünk – elhagyni a tanulókísérletek, mérési gyakorlatok végrehajtását.

Minden világos tehát, adott a cél és az irány – csak az utat kell végigjárni! Ha járható...

Csakhogy a nemes célok elérhetetlenek, a színvonalas követelmények teljesíthetetlenek, ha nincsenek meg az eredményes oktatás pedagógiai feltételei. Az „extenzív

válaszok” lehetőségének kizárását, a tanulók terhelésének mérséklését célzó óraszám-limitálás következtében a négy-hat éven keresztül tanított természettudományos tantárgyak heti másfél-két órával gazdálkodhatnak: egyszerűen nincs több, ezen egyetlen helyi tanterv sem változtathat. Az *óraszámok nagymértékű csökkentése* és a készségfejlesztés középpontba állítása azonban *nem járt együtt az információmennyiség* átgondolt, a tantárgy logikáját nem csorbító, *arányos redukciójával*. A fizika érettségi követelményrendszeréből kimaradt ugyan a hagyományos témakörök közül például a hidrosztatika, vagy a merev testek gyorsuló forgómozgásának leírása, de közben bekerült a sugárvédelem, vagy – emelt szinten – a 2005-ben éppen 100 éves speciális relativitáselmélet, emellett elvárás, hogy az elsajátított ismeretanyagot az érettségizők tudják új kontextusokba (pl. technikai alkalmazások, kultúrtörténeti, tudománytörténeti vonatkozások) beágyazni [4]. (Szeretném, ha nem lenne félreérthető: nagyon fontosnak tartom a tudománytörténet beépítését az oktatási-nevelési folyamatba, ezzel együtt soha jobbkor nem lehetett volna a fizika érettségi követelményei közé kronologikus adatokat beemlíteni...)

A célokat és követelményeket annak tükrében kell szemlélnünk, hogy a természettudományok oktatására szánt időkeret átlépett egy kritikus határt – felülről lefelé süllyedve. *Örkény István* gondolatait visszafelé forgatva: a madzag és a ráfűzött paprikák meddig nevezhetők fűzérnek? Három paprika még fűzér? És kettő? És ha már csak egy paprika fityeg a madzagon? A gyakorló pedagógusok tudják: heti három óra alatt egy tantárgy már csak fél-tantárgynak tekinthető. Kettő alatt meg... És ezen nem segít semmilyen didaktikai fogás, bevethetők a legmodernebb oktatástechnikai eszközök, próbálkozhatunk szimulációkkal, prezentációkkal, írásvetítővel, a lehető legjobban előkészített kísérletekkel, számítógépes mérési-kiértékeléssel, csoportmunkával, differenciált foglalkoztatással – hiába, a 45 perc 45 marad.

(Lassan harminc éve tanítok fizikát. Hozzá kellett szoknom, hogy a rendelkezésemre álló idő szerény, mindig nagyon tudatosan meg kellett terveznem az óráimat, be kellett vetnem minden olyan módszertani újdonságot, fogást, amivel a tanulási folyamat hatékonysága növelhető. Nem gondoltam, hogy ennyi év tapasztalatával felvértezve állandósult kudarcélményben lesz részem, minden nap úgy jövök ki a tanteremből, hogy már megint nem tudtam eredményesen elvégezni az eltervezett munkámat. Képtelen vagyok tényeket közölni magyarázat nélkül, nem tudom kimondani például, hogy egy vezető ekvipotenciális, anélkül, hogy ne mondjam meg, hogy mi az a potenciál – márpedig arra nincs idő, nem szerepel a tananyagban. Nehezemre esik a kezdetben még kíváncsi tanulók kérdéseit elutasítani: „majd szünetben keress meg, most nincs rá idő”. Nem keres meg. Később már nem is kérdez... Nem tudok beletörődni, hogy a természettudományos, egzakt gondolkodás mintáinak felmutatása helyett felszínességre nevelünk a fizikaórákon. „Jelenségközpontú oktatás” – hangoztatjuk, de inkább jelenségszintű oktatásról kellene beszélnünk... Bemutatjuk az érdekességeket, majd tekintélyekre hivatkozva – ezt nevezhetjük tudománytörténeti kitérőnek – magyarázatként

közlünk egy összefüggést: tessék elfogadni! Akkor mi különbözteti meg a fizikaórát a televízióban látható, parajelenségekkel foglalkozó műsoroktól? Talán a szegényesebb kivitel...)

Nagyon nehéz a helyzet tarthatatlanságát általánosságban lefesteni, a vég nélkül sorolható konkrét példák viszont elfogadhatatlanul megnövelnék a terjedelmet, ráadásul az ilyen panaszáradat semmire nem jó, nem visz előre. Egy-két elgondolkodtató tény mégis megemlítek.

Keretek, formák, elvárások

A közoktatásban a diákok túlnyomó része öt éven keresztül, heti másfél-két órában tanul fizikát. Ez az öt év is két részletre van darabolva: két évig az általános iskolában, három évig középiskolában folyik a képzés. *Az egy tanévre eső hatvan-hetven órában* olyan tananyagmennyiséget kellene elsajátítani a tanulóknak, amit talán azzal jellemezhetnénk legjobban, hogy azt a forgalomban lévő tankönyvek általában *harminc-negyven „leckére”* bontva tállalják. Ha ez még önmagában nem tűnne soknak, akkor csak néhány minta egy a gimnáziumok számára készült tankönyvből: egy „lecke” foglalkozik például a félvezető eszközökkel (fotoellenállás, termisztor, dióda, tranzisztor – mindez a 10. osztályosok tananyaga!), vagy mondjuk az optikai eszközök leképezési törvényével (gömbtükrök, lencsék egyben). Hogy ez mennyire sok, azt csak az tudja, aki már megpróbálta megértetni, vagy megérteni ezeket a témaköröket. Ha egy-egy tankönyvi egységnek megfelelő tartalmat mégis sikerülne egy tanórán elsajátítani a tanulóknak, az akkor is csak azt jelenthetné, hogy *átlagosan minden második tanórán kell új ismeretekkel találkozniuk*. A „közbeeső idő” használható fel kompetenciák kialakítására, fejlesztésére: adatok, táblázatok, grafikonok, ábrák, szövegek értelmezésére, a feladatmegoldásokban való helyes felhasználásukra, adatokból, szövegből ábrák, grafikonok készítésére, a feladatok megoldásainak szemléltetésére, kísérletek összeállítására, mérések elvégzésére, értelmezésére – merthogy ezek a követelményrendszer elemei. Azután összefoglalásra-rendszerezésre, tudásszint-felmérésre (feleltetés, dolgozatírás), és így tovább. Ismerem az ellenérveket: a „lecek” nem tanórákat fednek le, a tanulási folyamat a tanterv, és nem a tankönyv alapján szerveződik! A tanterv és az érettségi követelményrendszer valóban csak úgy fogalmaz, hogy – például – „ismerje fel az elektromos vezetőket és szigetelőket”, vagy „tudjon megnevezni félvezető kristályokat. Tudja megfogalmazni a félvezetők alkalmazásának jelentőségét a technika fejlődésében, tudjon példákat mondani a félvezetők gyakorlati alkalmazására.”, és így tovább [8]. Hogy honnan „tudja”, honnan „ismerje” a tanuló? Meg kell említeni órán! *De nem kell megtanítani, megmagyarázni: elég csak megemlíteni!* (Hogy ezt hogyan lehet a gyakorlatban megoldani, azt persze nem tudom.) Hiszen – statisztikailag alátámasztható – egy adott korosztályban csak körülbelül minden tizedik tanuló tesz érettségi vizsgát fizikából, azaz egy harmincas létszámú osztályban legfeljebb két-három ilyen tanuló lehet. Ők majd az érettségire előkészítő foglalkozásokon alaposabban megtanulják, amire szükségük van!

De várhatunk-e csodát az érettségi előkészítő órától? A tanulók megengedett óraterhelését és az órarend-készítési szempontokat figyelembe véve a középiskolák túlnyomó részében a közép-, illetve emeltszintű érettségi vizsgára felkészítő foglalkozások – ha a létszámkorlátokat figyelembe véve egyáltalán beindíthatók – heti két órában, mégpedig általában úgynevezett „dupla órában” kerülnek megszervezésre. Már ez sem ideális körülmény, de a gondokat még tovább szaporítja, hogy egy-egy ilyen csoport több osztály tanulójából verbuválódik. Ezeket a diákokat előzőleg más tanárok tanították, esetleg eltérő óraszámokban is tanulhatták a fizikát, ráadásul – mondjuk meg őszintén – minden ellenjavallat dacára az iskolák korlátozott lehetőségei miatt gyakran egy csoportba sodródnak a kétféle szint elvárásai szerint érettségizni szándékozó tanulók. Megkezdődik a munka, a rendelkezésre álló idő 11. osztályban 74, 12.-ben 64 óra. Hogy ez alatt mit kellene elvégezni, annak érzékeltetésére álljon itt egy, az emelt szintű vizsgára történő felkészítéshez az *OM honlapján közreadott tanmenet javaslat* órakeret-felosztása:

„11. osztály (heti 2 óra, összesen 74 óra) (43 óra új anyag, 17 óra mérőkísérlet, 10 óra feladatmegoldás, 4 óra dolgozat).

