

# fizikai szemle



2006/6

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

Szerkesztő:

Tóth Kálmán

Műszaki szerkesztő:

Kármán Tamás

A folyóirat e-mailcíme:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>

A címlapon:

A huszadik század legérdekesebb  
archeológiai leletei között tartják  
számon a qumrani (Izrael) barlangok  
mélyéről előkerült, közel 800 szöveget,  
szövegtöredéket tartalmazó *Holt-tengeri  
tekerceket*. Ezeknek az állatbőrre írt  
szövegeknek a hiteles kormeghatározása  
is a C-14 módszerrel történt.  
A címlap a majdnem teljesen épségben  
maradt Ézsaiás-tekercs (a Kr. előtti  
2. századból) egy részletét ábrázolja.

## TARTALOM

<i>Molnár Mibály</i> : A szén és az idő: radiokarbon kormeghatározás	181
<i>Pozsgai Imre</i> : Mikroszkópia és lokális analízis	185
<i>Márk Géza István</i> : Egy hullámcsomag kalandjai az alagútmikroszkópban	190

### A FIZIKA TANÍTÁSA

<i>Simon Péter</i> : Három, tömegközépponttal kapcsolatos probléma	195
<i>Molnár Miklós, Farkas Zsuzsa</i> : Optikai mérések compact disc-kel	197
Kovács Mihály, a piarista tanár, 1916–2006 ( <i>Görbe László</i> )	200
<i>Vida József</i> : Természettudományos varázstorony Egerben	202

### VÉLEMÉNYEK

<i>Tóth András</i> : A kétszintű érettségi és az új felvételi rendszer egy műegyetemi oktató szemével	206
---	-----

### PÁLYÁZATOK

HÍREK – ESEMÉNYEK	194, 209
-------------------	----------

### KÖNYVESPOLC

MINDENTUDÁS AZ ISKOLÁBAN	215
--------------------------	-----

Kvantuminformáció ( <i>Geszti Tamás</i> )	216
---	-----

*M. Molnár*: Carbon and time: <sup>14</sup>C dating

*I. Pozsgai*: Microscopy and local analysis

*G.I. Márk*: A wave packet's adventures in the tunnel microscope

### TEACHING PHYSICS

*P. Simon*: Three problems concerning centre of mass

*M. Molnár, Zs. Farkas*: Optical measurements with CDs

M. Kovács (1916–2006), physics professor in the Piarists' gymnasium (*L. Görbe*)

*J. Vida*: "Magic Tower": a new scientific play facility in the Lyceum of Eger (N. Hungary)

### OPINIONS

*A. Tóth*: The two-level final examination system at Hungarian secondary schools and the new admission rules as viewed by a Technical University professor

### TENDERS, EVENTS, BOOKS

### SCIENCE IN BITS FOR THE SCHOOL

Quantum information (*T. Geszti*)

*M. Molnár*: Kohlenstoff und Zeit: <sup>14</sup>C-Altersbestimmungen

*I. Pozsgai*: Mikroszkopie und lokale Analyse

*G.I. Márk*: Abenteuer einer Wellengruppe im Tunnel-Mikroskop

### PHYSIKUNTERRICHT

*P. Simon*: Drei Aufgaben über Schwerpunkte

*M. Molnár, Zs. Farkas*: Optische Messungen mit CD

M. Kovács (1916–2006), Physiklehrer am Piaristengymnasium (*L. Görbe*)

*J. Vida*: „Zauberturm“: ein neuer Platz für naturwissenschaftliche Spielereien am Lyceum von Eger (N-Ungarn)

### MEINUNGSÄUSSERUNGEN

*A. Tóth*: Ein Professor an der Technischen Universität über das zweistufige Reifeprüfungssystem ungarischer Mittelschulen und das neue Aufnahme-Reglement

### AUSSCHREIBUNGEN, EREIGNISSE, BÜCHER

### WISSENSWERTES FÜR DIE SCHULE

Quanten-Information (*T. Geszti*)

*M. Мольнар*: Уголь и время: <sup>14</sup>C-метод определения возраста

*И. Пожгаи*: Микроскопия и локальный анализ

*Г.И. Марк*: Приключения волновой группы в туннельном микроскопе

### ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

*И. Шимон*: Три задачи по центру масс

*M. Мольнар, Ж. Фаркаш*: Оптические измерения с помощью CD

M. Kovács (1916–2006), учитель физики в гимназии ордена Пиаристов (*Л. Гёрбе*)

*И. Вида*: Волшебная башня – новая лаборатория научных игр при Лицеумом города Эгер (С. Венгрия)

### ЛИЧНЫЕ МНЕНИЯ

*A. Тотт*: Двух-уровневый аттестат зрелости венгерских средних школ и новая система принятия студентов. Обсуждение профессором на Техническом ВУЗ-е

### ОБЪЯВЛЕНИЯ-КОНКУРСЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ, КНИГИ

### НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ ДЛЯ ШКОЛ

Квантовая информация (*T. Geszti*)

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

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

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

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

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

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

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

HU ISSN 0015-3257

# Fizikai Szemle

## MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

LVI. évfolyam

6. szám

2006. június

## A SZÉN ÉS AZ IDŐ: RADIOKARBON KORMEGHATÁROZÁS

Molnár Mihály

MTA ATOMKI, Környezetanalitikai Laboratórium

A radioaktivitás felfedezése új fejezetet nyitott a fizikai kormeghatározási módszerek történetében. Egy évtizeddel a természetes radioaktivitás felfedezése után, 1906-ban *Rutherford* rámutatott, hogy a kőzetekben lévő radioaktív atommagok bomlása felhasználható a kőzetek kialakulása óta eltelt idő, a földtani kor meghatározására. A radioaktivitás csökkenésének mérésén alapuló időmérés alapja a radioaktív bomlás törvénye, amely szerint zárt rendszerben a minta adott izotópjának radioaktivitása ( $A$ ) az idővel folyamatosan csökken úgy, hogy a csökkenés arányának természetes logaritmus a egyenesen arányos az eltelt idővel ( $\Delta t$ ) az adott izotópra jellemző bomlásállandó ( $\lambda$ ) mellett:

$$\Delta t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{A_{\text{kezdő}}}{A_{\text{végső}}}$$

Szerencsénknak tekinthetjük, hogy a földi élet szempontjából egyik legjelentősebb elem, a szén 14-es tömegszámú radioaktív izotópjá ( $^{14}\text{C}$ , más néven *radiokarbon*) egyáltalán jelen van a Földön. Természetes termelődésének oka a kozmikus sugárzás kölcsönhatása a Föld légkörével. A módszer hasznosításához szerencsés körülmény az is, hogy a béta-bomló radiokarbon felezési ideje 5730 év, ezért alkalmas az emberi léptékű történelem vizsgálatára. Annak felismerése, hogy – megint csak szerencsés módon – számos esetben teljesül a szénre biológiai-, hidrológiai- és geológiai környezetben minden olyan további kritérium, amely a radiokarbon mérésén alapuló időméréshez (kormeghatározáshoz) szükséges, olyan horderejű volt, hogy a módszer kidolgozásáért 1960-ban *Willard Frank Libby* (1908–1980) kémiai Nobel-díjat kapott.

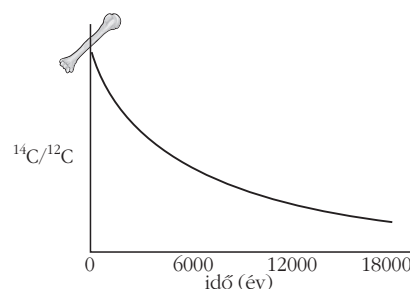
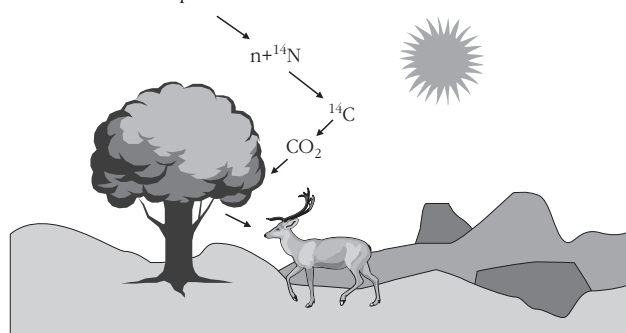
### Óra indul

A kozmikus sugárzás által termelt neutronok – ütközések során lelassulva – a légkör  $^{14}\text{N}$  atomjaival kölcsönhatásba lépnek, és a  $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$  magreakció révén folyamatosan

képződik radiokarbon a Föld felső légkörében. Mivel a kozmikus sugárzás intenzitása közel állandó, és a Föld korához képest a radiokarbon felezési ideje rövid, a kozmikus hatásra keletkező (azaz *kozmozgén*)  $^{14}\text{C}$  radioaktív egyensúlyi állapotban van, mennyisége közel állandó (kb. 51 tonna) a Földön. Ez az egyensúlyi izotóparány a stabil 12-es tömegszámú szénre vonatkoztatva rendkívül kicsi érték,  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C} = 1,17 \cdot 10^{-12}$ . A Földön megtalálható  $^{14}\text{C}$ -tartalom részévé vált a földi szén ciklusnak, és egyensúlyi-kicserélődési folyamatok révén megoszlik a hidroszféra, a bioszféra, illetve az atmoszféra között.

A közel állandó mennyiségű légköri radiokarbon az oxidatív földi légkörben szén-dioxidá alakul, és „nyomjelzi” a légköri szén-dioxidot, amelynek aktivitása így

1. ábra. A radiokarbon kormeghatározás alapja a kozmozgén eredetű radioaktív  $^{14}\text{C}$ -izotóp.





szintén állandó. A  $^{14}\text{CO}_2$  a nem radioaktív szén-dioxid molekulákhoz hasonlóan fotoszintézissel beépül a növényekbe, melyeken keresztül az egész élővilág biológiai szénében jelen van. Az anyagcsere-folyamatok során a radiokarbon is folyamatosan beépül és távozik az élőlényekből. Az élőlények szénére jellemző biológiai felezési idő – amely alatt az élőlényt alkotó szerves vegyületek fele kicserélődik – néhány év, ami rövid idő a radiokarbon felezési idejéhez képest. Így, amíg élnek, az élőlények biológiai szénének fajlagos aktivitása folyamatosan követi az atmoszférikus szén fajlagos radiokarbon aktivitását, azaz értéke közel állandó  $\sim 13,6$  bomlás percnként 1 gramm az élő szervezetben található, biológiai szénre vonatkoztatva.

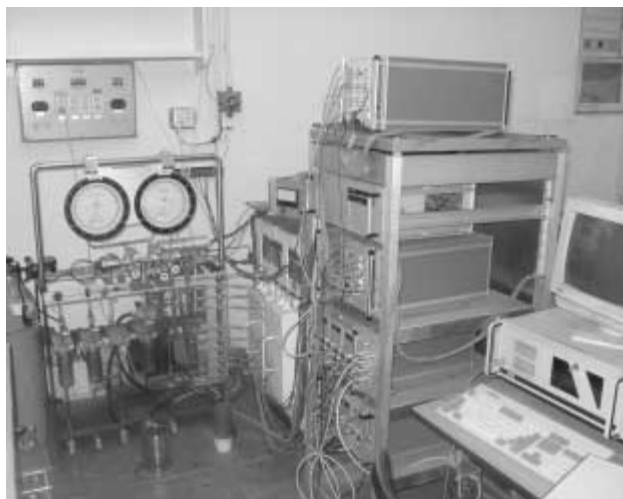
Az anyagcsere folyamat megszűnte után (halál) további  $^{14}\text{C}$  beépítésére nincs lehetőség, ezért a biológiai szén  $^{14}\text{C}$  koncentrációja a felezési időnek megfelelően exponenciálisan csökken. Az elhalt élőlény maradványaiban biológiai formában kötött szén a légköri szénből radiokarbondat tovább nem vesz fel, így ettől a pillanattól a  $^{14}\text{C}$ -re nézve zártnak tekinthető. A kezdeti  $^{14}\text{C}$ -aktivitás, amely az anyagcsere megszűntekor jelen van az adott szervezetben, ilyen módon ismertnek tekinthető (1. ábra).

## Az idő leolvasása

Ismerve az élő anyag széntartalmának fajlagos  $^{14}\text{C}$ -radioaktivitását, majd megmérve a belőle származó leletnek a jelenlegi fajlagos  $^{14}\text{C}$ -aktivitását, a radioaktív bomlástörvény alapján kiszámítható az életfolyamatok megszűnése óta eltelt idő, azaz a lelet kora. A módszer ennek megfelelően abszolút kormeghatározási módszer, amely a kor megadásához ideális esetben nem igényel semmilyen kiegészítő információt a mért mintával kapcsolatban.

A lelet  $^{14}\text{C}$ -tartalmának mérésére több lehetőség kínálkozik: használhatunk hagyományos aktivitásmérésen alapuló technikákat (folyadékszcintillációs vagy gáztöltésű proporcionális számlálók), vagy mérni lehet közvetlenül a  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  izotóparányt speciálisan erre a célra kifejlesztett tömegspektrométerrel.

A radioaktív bomlásnál nem tudjuk, hogy adott pillanatban melyik atommag bomlik el, csak például azt, hogy mennyi idő szükséges ahhoz, hogy az atommagok fele elbomoljon. A  $^{14}\text{C}$  esetében ez a felezési idő 5730 év: ha tehát 1 g modern szénben percnként átlagosan 13,6 atommag bomlik el, akkor egy 5730 éve elhalt szerves anyag 1 g szénében ma percnként már csak 6,8 bomlás az átlag. Az aktivitásmérésen alapuló technikák ezeket az eseményeket számolják. Itt a mérés pontossága a leszámolt események számától függ: 100 000 beütésszám esetén lesz a statisztikus hiba a kormeghatározáshoz elfogadható, azaz kisebb, mint 0,3%. Vagyis egy 5700 éves lelet 1 g szénét körülbelül 240 órán, azaz 10 napon át kell mérni a 0,3% pontosság eléréséhez. A hosszú mérésidő, amely általában a mért minta mennyiségének növelésével némileg csökkenthető, rendkívül stabil mérőberendezéseket igényel. Ugyanakkor gondoskodni



2. ábra. Gáztöltésű proporcionális számláló  $^{14}\text{C}$  korméréshez a debreceni ATOMKI-ban.

kell arról is, hogy csak a mintából származó beütéseket vegyük számításba, azaz a külső sugárzásból eredő impulzusokat kiszűrjük. E célból alacsony hátterű mérőhelyet, azaz megfelelő árnyékolást (földalatti laboratórium, ólom- és paraffin-burkolat) és védő-számlálókat alkalmaznak. Ilyen berendezés működik jelenleg például az MTA Atommagkutató Intézetében is, Debrecenben (2. ábra).

A  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  izotóparány direkt mérése egyszerű tömegspektrométerrel nem valósítható meg, a több mint 12 nagyságrenddel eltérő arány és a  $^{14}\text{C}$ -hez hasonló tömegű, de annál sokkal gyakoribb más izotópok és molekulák zavaró jelenléte miatt (pl.  $^{14}\text{N}$  vagy  $\text{CH}_2$  töredék molekula). Speciális, negatívion-forrást használva és több tömegspektrométert magfizikai gyorsítóval kombinálva (angolul Accelerator Mass Spectrometry, AMS) mára lehetővé vált a  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  izotóparány direkt mérése, tehát megmérhető, hogy a mintában hány  $^{12}\text{C}$  atomra jut egy  $^{14}\text{C}$  atom. A módszer nagy előnye, hogy ezerszer kisebb mintamennyiséget igényel, mint a fenti hagyományos béta-számlálási technika és a mérés néhány perc alatt elvégezhető. A szükséges berendezés bonyolult és drága, de egyre elterjedtebb (3. ábra).

Az alkalmazott módszertől függetlenül körülbelül tíz felezési idő, tehát maximum 60 ezer év, az az idő, mely elteltével még mérhető mennyiségű  $^{14}\text{C}$  marad egy leletben.

3. ábra. Kompakt AMS-rendszer a svájci PSI Intézetben.



Ez azt jelenti, hogy  $2^{10}$ -ed (1/1024) részére csökken az eredeti  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  arány, illetve a  $^{14}\text{C}$ -aktivitás a mintában. Ez a radiokarbon kormeghatározás jelenlegi felső korlátja.

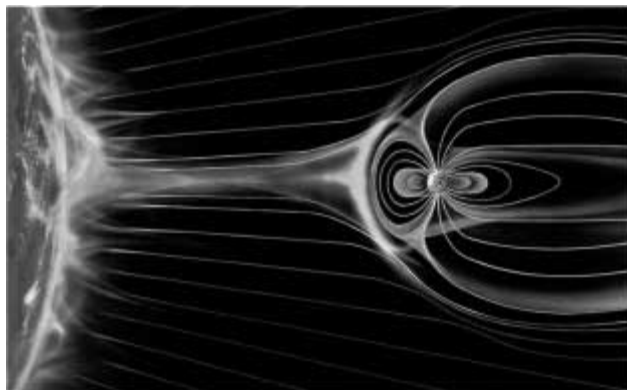
## Használhatóság

Gyakorlatilag szinte minden olyan anyag kora meghatározható, amely biológiai eredetű szén-tartalmat tartalmaz. Dátumozható a fa, faszén-maradványok, magvak, levél, vázszon, tőzeg, humusz, csont, szarv, haj, kagyló, csiga és a talajok is. Mivel szintén légköri szén-tartalmat tartalmaz, a radiokarbon módszerrel datálható még: a karbonátos üledék, cseppkő, vízben oldott szerves és szervetlen szén és akár a jég is. Általában nem dátumozható, mivel nem ad reális kort, például a vakolat, habarcs, kerámiában maradt szerves anyag. Különleges technikát igényel festmények, barlangrajzok, vaseszközökben lévő szén dátumozása. A módszernek nagy jelentősége van a geológiában, a régészetben és a hidrológiában.

A kis aktivitások mérése hosszú számlálási időt igényel, ezért a néhány napsónál nem hosszabb mérési időkhöz a mintában legalább 2 g szénre van szükség. Az AMS-technikát alkalmazva a méréshez néhány mg szén elegendő mintánként. A mérés elvégzéséhez szükséges mintamennyiséget a mérési módszeren kívül befolyásolja még a minta széntartalma, a szerves anyag állapota és az esetleges szennyezők mennyisége is.

Bármelyik méréstechnikát is alkalmazzuk, a minta széntartalmát általában szén-dioxiddá szokás alakítani. Ehhez a különböző anyagok eltérő kezelést igényelnek: növények, növényi maradványok, tőzeg, fa, faszén tisztítás és szárítás után elégethetők, a csontból ki kell vonni a kollagént, beszárítani, majd elégetni, míg karbonátokból savas feltárással szabadítható fel a  $\text{CO}_2$ . A keletkezett szén-dioxid gázt minden egyéb szennyezőtől gondosan meg kell tisztítani. A nagy tisztaságú gáz akár  $\text{CO}_2$  formában, akár metánná konvertálva proporcionális gázszámlálóba tölthető és aktivitása mérhető. Ha a szén-dioxidot benzollá szintetizáljuk, aktivitása folyadékszcintillációs számlálóval is meghatározható. AMS-mérésekhez a szén-dioxidból redukcióval általában szilárd grafitcélványt készítenek, de nem ritka ma már a közvetlenül szén-dioxid gázból történő AMS  $^{14}\text{C}$  mérés sem.

4. ábra. A Nap és a geomágneses mező befolyásolja a légkört érő kozmikus sugárzást.



## Pontosság

A régészeti és környezeti minták radiokarbon-aktivitása nagyon kicsi, ezért nem abszolút értékben, hanem egy standardhoz viszonyítva szokás mérni és megadni azt. A nemzetközileg elfogadott referenciaérték a radiokarbon koradatokhoz az NBS oxálsav standard 1950. évi  $^{14}\text{C}$  aktivitásának 95%-a. Az oxálsav standard  $^{14}\text{C}$  aktivitása is változik az idővel, de a fenti definícióval megadott érték változatlan. A minta mért aktivitását ehhez a nemzetközi standard aktivitáshoz viszonyítják mindenhol a világon, és megegyezés szerint egységesen szintén 1950-re vonatkoztatva adják meg a különböző laboratóriumokban különböző időben végzett mérések összehasonlíthatósága érdekében. Ilyen módon az 1950-es évet jelölték ki a „radiokarbon-időszámítás” kezdetének, ehhez képest adják meg az úgynevezett *konvencionális radiokarbon kort*. Ismert továbbá, hogy az eltérő fizikai, kémiai és biológiai folyamatokban az egyes elemek különböző izotópjai kissé eltérő módon viselkednek (*izotópfractionáció*). Az izotópfractionáció miatti  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  arányváltozást az egyes mintákban a két gyakoribb és stabil szénizotóp arányának, a  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  aránynak (jele:  $\delta^{13}\text{C}$ ) mérésével becsülik, és a konvencionális radiokarbon kort ezzel a korrekcióval adják meg. Bármely módon mérjük is a  $^{14}\text{C}$ -aktivitást a mintában, a konvencionális radiokarbon kor csak meghatározott bizonytalansággal állapítható meg, mely tartalmazza a műszeres mérések és alkalmazott korrekciók hibáját és bizonytalanságát.

A radiokarbon kormeghatározás műszeres hibáján túlmenően azonban számolnunk kell további bizonytalansági tényezőkkel is. Az eltelt idő számításához használt radioaktív bomlás törvényében szerepel a  $^{14}\text{C}$  izotópra jellemző bomlásállandó is, melyet fizikai mérések segítségével egyre pontosabban határoznak meg. Kezdetben a módszer kidolgozói még 5580 éves felezési idővel számolták a radiokarbon korokat, ma már, a folyamatos kutatások eredményeként, a  $^{14}\text{C}$  izotóp felezési idejét  $5730 \pm 40$  évnek fogadjuk el. A légköri szén-dioxid fajlagos  $^{14}\text{C}$ -aktivitásának állandósága is csak közelítőleg fogadható el, mivel számos folyamat, például a légkör  $\text{CO}_2$ -tartalmának változása, vagy a kozmikus sugárzás légkörrel való kölcsönhatását befolyásoló tényezők biztosan befolyásolják azt (a Napfolt-tevékenység, a Föld mágneses terének időbeni változásai) (4. ábra).

Köztudott, hogy a klimatikus viszonyok globális hatása befolyásolja az atmoszférának és a legjelentősebb  $\text{CO}_2$ -puffernek, az óceánoknak az egyensúlyi-kicserélődési folyamatait, így a földi klímával együtt változhat a megoszlatási arány a légköri és az óceánokban tárolt  $^{14}\text{C}$ -mennyiség között. Ma már tudjuk, hogy a kezdeti  $^{14}\text{C}$ -aktivitás bizonytalanságát tovább növeli, hogy a radiokarbon légköri eloszlása nem teljesen homogén a Föld atmoszférájában, azaz különbség van az egyidős déli féltekén és északi féltekén formálódott biológiai szén  $^{14}\text{C}$ -aktivitásában. A tudomány előrehaladásával az egyes módosító és korrekcióba veendő tényezők sora nyilvánvalóan tovább bővül, amely végül is egyre hitelesebb kormeghatározáshoz vezet.

A rendkívül komplex és sokszor csak kevéssé vagy talán még egyáltalán nem ismert módosító hatások szá-



5. ábra. Több ezer éves öreg fák évgyűrűit használták a kalibrációhoz.

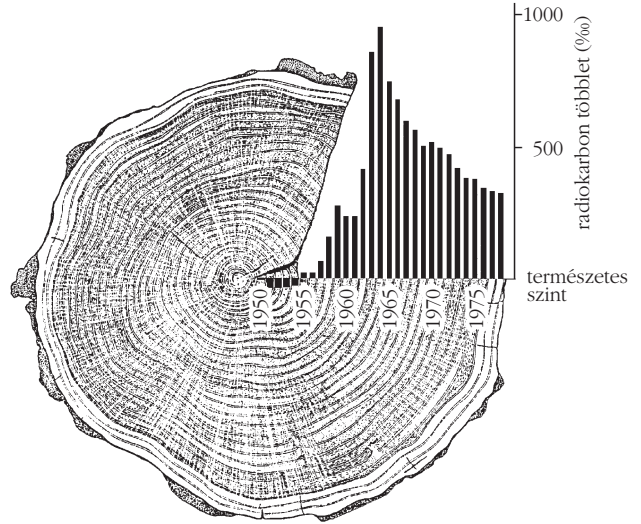
mításokkal történő korrekciója a naptári kor megadásánál igen nehézkes feladat lenne. A konvencionális radiokarbon korok kalibrálásához ezért empirikus módszert használnak. Független módszerrel megállapított, ismert naptári korú széntartalmú minták konvencionális radiokarbon korát mérik és ezek felhasználásával mérési eredményeken alapuló kalibrációs adatbázist fejlesztenek folyamatosan a világ vezető radiokarbon laboratóriumai. A kalibrációs görbe kísérleti felvételéhez független kor meghatározási módszerként a faévgűrűk számlálásának módszerét (egészen 11 ezer éves öreg fáig visszamenően!), illetve az U/Th kormeghatározási módszert használják fel (korallak és cseppkövek korának mérése eddig egészen 22 ezer évig visszamenően) (5. ábra).

A konvencionális radiokarbon kort ezek után is minden esetben meg szokás adni, mint tisztán csak a műszeres fizikai mérés hibáját tartalmazó eredményt, de ezeket bármikor az ingyenesen hozzáférhető kalibrációs adatbázisokkal/softverekkel kalibrálni lehet és ennek eredményeként a konvencionális radiokarbon korból előáll a tudomány jelenlegi állása szerinti legpontosabb kalibrált naptári kor.

## Emberi dolog

A radiokarbon kormeghatározás alkalmazása során sem hagyhatjuk figyelmen kívül az emberi tényezőt. A módszer igen csábító tulajdonsága az abszolút jelleg, azaz, hogy minden pótlólagos információ nélkül is mérhetünk kort egy adott mintából. Súlyos hibákhoz vezethet azonban a  $^{14}\text{C}$  kormeghatározási módszer eredményének feltétel nélküli elfogadása, amely nem veszi figyelembe, hogy például már a mintavétel reprezentativitása sok esetben csak nagyon nehezen biztosítható, különös tekintettel az igen kis mintamennyiségeket igénylő AMS-mérések esetén. Továbbá a minták nem megfelelő kezelése könnyen olyan szénzennyezést keverhet a mintába, amely azzal nem egykorú, és amelynek látszólagos fiatalító vagy öregítő hatása a mérés során már nem szűrhető ki.