12. osztály (heti 2 óra, összesen 64 óra) (39 óra új anyag, 13 óra mérőkísérlet, 8 feladatmegoldó óra, 4 óra dolgozat)” [9].

Papíron stimmel, a gyakorlatba átültetni nehéz... Mindenestre jól mutatja, hogy új anyag tárgyalására kellene fordítani az órák mintegy kétharmad részét, a mérési, kísérletezési rutin kialakításának is ebben a periódusban kellene megtörténnie. Nem csoda, ha például a korábbi években is elhanyagolt problémamegoldásra itt sem marad idő. És akkor még feltételeztük, hogy biztos, ismétlésre nem szoruló előismeretekkel rendelkeznek a tanulók, képesek esszékérdések kidolgozására önálló otthoni munka keretében, és így tovább. Azt már nem is merem említeni, hogy a tervezet az új anyag feldolgozására szánt órák keretéből *egyetlen tanórát irányoz elő például a speciális relativitáselmélet elemeinek megismerésére*. Nem tudom, ennyi idő hány mondat megfogalmazására elegendő, érdemes lenne lemérni...

És mindezek dacára: az új érettségi 2005-ös bemutatkozása sikert aratott, az eredmények az előző évekhez viszonyítva javultak, a diákok – úgy tűnik – igenis elsajátították a követelményrendszer tartalmi elemei között szereplő speciális relativitáselméletet, a félvezetőkről is tudták, amit kell, ügyesen elvégezték a kitűzött méréseket, bizonyították, hogy alkalmasak a felsőoktatásba való belépésre, vagyis a fizika (köz)oktatásban nincs semmi probléma!

Nos, pontosan ez az a következtetés, amelynek levonásától óva intenek mindenkit. *A fizika érettségi eredményei nem tükrözik a vizsga és az azt megelőző oktatási folyamat disszonanciáját, az így kialakuló, a valóságot rőzsaszínben ábrázoló kép nagyon nagy kárt okoz: abehelyett, hogy a problémák feltárásával segítené a tárgy oktatásának jobbítását, rámutatna a változtatások szükségességére, konzerválja, álságos módon idealizálja az állapotokat.* A felsőoktatásban tevékenykedő pedagógusok meg fogják tapasztalni – sajnos, azt hiszem, már érzékelték –, hogy a közoktatásból kikerülő, szép reményekre jogosítan ma-

gas pontszámokkal beiskolázott hallgatók fizikatudása valójában mit is ér. Azok ismereteiről pedig, akik nem is érettségiztek fizikából, inkább ne beszéljünk...

Az érettségi sikere mögött *nem* az odáig elvezető oktatási folyamat eredményességét kell sejtenuünk. *Az írásbeli érettségi* feladatsorainak összeállítói tisztában voltak a realitásokkal, mérlegelték, hogy éppen elég nehézséget jelent a vizsgázók számára az új körülményekkel megküzdeni, ezért a követelményrendszer szabta kereteken belül olyan elvárásokat támasztottak, amelyek teljesítése nem igazán okozott gondot. Az adott szituációban a „kimeneti szabályozás” logikája szerint is ez volt a legkövetkezetesebb, etikaiag elfogadható eljárás. *A szóbeli érettségik* jó eredménye – a 80% fölött teljesítők száma az írásbelihez képest két-háromszorosára nőtt – sem az előkészítő ciklusnak köszönhető. Az érettségi vizsga két része között rendelkezésre álló időszakban a fizikaszerterek olyan forgalmat bonyolítottak le, mint karácsonyi nagybevásárlás idején az üzletek: a lelkiismeretes pedagógusok – szabadidejük terhére, fizetség nélkül – egyesével berendelve tanítványaikat, a rendelkezésre álló felszereléseket mozgósítva felkészítették a diákokat a szóbeli vizsgán várható mérések, kísérletek elvégzésére. *Nem* azért, mert éveken keresztül nem dolgoztak, nem végezték becsületesen a munkájukat, és az utolsó pillanatban megszólalt a lelkiismeretük! Hanem mert a tanítványaik iránt érzett felelősségtudat, szeretet nem engedte meg nekik, hogy felkészítés nélkül bocsássák vizsgára őket – és *a pedagógusok nagyon jól tudták, hogy amit a rendelkezésükre álló időkeretben az évek során el lehetett végezni, az nem lesz elegendő az érettségi követelmények sikeres teljesítéséhez*. Természetesen egy ilyen „rohammunka” csak előre meghatározott kísérletek, mérések begyakorlására lehet elegendő, vagyis tulajdonképpen látszateredményt hoz: mérési rutint, szemléletet, önálló ötleteket nem szabad a diákok teljesítménye mögött keresnünk. De ki törődik ezzel, amikor a tanítványairól van szó?

Kérdés, hogy lehet-e, érdemes-e „szembekötősdit” játszani, nem törődni azzal, hogy „milyen valódi problémák vannak a középiskolával, és hogyan szalad az új érettségi lova a szekér nélkül” [14], vagy inkább szembenézni a tényleges helyzettel, és olyan megoldásokon gondolkodni, amelyekről valódi változások várhatók a magyar közoktatásból kikerülő tanulók természettudományos műveltségében? Vagy megvárjuk a következő nemzetközi felmérést, amely majd kényszerűen szembesít bennünket a tényekkel? Nem kell sokáig várni: a 2006-ban sorra kerülő PISA-mérés éppen a természettudományos kompetenciák szintjét állítja vizsgálódása középpontjába. Hogy milyen reményeink lehetnek a felmérés eredményét illetően, az sejthető az eddig ismertett „helyzetjelentés” és a vizsgálat tárgyát, előfeltevéseit ismertető alábbi idézet összevetéséből:

„A természettudománnyal kapcsolatos írásbeliség azon képességek együttesét jelenti, amelyek segítségével kérdéseket vetünk fel és bizonyítékokon alapuló következtetéseket vonunk le annak érdekében, hogy megértsük a bennünket körülvevő természetes világot és mindazon változásokat, melyeket az ember idézett elő ebben a világban. Egyben e képességeink révén hozzuk meg a megfelelő döntéseket a bennünket körülvevő világgal kapcsolatban.

A felmérés készítői szerint 15 éves korukra a diákoknak el kellene sajátítaniuk *a természettudománnyal kapcsolatos legalapvetőbb ismereteket és készségeket*, akár tudományos területen folytatják majd tanulmányaikat, akár nem. A tudományos gondolkodást nemcsak a tudósoktól várják el, hanem az állampolgároktól is. Korábban teljesen elfogadott volt, hogy az *olvasás készsége és a matematika terén elsajátított tudás az élet sok területén fontos a felnőttek számára*. A 21. században, amikor egyre inkább előtérbe kerülnek a tudományos és technikai kérdések, a *természettudománnyal kapcsolatos írásbeliség mint általános képesség az életre való felkészítésben is nagyobb szerephez jut* [15]. No comment...

Hogyan tovább?

A természettudományos műveltség, a természettudománnyal kapcsolatos írásbeliség ugyanolyan alapkompétencia, mint az írás, olvasás, vagy akár a számolás. Kialakulásához időre, és tervszerű fejlesztésre van szükség. Egy a fiatalok hosszú távú boldogulását, életesélyeinek megnövelését szem előtt tartó közoktatási rendszer minden részletében tükröződnie kell, hogy az alapképességek között nem tesz különbséget, azok fejlesztését a harmonikus személyiség kialakulása szempontjából egyformán fontosnak tartja. Ezzel szemben *a magyar közoktatásban jelenleg a természettudományos írásbeliség kialakításának, fejlesztésének problémája néhány ezer („reál-szakos”) tanár magánügyének látszik*. Senki nem gondolja komolyan, hogy az írás-olvasás, a betűk tanításával párhuzamosan lehetne – mondjuk az általános iskola hetedik-nyolcadik osztályában – történelmet vagy irodalmat oktatni, a reáliák esetében azonban teljesen természetes, hogy csak ebben az életkorban „szólíthatják meg” a diákokat. Eljutni a természettudományos „betűvetéstől” az önálló ismeretszerzésre lehetőséget teremtő „olvasás” képességének elsajátításáig mindössze két-három év áll a tanulók rendelkezésére. Reménytelen.

Ha valóban komolyan vesszük a közoktatás megreformálását, akkor *az alapkészségek és képességek fejlesztését középpontba állító oktatáspolitikai koncepció következetes alkalmazásával ki kell alakítani a természettudományos műveltség megszerzésének lehetőségét biztosító pedagógiai feltételeket is*. Itt nem szabad „szülői igényekre” vagy „helyi pedagógiai programokra” mutogatni. Határozott, központilag szabályozott szerkezeti, tartalmi reformok kellenek, mégpedig sürgősen. Az *MTA ad hoc bizottságának* már idézett *állásfoglalása* [12] nagyszerűen rámutat azokra a pontokra, ahol beavatkozásra van szükség, és a kövendő irányokat is kijelöli. Ehhez kapcsolódóan, mintegy „lábjegyzetként” néhány, az állásfoglalás szellemében fogant, gyakorlatiasnak szánt javaslattal élek.

a) Az alapképzés szakaszában, az általános iskolában tulajdonképpen már az alsó tagozaton megkezdődik a természettudományos alapok kialakítása a környezetismeret, illetve a technika és életvitel tantárgyak keretében, majd a folyamat az 5–6. évfolyamon a természetismeret oktatásával folytatódik. Látszólag ez kielégítő megoldás, a valóságban azonban ennek a képzésnek *rendkívül ala-*

csony a hatásfoka. Az okok összetettek, elemzésükre itt nem vállalkozhatunk. Itt egy tudatos, a teljes struktúra átlátását igénylő fejlesztési folyamat végiggondolására és gyakorlatias útmutatásra lenne szükség, nem lehet spon-tán kezdeményezésekre, jó szándékú, de mégis ötletszerű tankönyvekre, helyi tantervekre hagyatkozni. Az általam nagyra becsült, rendkívül fontos és nehéz munkát végző tanítóktól egyszerűen nem lehet elvárni, hogy eredményesen oldják meg még ezt a feladatot is. A pedagógusképzés jelenlegi és múltbeli helyzetét tudomásul véve más lehetőséget nem látok, mint azt, hogy *a természettudományos szakokon végzett általános iskolai tanároknak lehetőséget kell biztosítani az alsó tagozaton történő tanításra is*. Az életkori sajátosságokat maximálisan szem előtt tartó, szinte száz százalékban *tanulói kísérleteken keresztül megvalósított alapozó folyamatra* gondolok, még véletlenül sem egzakt fogalomalkotásra, törvények és definíciók bemagoltatására, számonkérésére. A gondolat egyáltalán nem eretnek, elegendő megnézni amerikai, angol vagy német tanszergyártó cégek taneszköz-katalógusait, hogy milyen széles a kínálatuk 6–10 éves életkorú gyermekek számára készített „science”-témakörhöz ajánlott tanulókísérleti készletekből. Ezek nálunk is elérhetőek, természetesen borsos áron, de kisebb anyagi ráfordítással „háziilag” is felszerelhető minden iskola a szükségleteket tökéletesen kielégítő eszközökkel. Az osztályokat a létszámtól függően bontani lehetne, például három csoport forgószínpadszerűen, hetenkénti váltásban kémia, fizika, illetve biológia tárgyú egyszerű kísérleteket, méréseket végezhetne – de ezek már olyan szervezési kérdések, amelyek megoldása nem lehet akadály a megvalósításnak. Minimális tanári továbbképzéssel és megfelelő munkaanyag biztosításával sokszorosan megtérülő „beruházást” lehetne végrehajtani.

b) *Kötelezővé kell tenni, hogy minden érettségiző egy természettudományos tantárgyból vizsgát tegyen*. Tudom, hogy ennek ára valamelyik, a jelenlegi érettségi-szerkezetben kötelező vizsgatárgy kötelezően választható kategóriába sorolása lenne. Tudom, hogy ezt a már régen megfogalmazott igényt azért vetették el, mert „a pedagógusgátlalom, de egyes vitákból ítélve a szélesebb közvélemény is többségében elfogadhatatlannak tartotta ezeknek a tantárgyaknak a választható tantárgyak körébe való kerülését” [1]. Mégis végre kell hajtani ezt a változtatást. *A jelenlegi rendszer nemhogy nem preferálja, jószerével inkább bünteti a természettudományos érdeklődést*: ha egy fiatal olyan felsőoktatási intézménybe pályázik, ahol két természettudományos tantárgyból tett érettségít írnak elő felvételi követelményként, akkor hat tárgyból kell vizsgát tennie. Már önmagában ez is indokolná a változtatást, de sokkal súlyosabb érv a benne rejlő „társadalmi üzenet” szükségessége, egy ilyen „gesztusnak” a műveltség-ideál felmutatásában játszott szerepe. Nem könnyű rámutatni arra a jelenleg kötelező vizsgatárgyra, amelyiket választhatóvá lehetne tenni, olyan megoldást kell találni, amellyel várhatóan a legkisebb kárt okozzuk. Két lehetőséget tudok elképzelni. Az egyik, hogy az idegen nyelv legyen választható érettségi vizsgatárgy. Úgy gondolom, az, hogy a követelmények megfelelő szintű teljesítése esetén nyelvvizsgálóhoz juthatnak az érettségi-

zők, továbbá, hogy a felsőoktatás a diploma megszerzésének feltételeként szabja az államilag elismert nyelvvizsga-bizonyítvány megszerzését, éppen elég motivációt jelent ahhoz, hogy az érettségizők többsége vizsgatárgyként válassza az idegen nyelvet. És akkor még nem szólnunk megváltozott politikai-gazdasági-társadalmi környezetünk önmagában is a nyelvismeret szükségességét sugalmazó hatásáról. (Egyébként éveken keresztül gyakorlatilag alig volt idegen nyelvből érettségi, a vizsgázók túlnyomó része már előbb megszerezte nyelvvizsga-bizonyítványát.) A másik megoldási lehetőség, hogy öt érettségi vizsgatárgy legyen kötelező, szűnjék meg a „kötelezően választható” kategória, és aki szeretne, hatodik vizsgatárgyként bármilyen – a megfelelő feltételeknek eleget tevő – tantárgyat választhasson.

c) *Sürgősen megoldandó feladat a szakfelügyeleti rendszer – megfelelő változtatásokkal történő – újraélesztése.* Az érettségi vizsga a kimeneti szabályozás eszköze – hangsúlyozzuk, de hogyan képzelhető el a közoktatási folyamatra való visszahatása? Hogyan érzékeli például egy általános iskolában dolgozó fizikatanár, hogy a záróvizsga követelményrendszerének szellemében végzi-e munkáját? A felkészítő folyamat eredményességéről csak a tanuló az érettségire „kísérő” pedagógus kap visszacsatolást: a középiskolai tanárok úgymond első kézből értesülhetnek alkalmazott módszereik eredményességéről, vagy eredménytelenségéről. De még ez sem teljesen igaz, hiszen egy lineáris felépítésű tanterv szerint folyó, de derékban kettészelt (rosszabb esetben felszeletelt) oktatásban, például a fizika tanításában, nehéz megtalálni akár a sikereket, akár a kudarcok forrását. Ha az eredmények rosszak – lehet „visszafelé” mutogatni. A középiskolai oktatás tömegessé vált, az már nem minősíti az általános iskolát, hogy hány tanulója folytathatja tanulmányait a középfokú oktatásban, de majdnem ugyanez a helyzet a középiskolák és a felsőoktatás viszonylatában is. *Nagy szükség lenne elismert, köztisztelőnek örvendő pedagógusok segítő-értékelő és közvetítő munkájára.* Nem hiszem, hogy a pedagógus-társadalom ne lenne képes demokratikus körülmények közt önmagából kiválasztani ennek a feladatkörnek az ellátására szakmailag és emberileg is alkalmas tagjait.

d) *A természettudományos tantárgyak oktatására számbatartó óraszámok csökkentését, mint elhibázott lépést felül kell vizsgálni, vissza kell vonni.* A fizika tantárgy esetében – megfontolt és átgondolt, széles körben megvitatott

tananyagcsökkentéssel párhuzamosan – legfeljebb olyan mértékű óraszámcsökkenést tartunk elképzelhetőnek, amely megőrzi minimálisan heti két tanórát az általános iskola felső három osztályában és a gimnáziumok mind a négy évfolyamán. A tananyag meghatározásánál pedig nem szabad „hiúsági kérdéseket” figyelembe venni: ha a természettudományos szemléletet, gondolkodásmódot jól illusztrálja, és egyben formálja, akkor inkább tanítsunk – mondjuk – 18. századi ismeretet, mintsem naprakészséggel kérkedve fizikaórán „ködevést” folytassunk. Természetesen, amennyire lehetséges, foglalkozni kell a modern fizika elemeivel is, de *ha a látásmódot, a problémák tudományos megközelítésének metodikáját átadva további tanulásra és önképzésre képessé tesszük a tanulókat, akkor már elértük a célunkat.*