Az emberi hatás másik jellege globális skálán jelentkezik. Az ipari forradalom óta a technika fejlődéséhez szükséges egyre növekvő energiaigényt jórészt fosszilis tüzelőanyagok elégetésével állítják elő. Mivel a fosszilis tüzelőanyagok alapjául szolgáló szerves anyagok sok százezer



6. ábra. Az atombomba-csúcs egy 1945-ben ültetett és 1980-ban kivágott fa évgyűrűiben.

vagy millió éve kizáródtak a biológiai szenciklusból, a föld alatt bennük a kozmogén radiokarbon nem pótlódott, így mára inaktív,  $^{14}\text{C}$ -mentes szenet tartalmaznak. Az inaktív szén a tüzelőanyagok égetése során a légköri szénhez keveredik, s így hígítja annak  $^{14}\text{C}$ -tartalmát. Ezzel a hatással ellentétes folyamat, hogy a nukleáris technika fejlődésével nemcsak a  $^{14}\text{C}$  kor mérése, hanem a  $^{14}\text{C}$ -izotóp mesterséges előállítása is megvalósult. A légköri nukleáris fegyverkísérletekkel a 20. század közepén néhány évre a légkör természetes  $^{14}\text{C}$  koncentrációját az emberiség globális szinten a duplájára emelte. Ez a szignifikáns csúcs ( $^{14}\text{C}$  atombomba-csúcs) minden abban az időben képződött légköri szenet tartalmazó anyagban markánsan jelen van, mint például az 1961-es évet jelző éles csúcs (6. ábra).

A hirtelen megemelkedett légköri  $^{14}\text{C}$ -tartalom az atomcsend egyezményt, illetve annak betartását követően exponenciálisan csökkenni kezdett az óceánokba történt kimosódás következtében. Mára már csak az atomerőművekben termelődött antropogén  $^{14}\text{C}$ -nek a légköri fegyverkísérleteknél jóval szerényebb, még regionális szinten is alig kimutatható hatásával kell számolnunk.

Az emberi hatások sok esetben zavarhatják a fiatal minták klasszikus radiokarbon kormeghatározását, viszont a fosszilis tüzelőanyagok légköri  $^{14}\text{C}$ -et hígító hatásának pontos és folyamatos mérése egyedülálló lehetőséget is biztosít annak a vitatott kérdésnek a vizsgálatára, hogy honnan eredhet az üvegházhatású szén-dioxid gáz koncentrációjának drasztikus emelkedése a légkörben. Az atombomba-csúcs és annak jellegzetes, gyorsan csökkenő jele kiválóan használható továbbá arra, hogy az ebben az időszakban képződött minták szenének fajlagos  $^{14}\text{C}$ -aktivitását a gyors változások miatt akár éves pontossággal is elhelyezhessük a naptári skálán. Ezzel egy, nem a radioaktív bomláson, hanem az ebben az időszakban a légköri  $^{14}\text{C}$ -koncentráció gyors változásán alapuló, akár éves pontosságú, radiokarbon datálási módszert kapunk, szép példáját adva mindezekkel annak a tudományos szemléletnek, mely egy-egy problémát nem akadálynak, hanem kihívásnak és lehetőségnek tekint, s a módszer esetleges fogyatékosságaiból képes akár erényt is kovácsolni.

A lézerek elterjedésének köszönhetően a fénymikroszkópia jelentős fejlődésen ment keresztül az elmúlt három–négy évtizedben. Ezzel párhuzamosan, a fénymikroszkópiától függetlenül, az alagút-elektronmikroszkópia és több tűszondás mikroszkópiái ág is kifejlődött. Megtört az elektronmikroszkópia addigi vezető szerepe, a fény-, az elektron- és a tűszondás mikroszkópia egyenrangú partnerekké váltak. Az elektronmikroszkópiái konferenciák mikroszkópiái konferenciákká, az elektronmikroszkópiái társulatok mikroszkópiái társulattá alakultak, elhagyva az addig erősen hangsúlyozott elektron szót. Az elektronmikroszkóposok kezdetől fogva törekedtek lokális analitikai módszerek kifejlesztésére attól az alapvető kíváncsiságtól motiválva, hogy ha valamit látunk, akkor azt is tudni akarjuk, hogy az a valami milyen anyagból van. Ezért a különböző mikroszkópiák „szövetséget kötöttek” olyan lokális fizikai módszerekkel, amelyek a kémiai összetétel meghatározását szolgálják.

## Az elektronmikroszkópia és a lokális analitika kapcsolata

Látni fogjuk, hogy egy-egy alapvető elv vagy készülék kifejlesztése után hosszú időt kellett várni az elfogadásra, esetenként az újrafelfedezésre. Nem volt elég nagyszerű alkotni, azt megfelelő időben kellett tenni. A múlt század első felét lassú fejlődési ütem jellemezte, az utóbbi évtizedekben viszont a fejlődés nagyon felgyorsult.

Az első transzmissziós elektronmikroszkópot *Knoll* és *Ruska* alkotta meg 1932–33-ban. Ruskának az elismerésre több mint 50 évet kellett várnia: 1986-ban kapta meg a Nobel-díjat. (*Rohrerrel* és *Binniggel* együtt, ők a pásztázó alagút-elektronmikroszkóp megalkotásáért). Hasonlóképpen hosszú idő telt el a pásztázás elvének felfedezése (*Knoll*, 1935) és az első pásztázó elektronmikroszkóp kereskedelmi forgalomba hozatala között (*Cambridge Instruments*, 1965). A pásztázás alapja az, hogy egy szonda (pl. fény-, elektron-, röntgensugár vagy fémtű) kivált egy jelet a vizsgálandó mintából, amellyel (többnyire erősítés után) moduláljuk egy megjelenítő képernyő fényességét. Tovább lépve a szondával a vizsgálandó mintán a következő adatot a képernyő következő pontjának fényességmodulálására használjuk. A pásztázás elve nagyon nagy jelentőségű, mert segítségével szinte bármelyik mérhető fizikai mennyiséget képalkotásra használhatjuk. Az elektronmikroszkópia és analitika összekapcsolódását röviden úgy jellemezhetjük, hogy az elektronmikroszkópia befogadta a különféle lokális analitikai módszereket.

Az első analitikai módszer az elektronmikroszkópiában az elektrondiffrakció volt (*Kossel* és *Möllenstedt*,

1939). A transzmissziós elektronmikroszkópban egyetlen mozdulattal át lehet váltani a képalkotásból a diffrakcióra. A kristályrács paramétereinek meghatározásával vegyületinformációt lehet szerezni.

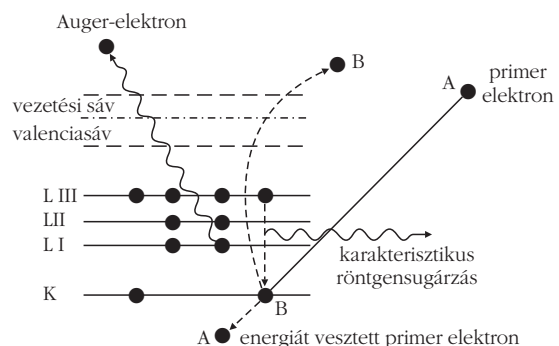
Az elektronmikroszkópban a karakterisztikus röntgensugárzást vagy Auger-emissziót előidéző „A” primer elektron (*1. ábra*) a magot elhagyva magán viseli azt az információt, hogy mennyi energiát veszített az atommal való kölcsönhatáskor. Energiájának megmérése révén (elektron-energiavesztési spektroszkópia) ugyanolyan, sőt részletesebb összetételei információhoz jutunk, mint a röntgen- vagy Auger-spektroszkópiával.

A felfedezéstől az újrafelfedezésig itt is rögös volt az út: *Baker* és *Hillier* 1944-ben mérte az első energiavesztési spektrumot, majd az eljárást *Wittry*, *Ferrier* és *Cosslett* 1969-ben újra felfedezte. (Az elektron-energiavesztési spektroszkópiáról [1]-ben 50 oldalas magyar nyelvű áttekintést találhatók.)

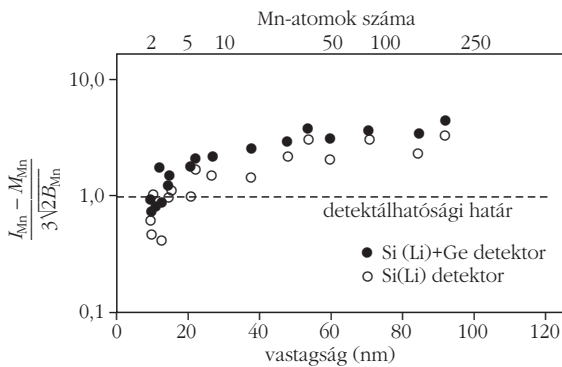
Az első elektronsugaras (röntgen) mikroanalízisre szolgáló mikroszondát (amely lényegében egy hullámhosszdiszperzív röntgenspektrométerrel ellátott elektronmikroszkóp) 1951-ben *Castaing* építette meg Ph.D. munkája keretében. Az elektronsugaras mikroanalízist nemcsak műszeresen, de elméletileg is nagyszerűen megalkotta. A röntgenanalízisben a következő jelentős lépést a lítiummal adalékolt szilícium-detektorok jelentették az 1970-es években. Az új úgynevezett energiadiszperzív röntgenspektrométereknek (EDS) sok előnyük van a hullámhosszdiszperzív változathoz képest azáltal, hogy a soros detektálást a párhuzamos detektálás váltotta fel: az egész spektrumot a nátriumtól az uránig egyidejűleg lehet megjeleníteni. (A fejlődés következő lépcsőfokán a vékony detektorablakok révén a legkisebb rendszámú detektálható elem a bór lett.)

A transzmissziós elektronmikroszkópok felbontása napjainkban 0,1 nm (azaz 1 angström) alá került, hogy csak a Carl Zeiss SATEM típusú vagy a Philips Titan 80-300 típusú mikroszkópokat említsem. Az álom, hogy különböző atomokat lehessen detektálni, már jóval korábban megvalósult. Az energiadiszperzív röntgenspektrométerek (EDS) detektálási határa elérte a 2 atomot (*2. ábra*), miközben a laterális felbontás körülbelül 1 nm volt (*D.B. Williams*).

1. ábra. Analitikára alkalmas jelek elektron-besugárzáskor.



A Magyar Mikroszkópos Konferencián, Balatonalmádiban 2005 májusában elhangzott előadás rövidített változata.



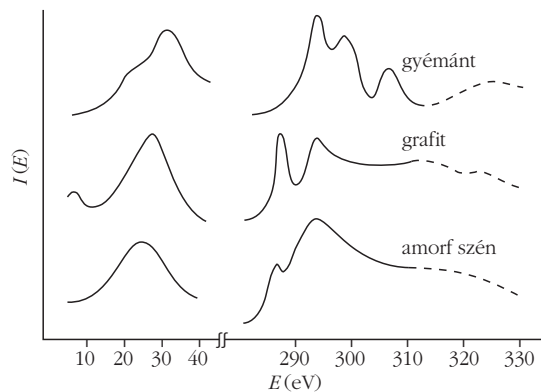
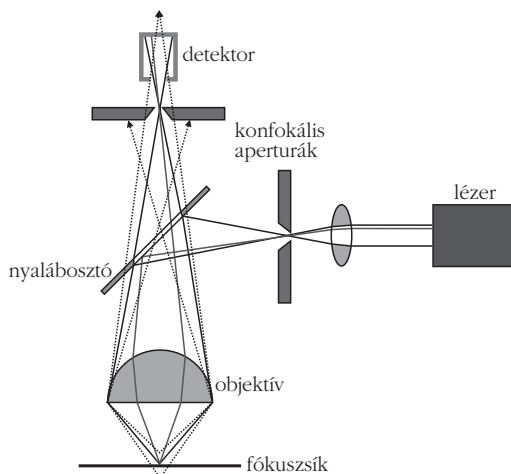
2. ábra. Az energiadiszperzív röntgenspektrométer abszolút detektálási határának függése a minta vastagságától.

Az elektron-energiavesztési spektrométerek (EELS) felbontása olyan jó (0,1 eV), hogy korlátot már nem a spektrométer, hanem az elektronforrásban meglévő energiakisélesedés jelent. Az elemösszetételen kívül még nagyon sok információt képes szolgáltatni az EELS: a polimorfától kezdve a vizsgált anyag sáv szerkezeti tulajdonságáig, beleértve a permittivitást (komplex dielektromos állandót), a vizsgált atom körüli szomszédos atomok számát (koordinációs számot) és azok egymástól való távolságát. Ez már a szó tágabb értelmében vett analitika (3. ábra).

Az elektronnyaláb pásztázása révén mind a karakterisztikus röntgensugárzást, mind az energiavesztési spektrumot fel lehet használni a mintát alkotó kémiai elemek kétdimenziós eloszlásának megjelenítésére, „térképezésére”. Az analitikai eljárások kedvezően hatottak vissza magára a leképezésre, a mikroszkópiára is. Ha energiaszűrővel meghatározott energiájú elektronokat használnak képalkotásra, akkor a mikroszkópos kép jobb minőségű lesz. Gondoljunk arra, hogy ha szűk energiatarományba eső elektronokkal készítünk képet, akkor a színi hiba (kromatikus aberráció) minimálisra csökkenthető. Energiaszűrővel a diffrakciós képek minősége is javítható.