Irodalom

1. LUKÁCS JUDIT: *Érettségi reform Magyarországon* – az OKI *Minőség – eredményesség – hatékonyság* címmel 2004 októberében rendezett szakmai konferenciáján elhangzott előadás; <http://www.oki.hu>
2. SINKA EDIT: *raportóri jelentése az OKI Minőség – eredményesség – hatékonyság* címmel 2004 októberében rendezett szakmai konferenciájának 5. vitafórumáról; <http://www.oki.hu>
3. VIDÁKOVICH TIBOR: *Kimeneti szabályozás, standardizált értékelés, feladatbankok, tesztbankok* – az OKI *Minőség – eredményesség – hatékonyság* címmel 2004 októberében rendezett szakmai konferenciáján elhangzott előadás; <http://www.oki.hu>
4. HORVÁTH ZSUZSANNA, LUKÁCS JUDIT: *A kétszintű érettségi vizsga* – Új Pedagógiai Szemle 2005/04
5. A tavaszi érettségi vizsgák tapasztalatairól az OKÉV vezetői által a regionális tájékoztatókon tartott előadások képanyaga; http://www.om.hu/letolt/okev/doc/ertsegi_dia_051117.ppt
6. *Interjú Pósfai Péterrel, az OKÉV főigazgatójával* – OFINFO, 2005, 5
7. *Az oktatási miniszter 10/2003. (IV.28.) OM rendeletének 1. sz. melléklete* – Magyar Közlöny 2003/43/II.
8. *Fizika érettségi vizsga általános követelményei* – az 1/2005. (I.21.) OM rendelettel módosított, egységes szerkezetbe foglalt 40/2002. (V.24.) OM rendelet az érettségi vizsga részletes követelményeiről
9. Az érettségiről tanároknak; <http://www.om.hu/letolt/kozokt/ertsegi2005/tanaroknak/fizika/>
10. GÁCS ANNA, RÉVÉSZ SÁNDOR: *A teve, mint víziló (Beszélgetés Magyar Bálint oktatási miniszterrel)* – <http://beszelo.c3.hu/cikkek/a-teve-mint-vizilo>
11. *Európai kibívások a magyar oktatásban (Beszélgetés Sió Lászlóval, az Oktatási Minisztérium politikai államtitkárával)* – Új Pedagógiai Szemle, 2002. március
12. BAZSA GYÖRGY: *A Magyar Tudományos Akadémia a korszerű természettudományos közoktatásért* – Fizikai Szemle 53/3 (2003) 112
13. *Fizika 9–11. évfolyam tanterve* – Magyar Közlöny 2003/43/II.
14. TAKÁCS GÉZA: *Az iskola gondjai és a gondok nyilvánossága* – Élet és Irodalom, 49. évfolyam, 29. sz.
15. *A diákok tudásának és képességének mérése az olvasás, a matematika és a természettudomány terén* – <http://www.oki.hu/oldal.php?tipus=cikk&kod=oeecd-diakok>

PÁLYÁZATOK

TUDOMÁNYOS KUTATÓI ÁLLÁS AZ RMKI BIOFIZIKAI OSZTÁLYÁN

Az MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet (<http://www.rmki.kfki.hu/>) Biofizikai Osztálya (<http://cneuro.rmki.kfki.hu/>) *batározott időre szóló állást hirdet.* A sikeres jelentkezőt tudományos kutatói munkakörbe veszi fel az Intézet.

Az állás EU-s pályázathoz kötött kutatómunkához kapcsolódik, melyben a konzorciumtagok AIDS-es betegek optimális gyógyszeresét támogató szakértői rendszert fejlesztenek ki.

Bérezés a hazai kutatói bértábla szerint.

Elbírálási szempontok: statisztikai ismeretek • gráfelméleti ismeretek • információelméleti ismeretek • LINUX operációs rendszer ismerete felhasználói szinten • bioinformatikai alapismeretek • adatbányászati ismeretek • angolnyelvtudás • programozási készség • munkabírás, terhelhetőség.

A rövid szakmai önéletrajzokat a következő címen várjuk: bazso@sunserv.kfki.hu és soma@sunserv.kfki.hu.

A rövid szakmai önéletrajzokat a következő címen várjuk: bazso@sunserv.kfki.hu és soma@sunserv.kfki.hu.

AZ ÖVEGES JÓZSEF DÍJ PÁLYÁZATI FELHÍVÁSA

A Magyar Nukleáris Társaság Elnöksége az iskolai fizikaoktatás kísérletes jellegének erősítésére és a kísérletező fizikatanárok elismerésére 2006 márciusában *Öveges József Díjat* alapított. A díjat iskolában oktató fizikatanárok nyerhetik el, az általuk benyújtott pályázat alapján. A Díj Alapító Okirata a következő címen olvasható az interneten: <http://www.reak.bme.hu/mnt/Ovegesdij>. Az Öveges Díj egy bronzból készült kisplasztika, a díj elnyerését tanúsító oklevél, valamint 2006-ban 100 000,- Ft egyszeri tudományos ösztöndíj. Ezúton hívjuk fel a fizikatanárokat, pályázzanak az órákon bemutatott (tanári vagy tanulói) kísérletekkel!

A pályázat tartalmi és formai részletei:

- Személyenként évente egy pályázat nyújtható be.
- A pályázatban leírt (egy vagy több) kísérlet egy témakörhöz tartozó legyen.
- Pályázni lehet megvalósított új kísérletekkel, illetve régi kísérletek korszerűbb megvalósításával, amelyek akár technikai (pl. számítógéppel támogatott kísérlet), akár didaktikai újdonságokat tartalmaznak.
- A pályázónak nyilatkoznia kell a pályázatban bemutatott kísérletek *eredetéről* és *újdonságtartalmáról* (saját ötlet, másnak az ötlete átdolgozva, megújítva stb.).
- Számítógépes *szimulációk* nem minősülnek kísérletnek.
- Nem lehet pályázni olyan készletekkel, kísérletekkel, amelyeket a pályázó korábban már gazdaságilag hasznosított (pl. kereskedelmi forgalomban kapható).
- A két példányban benyújtandó pályázatnak olyan részletes leírást (esetleg egyéb adathordozót, videót, CD-t stb.) kell tartalmaznia, amelynek alapján
 - a Kuratórium értékelni tudja a pályázatot a díj Alapító Okiratában részletezett szempontok szerint (lásd alább);
 - más fizikatanár kollégák képesek a kísérlet átvételére saját iskolájukban.
- A pályázat jelíges, ezért a pályázónak sehol sem szabad feltüntetnie nevét a pályázaton. A pályázathoz csatolni kell egy lezárt borítékot, amely kívül a pályázat jelígejét (kódját), belül a pályázó nevét és egyéb adatait tartalmazza. Ezt a borítékot a Társaság titkára bontja fel azután, hogy a Kuratórium az összes pályamunkát pontozta.
- A pályázat beadásával a pályázó egyben *hozzájárul* ahhoz, hogy

- neve és elért pontszámai felkerüljenek a Magyar Nukleáris Társaság által gondozott Öveges Díj honlapra;
- a Díj elnyerése esetén a pályázat(ok)ban leírt kísérletek közül a Kuratórium által arra alkalmasnak ítélték ugyancsak felkerüljenek az Öveges Díj honlapra, ahonnan szabadon letölthetők, és oktatási célokra térítés nélkül felhasználhatók lesznek.

A pályázat benyújtási *határideje:* 2006. október 15.

A pályázat benyújtási *címe:* *Szieberth Máté*, a Magyar Nukleáris Társaság titkára, BME NTI 1521 Budapest.

A pályázat jelíges jellege miatt a Kuratórium csak postán érkezett pályázatokat tud elfogadni.

A nyertes pályázónak a Magyar Nukleáris Társaság elnöke 2006. december elején az ünnepi közgyűlésen adja át az Öveges József Díjat. A pályázónak körülbelül 20 perces előadás keretében *be kell mutatnia* legérdekesebb kísérleteit, amelyek a Díj elnyeréséhez segítettek.



A pályázatok értékelése:

A pályázatokat a Társaság Elnöksége által felkért Kuratórium értékeli. A Kuratórium összetétele: elnök: *Sükkösd Csaba* egyetemi docens, tagok: *Görbe László* középiskolai tanár, *Jubász András* egyetemi docens, *Mester András* középiskolai tanár, *Rósa Géza* ny. tanácsadó.

Az értékelés szempontjai:

<i>Szakmai</i> tartalom	max. 20 pont
<i>Könnyű</i> iskolai megvalósíthatóság	max. 12 pont
<i>Újdonságtartalom</i>	max. 10 pont
Kapcsolódás a <i>modern</i> fizikához	max. 10 pont
Alkalmasság <i>tanulói</i> kísérletre	max. 10 pont
Kapcsolat <i>nukleáris</i> ismeretekkel	max. 8 pont
<i>Összesen</i>	max. 70 pont

A díjazott kiválasztása:

A pályázatra kapott pontok hozzáadódnak az előző években gyűjtött pontokhoz. Minden évben az a fizikatanár nyeri el a díjat, akinek *a pontversenyben a legtöbb pontja van*. Aki elnyerte a díjat, annak a pontjai nullázódnak. A következő években azonban továbbra is részt vehet a versenyben, pontokat gyűjthet, és a díjat ismét elnyerheti.

Budapest, 2006. március

Sükkösd Csaba
az Öveges Díj Kuratóriumának elnöke

GYORSULÓ IDŐ – Marx György válogatott írásai

Szerkesztették: Juhász Ferenc, Patkós András, Sükösd Csaba

Typotex Kiadó, Budapest, 2005, 367 oldal

A *Gyorsuló idő* Marx György professzor, akadémikus válogatott írásait tartalmazza, tanítványainak, *Sükösd Csabának* és *Patkós Andrásnak* értő válogatásában és jegyzeteivel ellátva. *Juhász Ferenc* így ír bevezetőjében Marx Györgyről: „Szolgálat és szeretet volt az élete. Nemcsak tudni, de tudatni is akart. Az volt Ő, a Minden-ség hűségese, alázatos természet-tisztelet, ember-tisztelet és lét-tisztelet.”

Valóban, Marx György tanítani akart. Tanított egyetemistákat és doktoranduszokat, eljuttatva a legjobbakat a tudomány csúcsaira, világhírű egyetemek katedráira, a legnagyobb hazai tudományos díjak átvételéhez. Gondolkodott azon, hogyan lehet megszerettetni és megtanítani a fizikát a középiskolában. De tanítani akarta a nagyközönséget is. Minden fontosat el akart magyarázni, tisztán és egyszerűen, mindenki számára érthetően. Ugyanakkor a huszadik század fizikájának kiemelkedő tudósa volt és a magyar társadalom modernizációjának nagyhatású képviselőjévé tudott válni.

A válogatás nagyon jó, mert Marx professzor rövid életrajza után, öt nagy egységben, általános érdeklődésre számot tartó és ma is aktuális cikkeit szedték csokorba a szerkesztők. Ezek a

Földi világunk

„Én tanár vagyok”

Az Univerzum

Törékeny földünk és

Élet, veszélyben

alcímek alatt három-öt dolgozatot tartalmaznak, Sükösd Csaba jegyzeteivel.

Eredeti tudományos közlemények alcímmel további hat művet is talál a könyvben a modern fizika eredményei iránt mélyebben érdeklődő olvasó:

A fermiontöltés megmaradásáról

A neutrínócsillagászat lebetűségeiről (Menyibárd Nórával)

Földi lézersugárral hajtott csillagközi űrjármű

Kozmológiai felső korlát a neutretto tömegére (Szalay A. Sándorral)

A gyenge Univerzum és

A fizika jövőjéről (Wigner Jenővel)

Ezeket a dolgozatokat Patkós András látta el jegyzetekkel.

Fontos volt a tudományos dolgozatok megjelentetése, még akkor is, ha talán kevesebben lesznek, akik maradéktalanul követni tudják, de hitelessé teszik a tudományos ismeretterjesztő írásokat, ugyanakkor megmutatják Marx György úttörő szerepét és máig tartó hatását több fontos témában.

Marx Györgyöt sokan ismerték, és mivel megismerték, tisztelték és szerették. Nekik nem kell különösen ajánlani a könyvet. Fontos azonban, hogy ez a válogatás, amelyik ma is aktuális témákat boncolgat, ma is aktuális kérdésekre keres választ, minél szélesebb körben ismertté legyen, hiszen jól megfogalmazott cikkeiben a tudomány iránt kevésbé érdeklődő átlagember is tájékozódást segítő támaszra lel.

Köszönet illeti a Magyar Tudományos Akadémia Fizikai Tudományok Osztályát és a Paksi Atomerőmű Zrt.-t a megjelenés támogatásáért, a Typotex Kiadót, valamint *Kármán Tamást* és az OOK-Press nyomdát a gondos kiállításért.

Meskó Attila

Silberer Vera, Staar Gyula (szerk.): A FIZIKA SZÁZADA

A Természet Világa 2006. évi I. különszáma, 116 o.

A *Természet Világa* különszámái széles körben ismertek és nemcsak magas színvonalú ismeretterjesztést képviselnek, de – ne tagadjuk – haszonnal forgatják a szakemberek is látóköriük szélesítésére. Ezt minden bizonnyal el lehet mondani a *Fizika Éve* tiszteletére megjelent különszámról is, amely – az ünnepi év befejezéséeként – 2006 januárjában jelent meg. Különösen figyelemfelkeltő már a címlap is: *Einstein* arcképe egy nem mindennapi környezetből tekint ránk és az összhatást a színezés is segíti.

Ami a tartalmat illeti, az nagyon gazdag és változatos, a fizikán belül igen széles spektrumot fed le. Igaz, a ta-

nulmányok elrendezésében különösebb szempontot (pl. időrend, tárgykör stb.) nemigen lehet felfedezni. Egyébként *Staar Gyula* bevezetőjén kívül 25 tanulmányról van szó. Ezek szerzői is igen széles körből kerülnek ki: vannak köztük hazai középiskolai és egyetemi tanárok, kutatóintézeti munkatársak, de neves, ma már nem is élő külföldi kiválóságok (*Paul A.M. Dirac*, *Victor F. Weisskopf*) és határon túli, jól ismert magyar fizikusok is (*Gábos Zoltán*, *Toró Tibor*).

Mint említettük, a tanulmányok tartalma igen változatos. Az írások nagyobb része széles értelemben a fizika,

illetve a magyar fizika történetéhez kapcsolódik (*Bencze Gyula, Meskó Attila, Radnai Gyula, Plósz Katalin, Vincze Ildikó, Gábos Zoltán, Abonyi Iván, Paul A.M. Dirac, Hraskó Péter, Hargittai István, Fehér Péter, Kovács László, Kostka Pál, Jéki László*), de általában sokkal többet nyújtanak pusztán tudománytörténetnél. A másik része a fizika egyes különösen jelentős fejezeteivel, illetve a fizika világképével, szépségeivel, humanizmusával foglalkozik (*Nagy Károly, Abonyi Iván, Varró Sándor, Marx György, Toró Tibor, Victor F. Weisskopf, Vicsek Tamás, Tichy Géza, Papp László, Patkós András*).

A következő megjegyzés talán nem a recenzens szubjektív beállítottságának tulajdonítható. Ismeretes, hogy hazánkban a fizikai kutatás két legnagyobb központja Budapesten és Debrecenben van. Az egyáltalán nem kifogásolható, hogy a kiadványban külön cikk foglalkozik a KFKI-val, valóban központi jelentősége miatt. Az azon-

ban szóvá tehető, hogy miközben az a gyorsító berendezés, amelyiken az első hazai magreakciós vizsgálatokat végezték, amelyiken először állítottak elő mesterséges radioaktív izotópot hazánkban 1951-ben, kétszer is szerepel (az egyik cikkben és a fedőlap hátoldalán), arról nem esik szó, hogy Debrecenben majdnem másfél évtizeddel *korábban* történt meg ugyanez. Igaz, nem gyorsító berendezés segítségével. Tovább lehetne folytatni: a híres debreceni neutrínó-visszalökési kísérlet berendezései és a világon egyedülálló elektronspektrométerek képei közül is helyet kaphatott volna egy-kettő, nem beszélve arról, hogy Debrecenben is jártak Nobel-díjasok és előadásokat is tartottak. Sajnos, sokan elfelejtik, hogy míg az első világháború előtt csak Budapesten (és legfeljebb még Kolozsváron) volt fizikai kutatás, addig ma a „spektrum” sokkal szélesebb.

Berényi Dénes

HÍREK – ESEMÉNYEK

AZ AKADÉMIAI ÉLET HÍREI

Ünnepi ülés az Akadémián Zawadowski Alfréd 70. születésnapján

A Magyar Tudományos Akadémia Fizikai Tudományok Osztálya és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Fizikai Intézete *Zawadowski Alfréd*, az MTA rendes tagja, műegyetemi professzor, az elméleti szilárdtestfizika nemzetközi hírű kiválósága hetvenedik születésnapja alkalmából 2006. április 7-én ünnepi tudományos ülészeket szervezett az Akadémia Nagytermében.