Az elektronmikroszkópia fejlődésében az egyik kulcsfontosságú elem az elektronforrás fényességének javítása volt. A termikus volfrámkatód fényessége  $10^5$ – $10^6$  A/cm<sup>2</sup>/sr, a modern téremissziós katódoké  $10^8$ – $10^9$  A/cm<sup>2</sup>/sr. A for-

4. ábra. A konfokális mikroszkóp elve.



3. ábra. Szén, grafit, gyémánt EELS spektruma (R. Egerton).

rás fényességében bekövetkezett nagymértékű javulás hatása megnyilvánul mind a leképezés felbontásának, mind pedig az analitikai módszerek detektálási határának javulásában. A másik két kulcselemet, a párhuzamos detektálásra való áttérést, valamint a pásztázás elvének alkalmazását már érintettük. Nem szabad megfeledkezni az adattárolás és adatfeldolgozás lehetőségeinek, szintén kulcsfontosságú, bővüléséről sem.

## Fénymikroszkópia és lokális analitika

A tudománytörténet *Anton van Leeuwenhoek*-ot tekinti a fénymikroszkóp megalkotójának, aki 1675 körül mikroszkópjával 300-szoros nagyítást ér el. A fénymikroszkópia versenyképessége csak a konfokális mikroszkópia és a közelteres mikroszkópia jelenkori kidolgozása után kezdődött. Ezek pedig a lézerek tömeges elterjedéséig vártak magukra.

A fénymikroszkópia teljesítőképességét a diffrakció jelensége korlátozza. *Ernst Abbe* (1872) fogalmazta meg a formulát, amely szerint a fénymikroszkóp felbontása ( $D$ ):

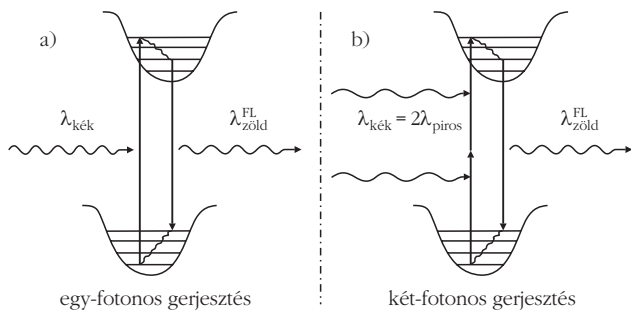
$$D = \frac{0,61 \lambda}{n \sin u},$$

ahol  $\lambda$  a megvilágító fény hullámhossza,  $n$  a törésmutató,  $n \sin u$  pedig a numerikus apertúra. A képlet értelmében a fénymikroszkóp felbontása közelítőleg  $\lambda/2$ – $\lambda/3$ -mal egyenlő. Az első eset ( $\lambda/2$ ) az immerziós olaj nélküli felbontásra vonatkozik és értéke körülbelül 250 nm, a második esetben ( $\lambda/3$ ) a felbontás körülbelül 160 nm,  $n = 1,5$ -es törésmutatójú immerziós olaj használatát feltételezve.

A fénymikroszkópia fejlődésében nagy lépés volt a *konfokális leképezés elvének* – 4. ábra – felismerése (*M. Minsky*, 1957).

A konfokális mikroszkóp egyetlen síkból, a fókusz síkból enged fényt jutni a detektorba. Az ábrán látható szaggatott vonallal jelölt sugarak elrontanák a kép élességét, ha be tudnának jutni a detektorba. A konfokális elv csak akkor vált jól használhatóvá, amikor fényforrásként lézert alkalmaztak. A lézerek előnye: a nagy fényesség, kis divergencia, könnyű fókuszálhatóság és stabilitás. A konfokális képalkotást a fénynyaláb pásztázása, vagy a minta pásztázó mozgatása teszi lehetővé. Így alakult ki a pásztázó konfokális lézermikroszkópia, (Confocal Laser Scan-





5. ábra. A két-fotonos elv.

ning Microscopy, CLSM vagy Laser Scanning Confocal Microscopy, LSCM), amely bár a diffrakciós határt nem döntötte le, a mélységi felbontás ( $1,6 \mu\text{m}$ ) javítását, éles képek készítését és vastag minták vizsgálatát lehetővé tette. A konfokális mikroszkópiát többnyire világító festékekkel együtt alkalmazzák: a minta meg van festve fény hatására fényt emittáló fluorofórokkal (vagy más néven kromofórok), egyidejűleg akár többel is. Ezek a festékek specifikusan kötődnek például egy biológiai szövet meghatározott alkotórészéhez, így a leképezéssel egyidejűleg az emittált fény színe kémiaiilag is azonosítja a vizsgált mintarészlet anyagát.

A minta optikai tengely mentén történő elmozdításával a fókuszszík a minta felszínétől egyre mélyebbre helyezhető, ezáltal egy úgynevezett optikai szeletelés válik lehetővé, amelyet háromdimenziós képrekonstrukció követhet. A konfokális fluoreszcens mikroszkóp a biológusok „komputer-tomográfja”. A konfokális leképezés elve nem kötődik kizárólag a fluoreszcens mikroszkópiához, például Raman-mikroszkópiával szintén kombinálható.

A konfokális elvnek konkurensje is adódott a vastag minták leképezésében, a két-fotonos elv megvalósítása nyomán.

Az 5.a ábra szerinti példában az egy-fotonos gerjesztéssel kék fényvel zöld színű fluoreszcens fényt váltunk ki. Az ábra jobb oldali sémája (5.b ábra) szerint ugyancsak zöld fluoreszcens fényt válthatunk ki, ha két piros foton időben olyan közel érkezik egymás után a gerjesztendő mintába, hogy abban egyetlen, kék fotonnak érződik. Ennek gyakorlati megvalósításához femto-szekundumos lézere van szükség. Az effektus megdöbbentő, a gerjesztés helye még jobban lokalizálódik, mint a konfo-

kális technikánál. Egy fluorofórral megfestett folyadékban két-fotonos gerjesztéskor egyetlen pont világít, az a hely, ahol a két foton energiája összegződik. A többi helyen a fluorofór a gerjedés és abszorpció szempontjából gyakorlatilag érzéketlen a beérkező, illetve távozó fényre. Míg a konfokális mikroszkóppal maximálisan  $40 \mu\text{m}$  vastag mintát vagyunk képesek élesen leképezni, addig a két-fotonos technikával  $1 \mu\text{m}$  vastagságút. Sem a konfokális, sem a két-fotonos (sem pedig a multifotonos) technika nem töri át a diffrakciós határt.

A lézer feltalálása (1960) után D. Pohl és A. Lewis (1984) valósította a megközelítés leképezést, amely először törte át a diffrakciós határt. A pásztázó közelteres mikroszkópiában (SNOM – Scanning Near-field Optical Microscopy vagy NSOM – Near-field Scanning Optical Microscopy) a fényforrás a fény hullámhosszánál sokkal kisebb távolságra van a vizsgálandó minta felszínétől és mérete is sokkal kisebb, mint a fény hullámhossza.

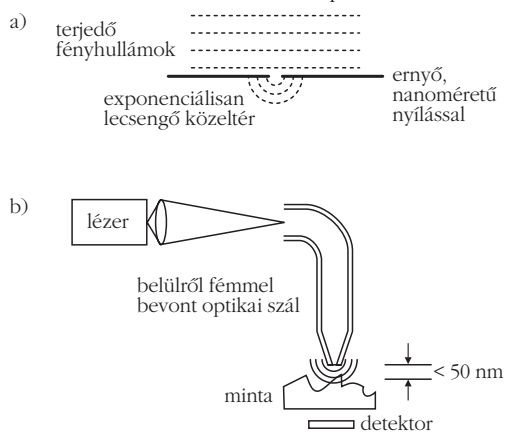
Az NSOM gondolata még 1928-ból származik E. Synge-től, és először csak 1972-ben sikerült megvalósítani mikrohullámmal (E. Ash és G. Nicholls). A nanométeres fényforrásnak a minta felszínéhez közeli ( $10\text{--}50 \text{ nm}$ ) pásztázó mozgatásához olyan kifinomult eljárásra volt szükség, amely csak a pásztázó alagútmikroszkóp (1981) kidolgozása után állt rendelkezésre.

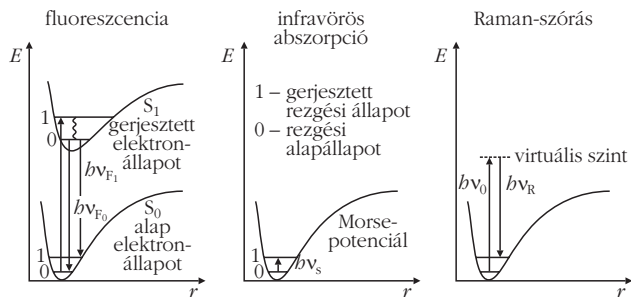
Ha egy szubnanométeres apertúrát fényel világítunk meg, akkor az apertúra mögött a fény hullámhosszánál rövidebb távolságban (az ún. köztérben) egy exponenciálisan lecsengő (nem tovaterjedő) fényhullámot kapunk (6.a ábra). A közelteres fénymikroszkópia e fényhullám rendkívüli lokalizáltságát használja fel. (A konvencionális fénymikroszkópiát ennek megfelelően távolteres mikroszkópiának nevezhetjük.) Fényforrásként fémmel belülről bevont elvékonyodó optikai szálat (6.b ábra), vagy világító anyaggal kitöltött nanopipettát, vagy az atomerő-mikroszkóp furattal ellátott piramidális tujét használják. A detektálás történhet reflexióban és transzmisszióban egyaránt.

A megvalósítás egy másik módja, hogy a vizsgálandó vékony mintát üveg felszínére visszük fel oldatból, oldalról lézerral megvilágítjuk, kihasználva az üveg totálreflexióját. A minta felszínére a köztérbe beleeresztjük az előbb említett fémmel bevont elvékonyodó optikai szálat és ezzel „kicsatoljuk” a közelteres információt egy fotoelektron-sokszorozóba. Ez a megoldás leginkább a minta és az apertúra között végbemenő foton-alagúteffektussal szemléltethető. Innen származott a közelteres mikroszkópia első elnevezése is Photon Scanning Tunneling Microscopy. A szonda és minta közötti kölcsönhatás – több tekintetben is – még nem eléggé tisztázott. Klasszikus optikai módon nem írható le, ezért a szonda optimalizálása kísérleti úton történik. Az viszont minden pásztázó technikára igaz, hogy a szonda mérete határozza meg a felbontóképességet. Az  $50 \text{ nm}$ -es felbontás jelentősen felülmúlta a konvencionális fénymikroszkóp felbontását.

A SNOM módszerében a besugárzó fényfolt mérete nem csökkenthető  $30 \text{ nm}$  alá. Gondoljunk arra, hogy a belülről fémmel bevont, elkeskenyedő optikai szálaban a fény bizonyos mértékig a fémbe is behatol, ezáltal a kilépő fénynyaláb mérete nagyobb, mint az apertúra fizikai mérete. Így jutottak el az apertúra nélküli SNOM gondolatához.

6. ábra. A közelteres mikroszkópia elvi vázlata.





7. ábra. Fluoreszcencia, infravörös abszorpció és Raman-szórás mechanizmusa.

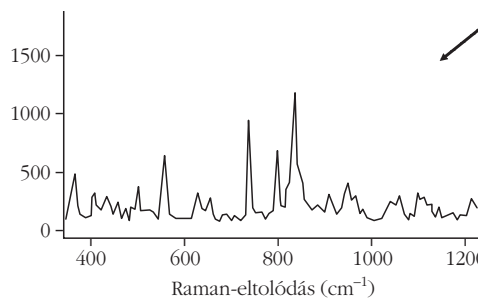
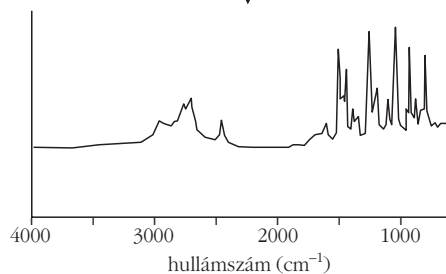
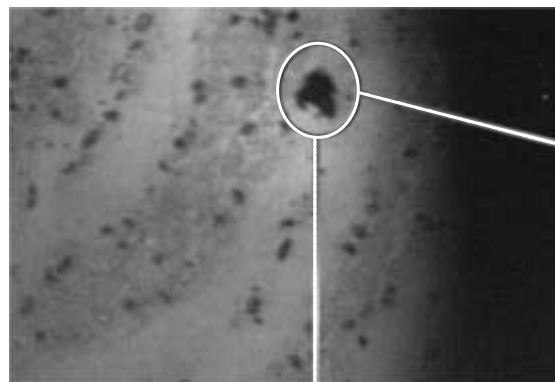
Az apertúra nélküli SNOM-ban a közeltérben lévő információt egy fémtű segítségével vesszük ki. Ez már nem optikai kicsatolás, hanem a szórt elektromos teret veszi fel a szonda. Lényegesen javítja a helyzetet, hogy nem fényt kell továbbítani egy nagyon kis átmérőjű szondán keresztül. A szonda végére fém nanorészecskét lehet felerősíteni, így a felbontóképesség javul az apertúrából álló (optikai) szondához képest. *Zenbausern* 1995-ben 1 nm-es (!) felbontásról számol be apertúra nélküli SNOM alkalmazásával. Az apertúra nélküli SNOM működését a minta polarizálhatóságának a szonda dipólmomentumával való kölcsönhatásával magyarázzák, de a jelenség megértése még nem tökéletes.