Először *Kroó Norbert*, a Magyar Tudományos Akadémia (MTA) alelnöke köszöntötte az ünnepeltet az Akadémia Elnöksége nevében. Ezután *Horváth Zalán*, az MTA Fizikai Tudományok Osztályának elnöke, valamint *Kertész János*, a BME Fizikai Intézete igazgatójának köszöntő szavai hangzottak el. A laudációkat követte a tényleges tudományos ülészek Zawadowski professzor itthon és külföldön élő tanítványainak, barátainak az előadásai.

Elsőként *Györffy Balázs*, a bristoli egyetem professzora, az MTA külső tagja tartott előadást az erősen korrelált elektronrendszerek *ab initio* modellezéséről, majd *Jánosy András*, a BME Kísérleti Fizika Tanszékének tanára, az MTA rendes tagja vezette be a hallgatóságot a magas hőmérsékletű szupravezető anyagokban megfigyelhető különleges töltéseloszlás kísérleti vizsgálatának rejtelmibe. Az ezt követő előadásnak már a címe is rendkívül érdekes volt: *Forgács Gábor*, a University of Missouri, Columbia, professzora működő szövetek nyomtatásáról beszélt (*Printing functional organs: not a fiction anymore*). *Zimányi Gergely*, a University of California, Davis, professzora nem kevésbé figyelemfelkeltő *Tükör által, homályosan* című előadásában a kölcsönható rendszerek

üvegszerű állapotairól beszélt. A délelőtti szekciót *Mibály Lászlónak*, a State University of New York at Stony Brook professzorának előadása zárta, ő ferromágneses és anti-ferromágneses anyagok kísérleti vizsgálatának újabb eredményeivel ismertette meg a hallgatóságot.

Az ünnepi ebédet követő délutáni szekció első három előadása szorosan kapcsolódott egymáshoz. Olyannyira, hogy akár egy tematikus konferencia szekciójának is beillett volna. Elsőként *Carlo Di Castro*, a római „La Sapienza” Egyetem professzora beszélt a kuprátokon (réz-oxid alapú magas hőmérsékletű szupravezetők) végzett Raman-szórás mérések elméleti értelmezéséről, majd *Rudi*

Zawadowski Alfréd és felesége, Tátrallyay Mariella, az Akadémiai Klubban rendezett ünnepi ebéd.



Hackl, a müncheni Walter-Meissner Intézet kutatója ismertette a terület legújabb kísérleti eredményeit, végül *Thomas Devereaux*, a waterloo-i egyetem tanára tartott előadást a Raman-szórásnak, mint az erősen korrelált anyagok egyik vizsgálati módszerének távlati lehetőségeiről.

A szünet után *Hans Kroba*, a bonni egyetem profeszora ismertette elméletét a szilárdtestekben előforduló dinamikus hibahelyeknek az elektromos ellenállásra gyakorolt hatásáról, majd *Borda László*, a BME Elméleti Fizika Tanszékének posztdoktori kutatója beszélt a mágneses szennyezőknek a vezetési elektronok fázisvesztésében játszott szerepéről. Az ünnepi ülés utolsó előadójaként *Ulrich Eckern*, az augsburgi egyetem tanára az összetett kvantumrendszerek effektív elméletét ismertette.

Az előadásokból – a fiatalok számára talán meglepő módon – kiderült, hogy az ünnepelt milyen széles körű és nagy hatású tevékenységet folytatott és folytat ma is. A hazai fizika különösen sokat köszönhet Zawadowski professzornak. Nemcsak generációkat oktatott az elméleti szilárdtestfizikára, hanem mindig nagy súlyt helyezett a kísérlet és az elmélet egységére, és, ahol lehetett, támogatta a magas színvonalú kísérleti munkát. Méltán mondhatjuk tehát, hogy – Kertész János köszöntő szavait idézve – a magyar szilárdtestfizikusok valamennyien „Zawadowski Frédi köpönyegéből bújtak ki”. Igazán hálásak lehetünk, hogy Frédi energiája és munkakedve töretlen, és innen is azt kívánjuk neki, hogy Isten éltesse sokáig!

Újsághy Orsolya, Borda László, Zaránd Gergely

Detre László-emlékülés az Akadémián

A *Fizikai Szemle* legutóbbi számában már megemlékezünk *Detre László* születésének centenáriumáról. A jeles évforduló alkalmából a Magyar Tudományos Akadémia Fizikai Tudományok Osztálya emlékülést rendezett.

A szervezők szándéka szerint az emlékülés egyik célja az volt, hogy a fiatalabb generációkhoz tartozó kollégák és az egyetemi hallgatók – leendő csillagászok – is megismerhessék az iskolateremtő és obszervatóriumalapító magyar csillagász, *Detre László* szakmai és szervező tevékenységét, valamint azokat a körülményeket, amelyek közepette *Detre* idejében a kutatómunka zajlott.

Szerencsére még nagyon sok aktív csillagász van, aki pályája elején együtt dolgozhatott *Detrével*, így az emlékülésen elhangzott előadások és visszaemlékezések nemcsak szakmai, hanem személyes jellegűek is voltak.

Kroó Norbert, az MTA alelnöke megnyitó szavai után az emlékülés első részét *Nagy Károly* vezette le, akinek *Detre* az 1970-es évek elején akadémikustársa volt. Az elsőként előadó *Balázs Lajos* *Detre Lászlóra* mint az MTA Csillagvizsgáló Intézete egykori igazgatójára emlékezett, utána pedig *Detré*t az igazgatói székben követő *Szeidl Béla* te-

kintette át az intézet legnagyobb hagyományú kutatási területén, a változócsillagok vizsgálatában *Detre* idejében és az azóta eltelt évtizedekben elért fontosabb eredményeket. Külön előadás foglalkozott a Piskéztetői Obszervatóriummal, amelynek létrehozása szintén *Detre* érdeme (*Balázs Béla*). *Detre* egyetemi oktatói és tanszékvezetői tevékenységéről az ELTE TTK Csillagászati Tanszékének jelenlegi vezetője, *Érdi Bálint* emlékezett meg.

Az emlékülés második részében azok a csillagászok tartottak rövid előadást, akik még *Detre* igazgatósága alatt kezdték pályájukat, és szakterületük is kapcsolódik a *Detre* által művelt vagy kezdeményezett kutatásokhoz. Az ennek során bemutatott témák – gömbhalmazok, cefeidák és más típusú pulzáló változócsillagok, foltos csillagok, flercsillagok, csillagkeletkezési régiók – és eredmények sokszínűsége is mutatja *Detre* életművének gazdag örökségét.

Ugyancsak a centenárium alkalmából emléktáblát avattak Szombathelyen, *Detre László* egykori középiskolájának falán, a Magyar Posta pedig emlékbélyeget bocsátott ki a jubileumra.

Sz. I.

TÁRSULATI HÍREK

Rónaszéki László
(1931–2006)

Rónaszéki László 2006. április 18-án tragikus hirtelenséggel elhunyt.

Elment. Hihetetlen, felfoghatatlan, hogy bekövetkezett. Amíg köztünk volt bármikor, bármilyen problémával hozzáfordulhattunk, mindig segített. Egész életét a fizika tanításának szentelte, az utolsó pillanatig aktívan dolgo-

„A lélek és az emlék örök, csak az halt meg, akit elfelejtenek.”

zott. Utolsó munkája egy kiadvány szerkesztése volt. Már tervezte a megyei levelezőverseny ünnepélyes díjkiosztóját is, amelyet végül nélküle, de Rá emlékezve rendeznek majd meg. Nagy úr maradt utána.

Valamennyi munkahelye Pest megyéhez kötötte. 1954–1967 között a sóskúti általános iskolában tanár,

igazgatóhelyettes, majd igazgató volt. 1968-tól az 1991-ben történt nyugdíjba vonulásáig az érdi Széchenyi István általános iskola tanára, valamint a Budai- és a Szentendrei Járásnak először szakfelügyelője, később szaktanácsadója, 1984-től Pest Megye vezető szaktanácsadója volt. 1990-től a 2003-ban jogutód nélkül megszűnt Pest Megyei Pedagógiai Intézet szaktanácsadója lett, 1996-tól országos fizika szakértőként szolgálta a fizikatanárokat.

Végigjárta az iskolai ranglétra szinte valamennyi fokát. Vezetőként szervezte és irányította különböző szintű munkaközösségek, kollektívák tevékenységét három új tanterv bevezetése és számtalan tankönyv, szemléltető eszköz használatba vétele előtt. Mint vezető szaktanácsadó a területi szaktanácsadóknak egy sor szempontot állított össze az iskolalátogatásokhoz. Javaslatai egységesebbé és a hatékonyabbá tették a szaktanácsadói tevékenységet.

1968-tól volt a TIT Pest Megyei Szervezetének tagja. Tanévenként 4–5 ismeretterjesztő előadást, kísérletező délutánt tartott. 1984-ben beválasztották az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Általános Iskolai Szakcsoportjának vezetőségébe. Öt cikluson keresztül állt a kollektíva élén, jó hatáskörrel szervezte az évente ismétlődő, szakmai tanácskozást helyettesítő fizikatanári ankétokat. Segítette, irányította a nagy tanári munkához és a szakmai megújul-



láshoz sok segítséget adó programok összeállítását, gyakorlati megvalósítását.