Az anyag fluoreszcens megfestésén túlmenően, a fénynek kémiai anyagazonosításra használt két legismertebb formája az infravörös spektroszkópia és a Raman-spektroszkópia. Míg a fluoreszcencia jelensége elektronátmenetekkel kapcsolatos, addig az infravörös abszorpció és a Raman-szórás az anyag molekuláris tulajdonságainak függvénye (7. ábra).

Az infravörös spektroszkópiában folytonos spektrumú fényvel világítjuk meg a mintát, és a minta választja ki a rezonancia alapján azt a számára kedvező hullámhosszat, amelyet elnyel. A Raman-spektroszkópiában monokromatikus lézerténnel sugározzuk be a mintát és a besugárzó fotonok nagyon kis hányada ( $10^{-7}$ – $10^{-8}$  része) rugalmatlan ütközéssel, hullámhosszváltozással szóródik. Csupán ezek a fotonok szolgálnak kémiai anyagazonosításra a Raman-spektroszkópiában. Mind az infravörös spektroszkópia, mind pedig a Raman-spektroszkópia a vizsgált anyag ujjlenyomatyszerű azonosítását adja (8. ábra). A két módszer egymást kiegészíti, a kovalens aszimmetrikus kötések infra-aktívak, a szimmetrikusak Raman-aktívak.

A fénymikroszkópia és analitika összefonódása más úton ment végbe, mint az elektronmikroszkópia és analitika esetében. Itt a fluoreszcens, az infravörös, és Raman-spektroszkópiákat pásztázás révén alkalmassá tették leképezésre, így alakult ki a fluoreszcens (lézer pásztázó mikroszkópia) infravörös és a Raman-mikroszkópia.

A fluoreszcens mikroszkópia a biológiában és az orvostudomány területén bír igen nagy jelentőséggel. Ha figyelembe vesszük, hogy évszázadunk várhatóan a biológia évszázada lesz, akkor a fluoreszcens mikroszkópia jelentősége még inkább érthetővé válik. Segítségével aminosavak, DNS, Ca-ionok és elemi biológiai folyamatok válnak láthatóvá és követhetővé akár élő anyagon is. *A Fizikai Szemle* 2004. októberi száma kitűnő cikket kö-



8. ábra. Ecstasy tabletta maradványa az ujjlenyomaton, valamint infravörös spektruma (fent) és Raman-spektruma (lent).

zölt a fluoreszcens mikroszkópia biológiai alkalmazásáról [2]. Az infravörös mikroszkópia és Raman-mikroszkópia leginkább a szerves vegyiparban, gyógyszeriparban és bűnügyi technikában terjedt el.

Az anyagazonosításon túlmenően e két módszer képes a polimorfia (azonos kémiai összetétel, különböző kristályszerkezet) jelenségének kimutatására is. Ennek többek között a gyógyszeriparban van nagy jelentősége, ahol a polimorfok különböző oldódási és biohasznosulási tulajdonságokkal rendelkeznek.

Az infravörös detektálás határai nem túl jók (0,01–5%) legalábbis az igényekhez képest, és erősen anyagfüggők. Ezért a mikroszkópia szempontjából azok az új fejlesztések perspektivikusak, amelyek valamilyen rezonanciajelenség révén jelentős javulást mutatnak fel a detektálási határ tekintetében. Ilyen a besugárzó lézertörés hullámhosszának a hangolásával kiváltható rezonancia, vagy a vékony fémhordozókban (Au, Ag stb.) lézertel gerjesztett felületi plazmonok hasznosítása felület által erősített Raman-szórás (Surface Enhanced Raman Spectroscopy, SERS), vagy tűszondák csúcsának elektromos tere által keltett erősítés (Tip-Enhanced Raman Spectroscopy, TERS). E technikák kombinációja olyan hatásos, hogy egyetlen molekula detektálhatóságát is bizonyították már

Raman-spektroszkópiával. A nagy laterális felbontású kémiai leképezés (téreképezés) pedig gyakorlati szempontból elfogadható hosszúságú időre redukálódik, ha nem a normál Raman-szórás, hanem annak valamelyik rezonanciaváltozatát használjuk fel.

## Tűszondás mikroszkópia és lokális analitika

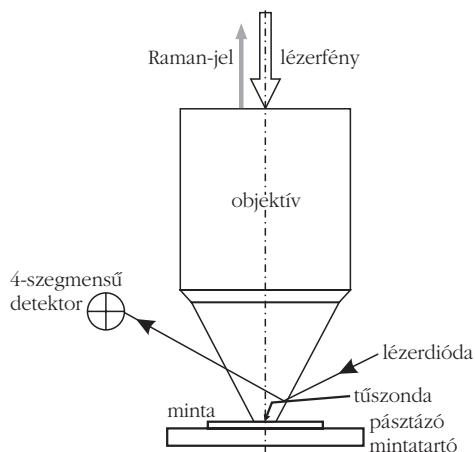
A tűszondás mikroszkópok első típusa a pásztázó alagút-mikroszkóp (STM), Binnig és Rohrer műve (1981), azon alapul, hogy az elektronok alagútáramának erőssége egy tű és egy fémfelület között exponenciálisan függ a kettő közötti távolságtól. Minthogy leképező lencse nem vesz részt a folyamatban, a lencsehibák, amelyek jellemzőek az optikai eszközökre, nem játszanak szerepet. Kedvező körülmények között 0,1 nm-es laterális és 0,001 nm-es függőleges irányú felbontást lehet elérni. A pásztázó tűszondás mikroszkópiáról magyar nyelvű szakirodalmat is találhatunk *Kálmán Erika* és *Nagy Péter* munkája nyomán [2].

A fejlődéstörténet itt sem nélkülözi az érdekességeket: Rohrert és Binniget 10 évvel megelőzve *R. Young* készítette el az alagút-mikroszkóp „ősét”, de az ő elismerése elmaradt.

A pásztázó közelterez optikai mikroszkóp két évvel megelőzte az atomerő-mikroszkópot (1986), amelyet már nemcsak fém, hanem félvezető vagy szigetelő felületek vizsgálatára is lehetett használni. Mint említettük, a SNOM már azt a technikai háteret használta fel a fényforrás mozgatásához, amely a tűszondás mikroszkópia alapja is volt, így a SNOM esetében az optikai és tűszondás mikroszkópia között a határ elmosódik.

Az atomerő-mikroszkópia (AFM) egyik változata a *laterális erőmikroszkópia*, amelyben a tű elmozdulását és a kar „elferdülését” 4 fénydetektorral mérik. A laterális erőmikroszkópia speciális esete a *kémiai erőmikroszkópia*: a tűt olyan kémiai anyag monorétegével vonják be, amelyet a vizsgálandó felülettel reakcióba akarnak hozni, és a kémiai kölcsönhatás következtében megváltozó adhéziós erőket mérik. Nem valószínű, hogy a kémiai erőmikroszkópia lesz az a terület, ahol a tűszondás mikroszkópia és a lokális kémiai analízis találkozása az optimu-

9. ábra. Apertúra nélküli, reflexiós üzemmódú közelterez Raman-mikroszkóp sémája.



mot hozza, mivel egy tű preparálása nehézkes és a vizsgálandó felülettől függően más és más.

Az utóbbi időben gyorsan fejlődnek a Raman-spektroszkópia azon területei, amelyekben valamilyen rezonanciajelenséggel megnövelik a Raman-szórás hatásfokát. Az egyik ilyen terület a már említett felület által erősített Raman-szórás: a vizsgálandó minta és az üveg hordozó közé vékony arany- vagy ezüstkolloidot visznek fel, hogy bennük lézerral felületi plazmonokat gerjesszenek. A plazmonok nagyságrendekkel hatásosabban idéznek elő Raman-szórás, mint az a fémréteg mellőzésekor történik. Jelenleg ez a módszer csak vékony minták vizsgálatára alkalmas, amelyeket oldatból szárítanak be az átlátszó arany- vagy ezüstréteg felületére. Azért, hogy tömbanyagot is lehessen vizsgálni a felület által erősített Raman-szórással, az említett kolloidális aranyat vagy ezüstöt egy tűszondára viszik fel. Egy fém tűszonda – arany- és ezüstkolloid nélkül is – a tű körül kialakuló elektromos erőter miatt nagymértékben ( $10^4$  faktorral) képes megnövelni a Raman-szórás hatásfokát.

A terület rendkívül gyorsan fejlődik, a tömbanyagú minták felületének nagyfelbontású leképezésére és kémiai analízisére jelenleg az apertúra nélküli SNOM és Raman-spektroszkópia kombinációja, a közelterez pásztázó Raman-mikroszkópia (Near-Field Scanning Raman Microscopy, NSRM) látszik a legalkalmasabbnak.

Míg infravörös mikroszkópiával 10  $\mu\text{m}$ -es felbontást lehet elérni az alkalmazott nagy hullámhossz miatt és a (konvencionális, távolterez) mikro-Raman-spektroszkópia felbontási határa 0,5  $\mu\text{m}$ , addig a közelterez pásztázó Raman-mikroszkópiával az alkalmazott tű mérete által meghatározott 100 nm-es felbontást értek el, reflexiós üzemmódban (*W.X. Sun* és *Z.X. Shen*, 2001). Külön hangsúlyozzuk a reflexiós üzemmódot, mert ez alkalmas tömbanyagok vizsgálatára, és mert alkalmazásával elkerülhetjük a vékony minták preparálásánál felmerülő, sokszor nem megengedhető műveleteket, mint például az oldatba vitelt és beszárítást. A 9. ábrán látott elrendezésben az argonlézer 488 nm hosszú vonalát használták és a tű által kiváltott erősítés a konvencionális Ramanhoz képest  $10^4$ -szeres volt. Jó minőségű Raman-spektrumot lehetett gyűjteni alacsony lézere energiáknál ( $\sim 100$  nW) és 1 s-nál rövidebb integrációs idő mellett.



Összefoglalásként megállapíthatjuk, hogy az analitikai módszerek nélkülözhetetlen elemei a lokális leképező módszereknek, a leképezés történjen akár fényvel, elektronokkal vagy pásztázó tűszondával. Az elektronmikroszkópia képviseli a „legérettebb” területet, a fény- és tűsugaras módszerek gyors fejlődése viszont beláthatatlan perspektívákat nyit a biológiai preparátumok és az élő anyag vizsgálatában.

## Irodalom

1. POZSGAI I.: *Analitikai elektronmikroszkópia alapjai* – ELTE Eötvös Kiadó, 1996.
2. BODNÁR A., DAMJANOVICH S., VÁMOSI GY.: *Nanotechnológia a biofizikában* – Fizikai Szemle 54/10 (2004) 325
3. KÁLMÁN E., NAGY P.: *Pásztázó tűszondás mikroszkópia* – in Műszaki felülettudomány és orvosi biológiai alkalmazásai, szerk.: Bertóti I., Marosi Gy., Tóth A., B+V Lap- és Könyvkiadó Kft. 2003.

# EGY HULLÁMCSOMAG KALANDJAI AZ ALAGÚTMIKROSKÓPBAN

Márk Géza István  
MTA MFA, Nanotechnológia Főosztály

A modern anyagtudomány [1] napjainkban lép be a nanovilágba. A nanovilág a nanoszerkezetek világa [2], ahol a jellemző méret a nanométer ( $10^{-9}$  m). Mostanában kezdjük megtanulni, hogyan hozunk létre nanoszerkezeteket és ezekből álló nanoarchitektúrákat, és hogyan tanulmányozzuk ezeket. E fejlődés motorja elsősorban az elektronikai ipar, az igény az elektronikai eszközök egyre nagyobb mértékű miniaturizálására. Ha szeretnénk részleteiben megérteni a nanoelektronikai eszközök működését, és szeretnénk ilyen eszközöket tervezni, akkor az elektronok mozgásával kell megismerkednünk a nanoszerkezetekben. E mozgás méretskálájára  $10^{-10}$  m (0,1 nm = 1 angström), időskálájára pedig  $10^{-15}$  s (1 femtoszekundum) a jellemző egység – ezek igen távol esnek emberi világnk méret- és időskálájától. A legjelentősebb eltérés azonban a kétféle tartományban érvényes fizikai törvények között van: míg az emberi skálán a klasszikus mechanika törvényei érvényesek, az elektronok nanoszerkezetek-beli mozgását a kvantummechanika törvényei írják le. Emiatt minden mérés, amelyet a nanovilág megismerése érdekében végzünk közvetett és nehezen értelmezhető. Ráadásul a nanoszerkezetek lényegesen bonyolultabb felépítésűek, mint az atomok és molekulák, így pontos elméleti leírásuk is nehézségekbe ütközik. Ezért a nanoszerkezetek tanulmányozásában igen hasznos a számítógépes szimuláció. A számítógépek, korunk mikrotechnológiájának termékei segítenek a jövő nanotechnológiájának létrehozásában.

Az 1991-ben felfedezett szén nanocső [3] az egyik ígéretes jelölt a szilícium felváltására a jövő elektronikájában, ugyanis a szén nanocsövek, atomi szerkezetüktől függően, lehetnek félvezetők vagy vezetők. Laboratóriumi körülmények között sikerült már szén nanocső tranzistorokat, sőt, logikai kapukat is létrehozni. Háromkivezetésű nanoelektronikai elemek megvalósítására kínálnak lehetőséget a szén nanocső Y-elágazások [2]. Az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet Nanotechnológia Főosztályán immár 10 éve foglalkozunk szén nanocsövek előállításával és tanulmányozásával. A nanocsöveket elsősorban transzmissziós elektronmikroszkóp (TEM) és pásztázó alagútmikroszkóp segítségével vizsgáljuk.