1990-ben – a tagság felhatalmazásával – négy tanár kollegiával összefogva lerakta az Öveges József Általános Iskolai Fizikaverseny országos döntője megszervezésének és lebonyolításának hosszú éveken át szilárd alapjait.

Tíz éven át vezette a Szervező Bizottság tevékenységét, jelentős szerepet vállalt a négyfordulós, 68 tanulóval először Tatán megtartott országos döntő létrejöttében. Az anyagi fedezet megteremtése mellett gondja volt a szakmai irányító, és a versenyszervező munkára is. Neve összefonódott az Öveges-versennyel. Élete egyik legfontosabb része volt a tehetséggondozás.

Színvonalas pedagógiai és társulati munkáját a szakma számtalan kitüntetés odaítélésével ismerte el. Közülük legrangosabb a Magyar Köztársaság Arany Érdemkeresztje (1993) és a Rácz Tanár Úr Életműdíj (2005).

Élete utolsó éveit sem a jól megérdemelt pihenéssel töltötte: elvállalta az ELFT Pest Megyei Területi Csoportjának elnökségét. Fáradhatatlanul dolgozott, szervezett, irányított, és még sok terve maradt megvalósítatlanul.

Szép, tartalmas életet élt.

Gyimesi Éva

ELFT Ált. Iskolai Szakcsoport
Pest Megyei Területi Csoport

HÍREK ITTHONRÓL

Megújult csillagász honlap

Számos új funkcióval, egyesületi hírekkel, valamint kibővült kép- és multimédia-galériával várja látogatóit a Magyar Csillagászati Egyesület új honlapja, a <http://www.mcse.hu/>

Egyesületünk – a hazai civil szervezetek körében az elsők között – 1995-ben indította el internetes oldalát. Az eltelt egy évtized alatt közel másfél millió látogatót vonzott, és fontos forrása lett az egyesületi és a csillagászati híreknek. Megkezdte működését egy online csillagászati jelenségnaptár, elindultak az azóta is népszerű tematikus csillagászati levelezőlisták, az elmúlt két évben pedig az előadások, találkozók internetes közvetítésének kialakításával szolgáltunk látogatóinknak.

Az egyesület alapításának 60. évfordulójára időzített új portállal számos célt tűztünk ki magunk elé. Egyrészt,

a korszerű internetes technológia segítségével szeretnénk a korábbinál is hatékonyabban szolgálni a csillagászati ismeretterjesztést; másrészt, lehetőséget biztosítunk a szak- és helyi csoportok tevékenységének, híreinek bemutatására, ezzel segítve munkájukat. A szélessávú eléréssel rendelkező látogatók figyelmébe ajánljuk az új, rendszeresen frissített Médiatárat, ahol már most is tíznél több csillagászati előadás hang- és videoanyaga érhető el.

A megújult képgaléria a nosztalgizálók számára újdonsággként a 80-as, 90-es évek távcsöves találkozóinak felvételeivel kedveskedik, de tartalmazza a március 29-i napfogyatkozás több száz hazai és külföldi felvételét, valamint az egyesület április 8-i közgyűlésének képeit is. Kellemes böngészést kívánunk!

Magyar Csillagászati Egyesület

Hargittai István: Az öt világformáló marslakó – könyvbemutató

A könyv az Oxford University Press által *The Martians of Science: Five Physicists Who Changed the Twentieth Century* címmel kiadott munka magyar változata. A most meg-

jelent könyvet április 28-án az MTA-n mutatta be Kroó Norbert akadémikus, az MTA alelnöke és Frank Tibor, a történettudomány doktora, egyetemi tanár.

DIGITÁLIS ADATTÁROLÁS – I.

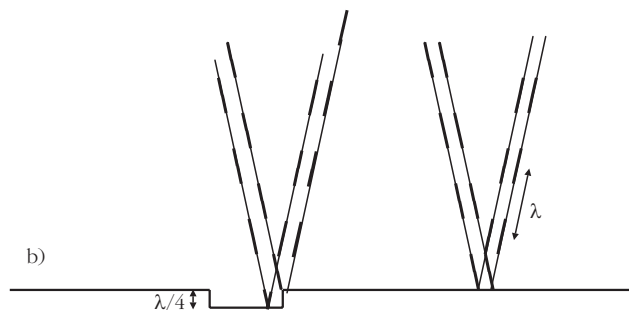
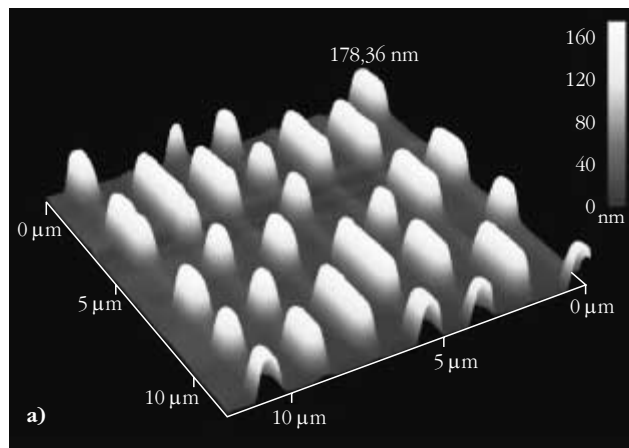
Forgó lemezek

Az információs technológia évtizedek óta tartó, szinte elképzelhetetlen ütemű folyamatos fejlődésének fontos részét jelenti az adathordozók tárolókapacitásának bővülése, sebességük növekedése. Ennek előnyeit áttekintően is érezzük. A szórakoztató-elektronikában dominálnak a CD-n vagy DVD-n rögzített műsorok, a digitális fényképezés kiszorította a hagyományos „nedves” képrögzítést, a mobiltelefonok adattárolási képességének fejlődése pedig egyre több funkció összevonását teszi lehetővé (fényképezés, internethasználat, MP3-lejátszás). A hitelkártyával való fizetés természetes mozdulata sem létezne a banki rendszerek hatalmas – és biztonságos – adatbázisai nélkül.

A most induló, háromrészes cikksorozatban csak röviden vázoljuk a legfontosabb adattárolók felépítését, de igyekszünk kiemelni egy-egy érdekes fizikai elvet, amelyek az eszközök működésénél felhasználásra kerülnek.

A „rovásírás” ősi módszerét testesíti meg a CD és a DVD. A technika fejlődését a jelek sűrűsége jelenti: az információt azok a mélyedések hordozzák, melyeket egy polikar-

1. ábra. a) Egy CD lemez $10 \times 10 \mu\text{m}$ -es részletének AFM (atomerő-mikroszkópos) felvétele. b) A gödör aljáról és tetejéről visszaverődő sugarak hullámhegyei és hullámvölgyei kioltják egymást (interferencia). Emiatt a gödör sötétnek látszik, míg a sima felületről a lézernyaláb változatlan intenzitással verődik vissza.

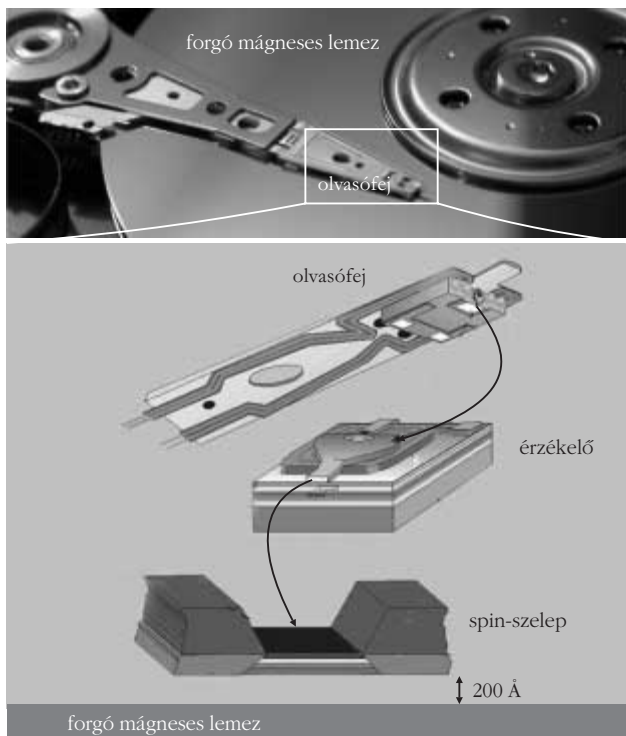


bonát-műanyag lemez felületére egy spirálvonal mentén alakítanak ki a lemez öntése során (1. ábra). Egy DVD-ben a lyukak $0,4 \mu\text{m}$ széles és ugyanilyen rövid, vagy hosszabb, $1 \mu\text{m}$ -es alakzatot formáznak (0 és 1 bit). A spirálvonalak távolsága $0,75 \mu\text{m}$, így egy kommersz 4,7 GB-os DVD-n a spirál teljes hossza 12 km. Az adatok kiolvasása a forgó lemezről lézerténnel történik. Most jön a fizika! A lemez felületét egy nagyon vékony (100 \AA) alumíniumréteggel borítják. Az alumínium jó fényvisszaverő, s bár emiatt várhatnánk, hogy a közel merőlegesen beeső lézersugár mindenhol egyformán tükröződik, ez nem így történik. A gödrök mélysége ugyanis úgy van kialakítva, hogy megegyezzen a lézer hullámhosszának $1/4$ részével. A fény hullámtermészete nyilvánul meg abban, hogy a gödör aljáról és a felső felületről visszavert hullám kioltja egymást (az útkülönbség éppen a hullámhossz fele). Emiatt a gödrök feketének látszanak (1.b ábra). A forgó lemezről visszavert lézersugárban a gödör hosszának megfelelően rövid és hosszú kioltások váltakoznak, így olvasható ki a felületre rögzített információ.