A pásztázó alagútmikroszkópia (Scanning Tunneling Microscopy, STM) [4] az egyedi nanoszerkezetek tanulmányozásának talán legfontosabb eszköze. Ezt az STM fantasztikus térbeli felbontása teszi lehetővé: STM segítségével rutinszerűen elérhető az atomi felbontás (megfelelő mintákon), és a magassági felbontás jobb, mint 0,01 nm. Amikor az IBM zürichi kutatóközpontjában 1982-ben működni kezdett az első STM [5], sok kutató úgy vélte, hogy elvileg lehetetlen olyan mikroszkópot létrehozni, amellyel látni lehet az atomokat. Valóban, évek teltek el, amíg a tudományos közösségnek sikerült megértenie, mi miatt érhető el mégis ez a hihetetlen felbontás az STM-

ben, és pontosan mit is mér egy alagútmikroszkóp, minek felel meg az alagútmikroszkópos képen látható atomi léptékű mintázat. A részletes vizsgálatok azt mutatják, hogy az STM-kép pontos értelmezéséhez nélkülözhetetlen számítógépes szimulációk alkalmazása.

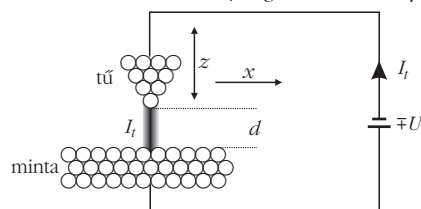
Az elektron mozgásának részletes tanulmányozására jól használható a hullámcsomag-dinamikai módszer (HCS, Wave Packed Dynamics). Cikkünkben arról a kutatásról számolunk be, amelynek során a hullámcsomag-dinamikai módszerrel vizsgáltuk szén nanocsövek alagútmikroszkópos leképezését.

## A szén nanocsövek alagútmikroszkópos leképezése

Az egyfalú szén nanocső olyan, csak szénből álló cső, amelynek az átmérője 1 nm körüli – tehát a molekuláris tartományba esik –, de a hosszúsága több mikrométer, akár egy milliméter is lehet – tehát a makroszkopikus tartományba esik. A szén nanocső szerkezetét legegyszerűbben úgy képzelhetjük el, mintha egyetlen grafitsíkot hengerré tekernénk [3]. Habár az ideális szén nanocső kizárólag szénből áll, fizikai tulajdonságai mégis nagymértékben változhatnak, a grafitsík feltekerésének módjától függően – ahogy részletesen olvasható *Biró László* cikkében [2]. A nanocső atomi szerkezete és elektron szerkezete közötti erős kapcsolat miatt igen fontos, hogy meg tudjuk vizsgálni az egyedi szén nanocsövek atomi és elektronszerkezetét. Az alagútmikroszkóp a legalkalmasabb műszer erre a célra.

Az STM működési elve egyszerű (1. ábra). Egy nagyon hegyes tű – legjobban, ha egyetlen atom van a tű csúcán – igen közel hozunk egy elektromosan vezetőképességű minta felületéhez és a tű közé kicsi, 1 V nagyságrendű, feszültséget kapcsolunk. Már azelőtt, hogy a tű hozzáér a mintához – körülbelül, amikor a távolságuk 1 nm alá csökken – a két elektróda közt kicsi, 1 nA nagy-

1. ábra. A pásztázó alagútmikroszkóp működési elve. A kis körök az atomokat szimbolizálják, amelyekből a minta és a tű áll. A minta és a tű közé  $U \sim 1$  V feszültséget kapcsolva a  $d \sim 0,5$  nm nagyságú alagútátmeneten át  $I_t \sim 1$  nA áram folyik. A tű csúcsa és a minta közötti sáv az alagutazási csatornát mutatja, a középvonalban folyik a legnagyobb áram-sűrűség (legsötétebb szürkeárnyalat), a középvonaltól távolodva az áram-sűrűség erősen csökken. A tű csúcsa és a minta közötti távolság  $d$ . A laterális irányú pásztázást jelzi az  $x$  felirátú nyíl, a tűnek a mintára merőleges irányú mozgását (amelyet a visszacsatoló hurok úgy szabályoz, hogy állandó értéken tartsa az  $I_t$  alagútáramot) a  $z$  nyíl mutatja.







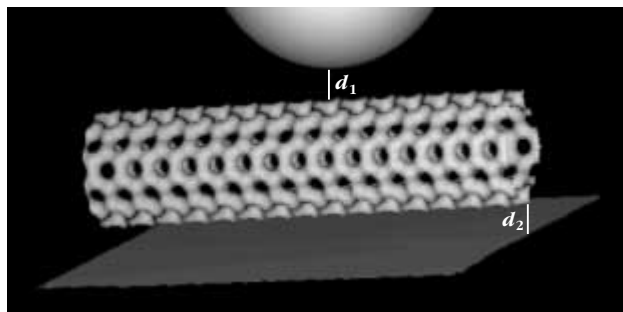
2. ábra. Az STM-tű véges görbületi sugara okozta látszólagos kiszélesedés. A bal oldali ábrán három jellegzetes domborzati alakzatot láthatunk, ezeket képezzük le az ábra tetején fekete félkörrel jelölt tűvel. A jobb oldali ábra azt mutatja, milyen vonal mentén mozog a tű.

ságrendű áram, a kvantummechanikai alagútáram mérhető. Az STM-ben a tűvel finoman pásztázunk a minta felülete fölött és eközben egy visszacsatoló hurok segítségével állandó értéken tartjuk az alagútáramot. Így alakul ki a számítógép képernyőjén az alagútmikroszkópos kép, amely a minta felületének atomi finomságú lenyomata. Mivel az alagútáram a távolsággal exponenciálisan csökken – az STM-ben alkalmazott „ökölszabály” szerint, ha 0,1 nm-rel távolítjuk a tűt, tizedére esik az áram –, egy atomban végződő tű esetén az alagútáram a tű csúcsa körüli nagyjából 0,1 nm szélességű csatornában folyik. Ez magyarázza az STM igen nagy térbeli felbontását.

Az alagútáram pontos értéke attól is függ, hogy milyen a minta elektronszerkezete, ezért az STM egyszerre ad információt a vizsgált minta topográfiájáról és elektronszerkezetéről. Az STM-nek ez a tulajdonsága az egyik legnagyobb előnye. Ugyanakkor ez teszi nehezzé az alagútmikroszkópos képek értelmezését, ugyanis nehéz szétválasztani a topográfia és az elektronszerkezet hatását.

Ha nem sík, egykristályos mintát, hanem egy nanoszerkezetet – például szén nanocsövet – vizsgálunk STM-mel, akkor további hatások is bonyolítják a kép értelmezését. A legfontosabb figyelembe veendő hatás a „tűkonvolúció” jelensége. Amint a 2. ábrán láthatjuk, ha a mintán olyan finom részletek vannak, amelyek görbületi sugara már összemérhető az STM-tű görbületi sugarával – egyfalu nanocsövek esetén mindig ez a helyzet –, ez látszólagos kiszélesedést okoz az STM képen. További, számításba veendő hatás az, hogy, nanoskálán nézve, a nanocső nem része a hordozófelületnek, hanem az úgynevezett Van der Waals-távolságban (kb. 0,34 nm) „lebeg” fölötté (3. ábra). A nanocsövek alagútmikroszkópos leképezésénél tehát nem egy, hanem két alagútátmenetet kell figyelembe vennünk: egyrészt az STM-tű – szén nanocső alagútátmenetet, másrészt a szén nanocső – hordozó alagútátmenetet. (STM vizsgálathoz a nanocsöveket mindig valamilyen elektromosan vezető – vagy legalább félvezető – hordozófelületre kell felvinni. Ez a hordozó mechanikailag tartja a nanocsöveket, és létrehozza a zárt elektromos áramkört. Szén nanocsövek STM-vizsgálatánál a grafit és az arany a legmegfelelőbb hordozók.) A tű

4. ábra. A hullámcsomag-dinamikai módszer elvi vázlata. A bejövő hullámcsomag szóródik a vizsgált rendszeren, a rendszer tulajdonságaira a szórt hullámcsomag tulajdonságaiból következtetünk. A kimenő hullámcsomagot ábrázoló három, különböző vastagságú nyíl azt szimbolizálja, hogy a különböző irányokba különböző erősségű a szórás.



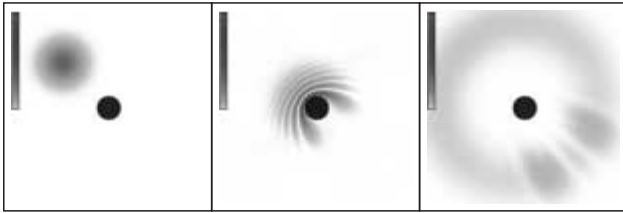
3. ábra. Szén nanocső STM leképezése – a rendszer geometriája. Az STM-tű  $d_1$  távolságra van a nanocső középvonala fölött. A szén nanocső  $d_2$  ( $= 0,335$  nm) távolságra „lebeg” a hordozófelület fölött a Van der Waals-potenciálon.

és a cső közötti alagútátmenet nulladimenziós (pontoszerű), a cső és a hordozó közötti alagútátmenet egyszázadimenziós (vonalszerű).

Az MFA Nanoszerkezetek Osztályán, belga kutatókkal is együttműködve (pl. *Philippe Lambin*nel a namuri egyetem szilárdtestfizikai laboratóriumából), körülbelül egy évtizeddel ezelőtt célul tűztük ki a nanocsövek STM-leképezését befolyásoló tényezők részletes vizsgálatát. Kidolgoztunk egy hullámcsomag-dinamikai programcsomagot, amelynek segítségével részleteiben tanulmányoztuk az elektron áthaladását az STM-tűből a nanocsövön keresztül a hordozóba.

## A hullámcsomag áthaladása az STM-tű – szén nanocső – hordozó „alagúton”

*Erwin Schrödinger* 1926-ban azzal a céllal alkotta meg a kvantummechanikai hullámcsomag (HCs) fogalmát, hogy hidat építsen a klasszikus és a kvantummechanika között. A HCs egy térben lokalizált hullámfüggvény, azaz olyan kvantumállapotot ír le, amelyben a részecske nagy valószínűséggel egy adott pont közelében található. A Heisenberg-féle határozatlansági összefüggés miatt a HCs véges impulzusszórással rendelkezik, ezért az idő múlásával a HCs szétfolyik, azaz egyre nagyobb térrészre terjed ki. A szétfolyás sebessége annál nagyobb, minél kisebb térrészre volt a HCs lokalizálva („besorítva”) a kezdoállapotban. Szabad térben, azaz ha semmilyen erő nem hat rá, a HCs mozgása igen egyszerű: tömegközéppontja egyenesvonalú egyenletes mozgást végez és eközben fokozatosan szétfolyik. Ha viszont a HCs valamilyen potenciáltérben mozog, bonyolult és érdekes viselkedést figyelhetünk meg: a HCs több részre oszlik, periodikus, vagy kváziperiodikus mozgás jön létre, sőt, az is előfordulhat, hogy a HCs szétfolyás helyett – a potenciál hatására – összeszűkül. A HCs adott potenciáltérben való mozgásának megfigyelésén alapul a hullámcsomag-dinamikai módszer (HCsD-módszer). A HCsD-módszer nem más, mint egy szórás kísérlet a számítógépen (4. ábra): „nekilövünk” egy HCs-t a vizsgált (lokalizált) potenciálnak. A HCs időfejlődését az időfüggő Schrödinger-egyenlet segítségével számítjuk ki. A módszer segítségével egyrészt részletesen nyomon tudjuk követni a vizsgált rendszer dinamikáját, másrészt a végállapotból – amikor a kijövő HCs már elhagyja a potenciál tartományát – külön-



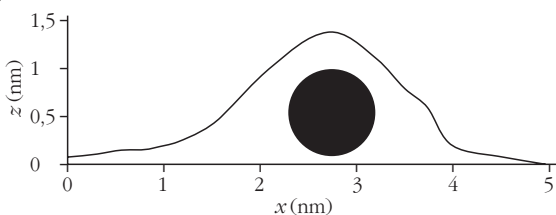
5. ábra. Kétdimenziós Gauss-hullámcsomag szórása körszimmetrikus „merev fal” potenciálon. A bal oldali ábra a kezdőállapot, a középső ábra a kölcsönhatást mutatja, a jobb oldali ábra a végállapot. A középső kör a potenciál helyét mutatja. A hullámcsomag megtalálási valószínűségét szürkeshálán ábrázoltuk: a fehér jelenti a nulla valószínűsűrsűrűséget, a sötétszürke a maximális valószínűsűrsűrűséget. A szürkeshála nemlineáris (lásd az ábrák bal oldalán), hogy a nagy és a kis valószínűség is jól ábrázolható legyen. A normálás mindhárom ábrán azonos. Ahogy a hullámcsomag szétfolyik (egyre nagyobb térrészre terjed ki), a maximális megtalálási valószínűsűrsűrűség csökken.

féle fizikai mennyiségeket számíthatunk ki, például átmeneti valószínűséget, kvantummechanikai áramsűrűséget, kölcsönhatási időt stb.

Az 5. ábrán egyszerű kétdimenziós példán mutatjuk be a HCsD-módszer működését. A bejövő HCs egy korong alakú potenciálon szóródik. Megfigyelhetjük, hogy – habár a bejövő HCs egy meghatározott irányú impulzussal rendelkezett – a körszimmetrikus potenciál minden irányba szétszórja a HCs-t. Ezt a jelenséget kísérletileg megfigyelhetjük például a Rutherford-féle szórás kísérletben: az atommagokba ütköző részecskék minden irányban (visszafelé is!) szóródnak. A szórt HCs-ben interferenciamentázatot figyelhetünk meg abban az irányban, amelyikben a bejövő HCs haladt. Ezt az interferenciát a bejövő és a szórt HCs interferenciája okozza.

Az STM modellezése esetén a HCs-t a tűből vagy a hordozóból indítjuk (attól függően, hogy a tű potenciálja negatív vagy pozitív a hordozóhoz képest), és azt vizsgáljuk, hogyan „alagutazik” át a HCs a másik elektródába (tehát a hordozóba vagy a tűbe). A vezető tűben (és a hordozóban) az elektronok szabadon mozognak, de a tű és a hordozó között néhány eV magasságú potenciálgát van. Ha egy a tűben szabadon mozgó elektron belülről nekiütközik a tűt határoló felületnek, akkor általában visszapattan a tű belsejébe. Ha azonban a tű elegendően megközelíti a mintát, azon a helyen, ahol a tű csúcsa legközelebb van a mintához, az elektron kicsi, de véges valószínűséggel átalagutazhat. Az STM-ben szokásos paraméterek esetén (1 V nagyságrendű előfeszültség, 0,1–1 nm közé eső távolság a tű és a minta között) a hullámcsomag legnagyobb része visszaverődik és csak körülbe-

6. ábra. Egyfálú szén nanocső látszólagos keresztmetszete a pásztázó alagútmikroszkópban. A vonal az STM-tű pályáját ábrázolja, amint állandó áramú üzemmódban áthalad a nanocső fölött. A vonalmetszet aszimmetriáját a tű csúcsának aszimmetrikus alakja okozza. A fekete korong a nanocső körülbelüli helyzetét és valódi keresztmetszetét ábrázolja. (Biró László Péter mérése.)



lül 0,1%-a jut át a másik elektródába. Ez valószínűségi értelmezésben azt jelenti, hogy a belülről a tű csúcsának ütköző elektronok közül körülbelül minden ezredik átalagutazik: így alakul ki az alagútáram.

## Alkalmazási példák

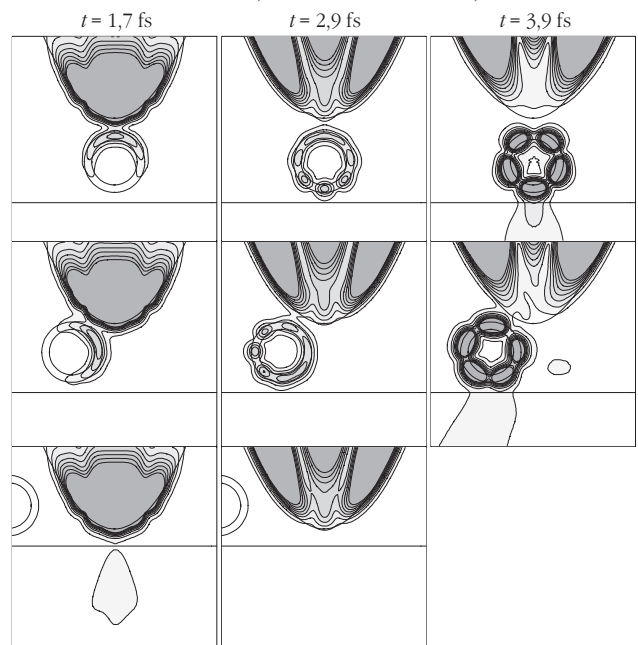
Az elmúlt évtizedben laboratóriumunkban a HCsD-módszert számos alagútmikroszkópos mérésünk értelmezésére felhasználtuk. Az alábbiakban ezek közül mutatunk be kettőt: a nanocső tű okozta látszólagos kiszélesedését és a nanocső zárt vége miatti interferenciák vizsgálatát.

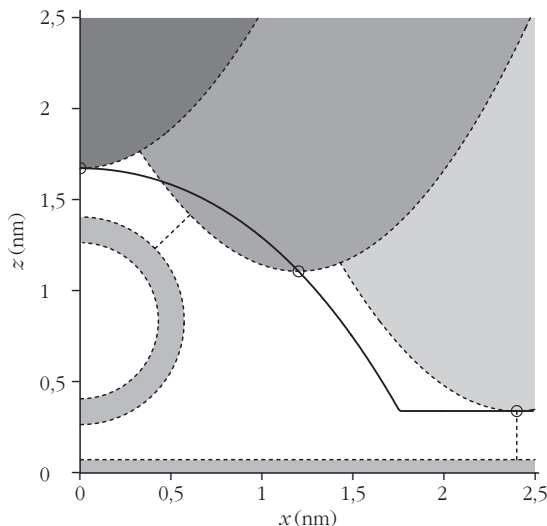
### A tűkonvolúció

Mint korábban már utaltunk rá, az STM-mérésekben a nanocsöveket nem körkeresztmetszetűnek látjuk, hanem lapos ellipszisnek – a cső látszólagos szélessége lényegesen nagyobb, mint látszólagos magassága. Az alábbiakban ezt a jelenséget elemezzük a HCsD-módszer segítségével.

Az alagútmikroszkópos felvétel során a tüvel mechanikailag pásztázunk a minta felülete mentén és közben a visszacsatoló hurokkal úgy szabályozzuk a tű minta feletti magasságát, hogy állandó maradjon az alagútáram. A 6. ábra egy ezen a módon mért vonalmetszetet mutat. A számítógépes szimulációban a visszacsatoló hurkot úgy modellezzük, hogy úgy szabályozzuk a tű  $z$  pozícióját, hogy a HCs átmeneti valószínűsége állandó maradjon. A 7. ábrán három jellegzetes tüpozíciót mutatunk be. A legfelső ábrason a tű a nanocső középvonala fölött áll,

7. ábra. A hullámcsomag áthaladása az STM-tűből a nanocsővön keresztül a hordozófelületbe három különböző tüpozíció esetére. Az időfejlődést a megtalálási valószínűsűrsűrűség árnyalt szintvonalas képével ábrázoljuk (a csőre merőleges keresztmetszetben). A fehér jelenti a nulla, a sötétszürke a maximális megtalálási valószínűsűrsűrűséget, mindegyik részabrábrán a tényleges maximumra normálva. A szintvonalakat négyzetgyökös skálán ábrázoltuk. A vastag vonalak a tű, a nanocső és a hordozó határfelületeit jelzik. A nanocső átmérője 1 nm.





8. ábra. A tű okozta kiszélesedés geometriai magyarázata. A vastag vonal mutatja azt a pályát, amelyet az STM-tű csúcsa leír. A szaggatott vonallal határolt árnyékolt felső hiperbolák, a középső gyűrű és az alsó félsík a tű, a nanocső és a hordozó keresztmetszeti képei. Három különböző tűhelyzetet mutatunk be különböző szürkeárnyalatokkal jelölve. Mindegyik tűhelyzetben szaggatott vonallal jelöltük meg a nanocső és a tű legközelebbi pontjait összekötő szakaszt.

a középső ábrákon a cső oldala fölött, az alsó ábráson pedig már a tű eltávolodott a nanocsőtől. Mindhárom tűhelyzet esetén elvégeztük ugyanazt a szimulációt: a HCs a tűből indul, és megvizsgáljuk, hogyan halad át a nanocsővön keresztül a hordozófelületbe. Amikor a tű a nanocső középvonala fölött áll, a HCs először átalagutazik a tű csúcsából a nanocsőbe (1,7 fs), azután körülöleli a nanocsövet (2,9 fs), végül átalagutazik a csőből a hordozófelületbe (3,9 fs). A cső két oldalán haladó hullámcsomagrészek interferenciamintázatot alakítanak ki a cső kerülete mentén. Ez az interferenciamintázat, mint azt részletesebb elemzéssel kimutattuk, jó közelítéssel megfelel a nanocső kvantummechanikai sajátállapotai szuperpozíciójának.

A középső ábráson megfigyelhetjük, hogy ha a tűt kissé elmozdítjuk a nanocső középvonala fölül (az ábrán 0,8 nm-rel), akkor a visszacsatoló huroknak a tűt kicsit lejjebb kell elmozdítania ahhoz, hogy ne változzon az átmeneti valószínűség. Ebben a helyzetben a HCs már nem a tű csúcspontján fog kilépni, hanem a tű oldalán – itt halad át a nanocsőbe. A jelenség kvalitatívan, de egyszerűen úgy írható le, hogy az alagutazás mindig a két elektróda legközelebbi pontjai között történik.

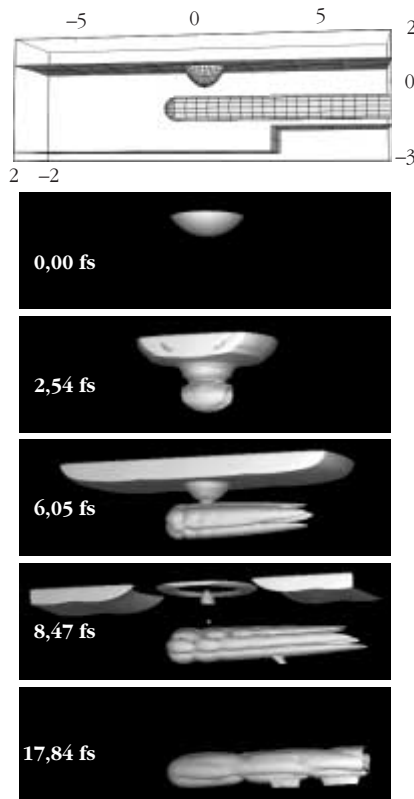
A legelső ábráson a tű vízszintes eltolása 2 nm. Ilyenkor a tű már annyira távol van a nanocsőtől, hogy a visszacsatoló hurok addig mozgatja lefelé a tűt, amíg annak a csúcspontja olyan közel kerül magához a hordozófelülethez, hogy a tű és a hordozó között jön létre alagutazás. Láthatjuk az ábrán, hogy ebben a helyzetben ismét a tű csúcspontján lép ki a HCs és alagutazik át a hordozóba. Mivel a hordozófelületbe való közvetlen alagutazásnál az elektronnak csak egy alagútátmeneten kell áthaladnia, ez a folyamat lényegesen gyorsabban lezajlik, mint a nanocsővön keresztüli alagutazás, ahol a HCs-nek két alagútközön is át kell haladnia. Ezért a nanocsővön kvázistacionárius állapot jön létre.

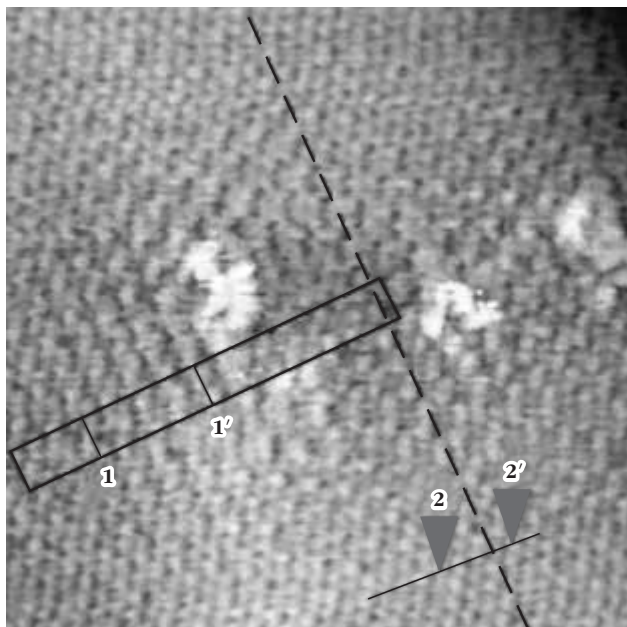
A röviden bemutatott HCsD-eredmények alapján a 8. ábrán szemléltetett egyszerű geometriai módszerrel modellezhetjük az STM-tű mozgását háromdimenziós objektumok leképezése esetén: a tű olyan vonal mentén mozog a minta felülete fölött, hogy a tű és a minta legközelebbi pontjai mindig egyforma távolságban legyenek egymástól. Természetesen ez az egyszerű geometriai modell csak akkor alkalmazható, ha a minta elektronszerkezete mindenhol egyforma, ugyanis az eltérő elektronszerkezetű pontokon más lesz az azonos alagutazási távolsághoz tartozó alagútáram értéke – azaz az elektronszerkezet változása hatására a visszacsatoló hurok változtatja a tű  $z$  pozícióját anélkül, hogy ehhez a minta felületén tényleges topográfiai „hegy” vagy „völgy” tartozna. Tehát a mért vonalmetszetnek a geometriai közelítéstől való eltéréséből az elektronszerkezet változásaira következtethetünk.

### A félig zárt nanocső

A kísérletekben gyakran látunk egyik vagy mindkét végükön zárt nanocsöveket. Ilyet például úgy lehet létrehozni, hogy az STM-tűre adott pillanatnyi áramimpulzussal elvágjuk a nanocsövet. Egyik STM-mérésünk során találtuk azt a különleges nanocső-elrendezést, amelynek modelljét a 9. ábrán bemutatjuk. Ebben a kísérletben a hordozófelület grafit volt, amely réteges szerkezetű anyag (a rétegek távolsága 0,335 nm) és felületén gyak-

9. ábra. Hullámcsomag időfejlődése, miközben az STM-tűből a grafitlépcső fölé kilógó nanocsővön keresztül a hordozófelületbe alagutazik. A felső kép mutatja a rendszer geometriáját és az ábrázolási dobozt, a méretek nanométerben vannak megadva. A nanocső átmérője 1 nm. Az időfázisképeken egy állandó valószínűségi sűrűségű felület időfejlődését mutatjuk be. A szintfelületnek az ábrázolási dobozon kívül eső részeit nem ábrázoltuk.





10. ábra. Argon-ionokkal besugárzott nanocső topográfiai képe. A hibahely közelében látható szuperstruktúra periodicitását az 1–1' vonal mutatja, a hibahelytől távolabb látható grafitrács periodicitását a 2–2' vonal.

ran előfordulnak „lépcsők”, amelyek viszonylag nagy, atomi sima „teraszokat” választanak el. A nanocsöveket tartalmazó szuszpenziót a grafitfelületre csöppentve az oldószer elpárolgása után a hordozófelületen visszamaradnak a nanocsövek. Ezek közül egy, a végén zárt cső kicsit kilógott egy grafitlépcső fölé: ezt a helyzetet vizsgáltuk meg a HCsD-szimulációval. Ezen a meglehetősen bonyolult rendszeren kiválóan tudjuk illusztrálni azokat a dinamikai jelenségeket, amelyek a HCs nanocsövön keresztüli alagutazása során fellépnek, és jól be tudjuk mutatni a HCsD-módszer teljesítőképességét is a kísérleti eredmények értelmezésében.

A 9. ábrán a túból induló HCs egy állandó valószínűsűrsűrűségű szintfelületének időfejlődését láthatjuk. Az STM-tű a szimulációban a csőnek a lépcső fölé kilógó vége fölött áll. A túból induló HCs először átalagutazik a nanocsőbe, körülfolja azt és elkezd szétterjedni a cső tengelye mentén mindkét irányban, miközben a cső kerülete mentén létrejönnek a már a 7. ábrán is bemutatott interferenciamintázatok. Mivel a cső kilóg a lépcső fölé, ez alatt a csődarab alatt olyan messze van a hordozófelület, hogy oda a HCs csak elhanyagolható valószínűséggel

tud átalagutazni, így a teljes HCs marad – egyelőre – a csővön. Azonban a HCs-nek a cső zárt vége felé (az ábrán balra) haladó része hamarosan eléri a zárt véget és onnét visszaverődik. A zárt vég felé haladó és az onnan visszaverődő elektronhullámok interferenciamintázatot hoznak létre a cső tengelye mentén. A HCs csak akkor tud átalagutazni a hordozófelületbe, amikor eléri a lépcső élét. Egybehangzóan más számításokkal és mérésekkel a HCsD-módszer azt mutatja, hogy az egyfalú szén nanocső ballisztikus vezető – akár több mm hosszúságig is.

Az alagútmikroszkópos mérések tanúsága szerint nemcsak a zárt vég, hanem minden más hibahely (olyan hely, ahol megváltozik a nanocső tökéletes szimmetriája) is interferenciamintázat megjelenését okozza az STM-képben, így például az ionbesugárással létrehozott hibahelyek is. A 10. ábrán  $Ar^+$ -ionokkal besugárzott szén nanocső atomi felbontású STM-képét látjuk (Osváth Zoltán munkája). Jól felismerhető a hibahelyen történő elektronhullám-szóródás által létrehozott szuperstruktúra. A hibahelytől távol a szuperstruktúra lecseng és ismét a hibamentes nanocsőre jellemző periodicitás látható.

## Összefoglalás

A fenti példákkal azt mutattuk be, hogy a hullámcsomagdinamikai módszer kiváló eszköz az elektronok dinamikájának részletes tanulmányozására nanoszerkezetekben. Ez a módszer – tudományos értéke mellett – jól felhasználható az oktatásban és a szemléltetésben is. A mozgó hullámcsomag segítségével nagyon szemléletesen lehet bemutatni az elektron mozgásának sok esetben meglehetősen bonyolult dinamikáját. A számítástechnika fejlődése napjainkra lehetővé teszi, hogy ilyen szimulációkat egy személyi számítógépen is elvégezzünk. A módszer részletes ismertetése alkalmazási példákkal a [www.nanotechnology.hu](http://www.nanotechnology.hu) honlapunkon megtalálható.

## Irodalom

1. GYULAI JÓZSEF: *Az anyagtudomány apoteózisa* – Fizikai Szemle 46/8 (1996) 264
2. BIRÓ LÁSZLÓ PÉTER: *Nanovilág: a szén nanocsőtől a kék lepkeszárnyig* – Fizikai Szemle 53/3 (2003) 385
3. KÜRTI JENŐ: *A varázslatos szénatom* – Fizikai Szemle 47/9 (1997) 276
4. BALÁZS ERZSÉBET: *A pásztázó alagútmikroszkóp és társai* – Természet Világa 1993/1
5. <http://nobelprize.org/physics/laureates/1986/>

## A TEJÚTRENDSEZER MODELLJE – PIZZÁBÓL

A németországi központú Európai Déli Observatórium (European Southern Observatory, ESO) a világ több pontján üzemeltet távcsöveket, például Chilében is. Ott található a szervezet központi csillagvizsgálója és ott van a legnagyobb távcső is. Az Observatórium minden évben nemzetközi csillagászati pályázatot ír ki diákoknak. Az elmúlt időszakban a *Catch a Star* című felhívásukra több sikeres hazai munka is érkezett, 2001-ben pedig a *Life in the Universe* vetélkedőn az Alternatív Közgazdasági Gimnázium csapata érte el az első helyezést. Idén folytatódott a remek magyar sorozat: A Polaris Csillagvizsgáló szakkörösői lettek a legjobbak a nemzetközi mezőnyben és díjnyertesként Chilébe utazhatnak.

A pályázati kiírásban nem határoztak meg konkrét témát, csak annyit, hogy tíz oldal legyen a terjedelme, és lehetőleg angol nyelven

íródjék. Budai Edina, Szabó Andrea és Szulágyi Judit *Star clusters and the structure of the Milky Way* (Csillaghalmozatok és a Tejút szerkezete) című munkájukkal pályáztak. Céljuk nem csupán galaxisunk megfigyelése és az ehhez kapcsolódó elméleti háttéranyag összegzése volt, hanem mindezek szemléltetése – ötletes módon egy pizzával. Budai Edina és Szabó Andrea az Óbudai gimnázium, Szulágyi Judit az Eötvös József gimnázium tanulója. Pályázatuk több száz nemzetközi pályázó előtt végzett első helyen. A lányok hosszabb ideje foglalkoznak csillagászáttal. Ismerve az előző évek pályázati anyagait tudták, hogy a sikerhez elengedhetetlen a kreatív ötlet. „A tejútrendszerrel írtunk egy pályázatot és úgy gondoltuk, hogy egy pizzával jól lehetne ezt modellezni” – mondta Budai Edina.



# HÁROM, TÖMEGKÖZÉPPONTTAL KAPCSOLATOS PROBLÉMA

Simon Péter

Leőwey Klára Gimnázium, Pécs

A következőkben három problémát vázlok fel, melyek mindegyike a kiterjedt merev test súlypontjával kapcsolatos. Mindhárom esetben először egy-egy jelenséget mutatok be. A jelenségek vizsgálatakor megfogalmazható egy-egy kérdés, melyek megválaszolása elméleti megfontolást igényel. A tömegközéppont fogalma és az egyensúlyi helyzetek jellemzése a középszintű érettségi vizsgán is követelmény, így a bemutatott jelenségek a gimnáziumi alapórákon is bemutathatók. A matematikai eszközöket is igénylő értelmezésük viszont sajnos meghaladja az átlagos tanuló türelmét, elmélyülésre való hajlandóságát, ezért inkább otthoni szorgalmi feladatnak tűzhető ki, illetve szakköri feldolgozásra alkalmas.

## Első jelenség:

### „Asztallapon túlra kilógó” könyv

Adott négy azonos méretű, homogén anyageloszlású lécc. Próbáljuk meg az asztal szélén a négy léccet egymásra, párhuzamosan úgy elhelyezni, hogy a legfelső lécc már teljes egészében kilógjon az asztallapon túlra!

A négy lécc teljesen azonos legyen, ne legyen rajtuk jelölés. (A négy léccet helyettesíthetjük négy azonos könyvvel is, így a jelenség gyakorlatilag előzetes készüléssel nélkül bemutatható akármelyik fizikaórán.) Tapasztalatom szerint még a fizikát szerető és értő diákok közül is csak kevesen találják meg próbálgatással e probléma megoldását. Ha sikerült is próbálgatással megtalálni a helyes elrendezést, akkor is érdemes elővenni a „megjelölt” léccet. A felső lécc egyik felét fessük feketére, a másik fele maradjon világos. Az alatta lévőnek a negyede legyen fekete, és érdemes a további negyedeiket is megjelölni vékony fekete vonallal. A harmadik lécc hatoda, a negyedik lécc nyolcada legyen sötét, s ezeknél is érdemes megjelölni a további hatodokat, illetve nyolcadokat is. Ezeket a léccet pontosan egymásra helyezve tegyük az asztalra úgy, hogy merőlegesek legyenek az asztal szélére. A legfelső (1) lécc tömegközéppontját áthelyezhetjük az alatta lévő lécc széle fölé, azaz  $1/2 \cdot 1 = 1/2$ -ét – amit feketére festettünk – óvatosan kitolhatjuk az asztallapon túlra. Ekkor az (1) lécc még éppen egyensúlyban van, hisz a tömegközéppontja (a közepe) a (2) lécc szélső pontja fölött van. Az ilyen helyzetű (1) és (2) léccek közös tömegközéppontja a (2) lécc  $1/2 \cdot 1/2 = 1/4$ -nél található, így ezt a pontot minden gond nélkül áthelyezhetjük a (3) lécc szélső pontja fölé. Ekkor az asztalon túlra lóg az (1) lécc  $1/2$ -e, és a (2) lécc  $1/4$ -e. Az (1) és (2) léccek közös tömegközéppontja most a (3) lécc széle fölött van, így az (1), (2) és (3) léccek közös tömeg-

középpontja a (3) lécc  $1/2 \cdot 1/3 = 1/6$ -nál van. Ez a pont is áthelyezhető a (4) lécc szélső pontja fölé, azaz a (3) lécc – a felette levőkkel együtt – eltolható  $1/6$  léccnyivel. Hasonló megfontolások alapján az utolsó (4) lécc eltolható hosszának  $1/2 \cdot 1/4 = 1/8$ -ával.

Most már az asztallapon túlra kilógnak egymást kiegészítve a léccek feketére festett részei, melyek hosszainak összege:

$$\frac{1}{2} \cdot 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} =$$

$$\frac{1}{2} \cdot \left( \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} \right) = \frac{25}{24} > 1.$$

(A rúd hosszát 1-nek tekintettük.)

Mivel az asztallapon túlra kilógó feketére festett részek együttes hossza nagyobb, mint egy lécc hossza, a legfelső (1) lécc óhatatlanul teljes hosszában az asztallapon kívülre kerül. Az 1. ábrán látható léccek 48 centiméter hosszúak, így a legfelső lécc a számolás és a tapasztalat szerint is 2 centiméterrel lóg ki.

Ezzel az igen egyszerű módszerrel könnyedén megoldottunk egy nehezebbnek nevezhető feladatot. Ismereteim szerint ez az elméleti feladat angol nyelven *Gamow–Cleveland: Fizika* című könyvében jelent meg először. Magyarul *Horváth Péter* tűzte ki a *KöMaL* 1962. októberi számában (97. oldal, 286. feladat). Abban a feladatban 5 teljesen egyforma  $L$  hosszúságú könyvet helyezünk egymásra:

„Határozzuk meg 5, majd tetszőleges  $n$  számú könyv esetében

a. azt a maximális távolságot a legfelső könyv szélének vetülete és az asztal széle között ( $x$ ), amely az egyensúly felborulása nélkül elérhető;

b. az egyes könyvek kilógását ( $x_i$ ) a fenti esetben!”

Az előző konkrét eset vizsgálata után már könnyedén megoldhatjuk az általános feladatot is. Az egymáshoz képest eltolt könyvek még éppen egyensúlyi helyzetben maradnak, ha a legfelső  $i-1$  könyv tömegközéppontja az

1. ábra. A négylécces elrendezés. Minden lécc bal, fekete szakasza az alátámasztáson túl lóg, így a legfelső lécc teljes terjedelmében az asztallapon kívül van.



$i$ -edik könyv szélére esik. Ide képzelhetünk  $i-1$  egységnyi tömeget. Így a legfelső  $i$  darab könyv közös tömegközéppontja az  $i$ -edik könyv szélétől

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{i-1}$$

távolságra van, tehát az  $i-1$ -edik könyv ennyivel kitolható az egyensúly megbontása nélkül. Az  $i$ -edik könyv „kiológása” az alatta levőn túlra:

$$x_i = \frac{L}{2 \cdot i}.$$

Ha  $n$  darab könyvet helyezünk egymásra, akkor a legfelső könyv és az asztal széle közötti távolság:

$$\sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2 \cdot i},$$

ami tetszőleges nagy lehet. (Ez a megoldás a Fazekas