Az írható lemezek felülete csak a lézerténnel megvezetését biztosító spirálvonalat tartalmazza, gödrök nélkül. A lemezre egy olyan lakkreteget visznek fel, amelyet az íráshoz használt, nagyobb teljesítményű lézer fénye a megvilágított ponton felmelegít, és megszünteti átláthatóságát. Az így kialakított pontok hordozzák az információt, amelyet az író-lézernél sokkal kisebb teljesítményű olvasó-lézernel detektálnak.

Az újírható lemezek az adatok törlését is meg kell oldani. Ehhez még egyelőre több lézerténnel, és egy olyan speciális tulajdonságú rétegre van szükség, amelyben gödröket lehet kialakítani és szükség esetén törölni. Az ehhez használt anyag egy réz-indium-antimon-tellúr ötvözet, melynek $600 \text{ }^\circ\text{C}$ -ról történő gyors lehűlésekor egy nagyobb sűrűségű, amorf szerkezet alakul ki. A nagy teljesítményű lézerténnel megvilágított ponton a lehűlés után egy mélyedés alakul ki (a rétegvastagság alkalmas választása esetén ennek mélysége az olvasó-lézer hullámhosszának körülbelül negyede). Törléskor egy közepes teljesítményű lézerténnel az ötvözetet mintegy $200 \text{ }^\circ\text{C}$ -ra melegíti fel, ahonnan lehűlve az anyag az eredeti sűrűségű kristályos szerkezetet vesz fel. Ez utóbbi folyamat persze lejátszódhat egy napsütésnek kitett lemezen vagy a kandalló párkányán felejtett példányon is, ezért a folyamatot ismerő fizikusok az újírható lemezeket kisebb lelkesedéssel használják.

A mágneses merevlemez (winchester) a DVD-hez hasonlóan egy forgó lemez, a kiolvasás sebessége viszont közel százszor nagyobb. A tipikus számítógépes tevékenységnél – „homokóra” nézése – már egy kettes faktort is jelentősnek érzünk, a több nagyságrendnyi különbség így mindenképpen értékelendő. A nagy sebes-



2. ábra. A merevlemez olvasófejének szerkezete. Az érzékelő „spin-szelep” az alatta 300 km/óra sebességgel haladó felület felett 200 Å távolságra helyezkedik el.

ség az elektronikus kiolvasás következménye, nincs szükség lézerekre, speciális optikákra.

A merevlemezen az adatok tárolása mágneses jelek formájában történik. Azok a μm alatti méretű tartományok, melyek mágneszettségi iránya a 0 és 1 biteknek felel meg, szintén egy spirál mentén helyezkednek el. Az adatok írása (törlése és újrainírása) a forgó lemezhez közel helyezett mikrométeres tekerics segítségével történik, az áram iránya határozza meg a lemez anyagának felmágnesezését. A mágneses lemezen tárolható hatalmas adattömeg gyors kiolvasását az olvasófejben alkalmazott „spin-szelep” biztosítja, ez teszi a 2. ábrán szétszedett állapotban mutatott merevlemez olvasót (HDD) a jelenleg létező legnagyobb teljesítményű adattároló eszközzé.

Érdeemes közelebről megvizsgálni a két mágneses rétegből kialakított spin-szelep működését (3.a ábra). A könnyen mágnesezhető réteg érzékeli a lemez mágneses terét, és ahogyan az alatta forgó spirálszakaszon váltakozik a mágnesezés iránya, ugyanúgy billeg a mágneszettsége. A spin-szelep billegő mágneszettségű rétege egy rögzített mágneszettségű réteg alatt helyezkedik el. Egy ilyen elrendezés elektromos ellenállása függ attól, hogy a két réteg egyformán, vagy ellentétesen van mágnesezve, így egyszerű ellenállásméréssel lehet a billegő mágnes jelét detektálni. Ez teszi lehetővé, hogy 1 bit kiolvasása néhány nanomásodperc ($1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$) alatt megtörténjen.

A spin-szelep működéséhez feltétlenül meg kell akadályozni, hogy a két réteg együtt billegjen, jóllehet közel azonos teret éreznek, ráadásul a billenő réteg is szeretné a saját irányába fordítani a másik réteget. A mágnesség mikroszkopikus elméletéig és a mágneses jelenségek kvantummechanikai megértéséig nyúlik vissza az a megoldás,

ahogy a „nem-billegő” réteg mágneszettségét rögzítik. A 3.b ábra szemlélteti a megoldást: a rögzítést egy antiferromágneses anyag szélső mágneses atomrétegéhez történő, atomi pontosságú illesztés biztosítja. Az antiferromágnesben a rétegek mágneszettségének iránya váltakozik, kifelé az anyag nem is tűnik mágnesesnek. Atomjai azonban mágnesesek, ráadásul mágneses kölcsönhatásuk nem a szokásos klasszikus dipólkölcsönhatás (mint pl. iránytűk között), hanem annál tízezerszer erősebb. Ezek az erők – az atomok megválasztásától függően – az atomsorok mágnességének ellentétes (antiferromágneses), illetve egyező (ferromágneses) rendeződését is előidézhetik. Napjaink csúcstechnológiai megoldásai teszik lehetővé a 3.b ábra atomrétegeinek megvalósítását, amikor is atomsor pontossággal cserélődik fel az antiferromágneses és ferromágneses kölcsönhatás a két anyag rétegei között.

Végül nézzünk meg egy, a merevlemez-olvasóban alkalmazott klasszikus fizikai megoldást is, ami a lemez forgásához kapcsolódik. Könnyű kiszámolni, hogy csak akkor tudjuk a néhány tized μm távolságra lévő biteket néhány ns alatt kiolvasni, ha az olvasófej alatt a lemez $\approx 10^{-7} \text{m}/10^{-9} \text{ s}$, azaz körülbelül 300 km/óra sebességgel halad el. És ez valóban így van! Felvetődik a kérdés, hogy ilyen sebességek mellett milyen szabályozó-rendszerrel lehet biztosítani azt, hogy az olvasófej néhányszor 10 Å pontossággal, mintegy 200 Å távolságra helyezkedjen el a lemez felett? (Az arányokat tekintve: ha egy 2,5"-es notebooklemez sugarát a Föld sugarára nagyítjuk, a fenti kíváncságot annak felelné meg, hogy egy repülőgép a Föld felszínét 2 méter magasan, 10 cm pontossággal kövesse!) A megoldás nem egy bonyolult szabályozó-rendszer, hanem áramlástan: az olvasófej alakja van úgy kialakítva, hogy a nagy sebességnél keletkező légpárna a rugalmas olvasókart a kellő magasságba emelje, majd az áramláskor keletkező erők stabilan ott tartásuk.

A terület olyan gyorsan fejlődik, hogy csak gyakran frissített anyagokat érdemes olvasni róla. A magyar nyelvet kedvelőknek a <http://hu.wikipedia.org/> cím ajánlható. (Nem azonos az angol Wikipedia fordításával!)

Az alábbi címen igen sok angol nyelvű információ található: <http://electronics.howstuffworks.com/> és <http://en.wikipedia.org/wiki/>

Mibály György
BME, TTK, Fizikai Intézet

3. ábra. a) A spin-szelepen mért elektromos ellenállás értéke a billegő és a rögzített réteg mágneszettségének egymáshoz képesti irányától függ. A rétegek vastagsága néhány tized mikrométer. b) A felső ferromágnes mágneszési irányát a felette elhelyezkedő antiferromágneses réteg felületének utolsó atomrétege rögzíti.

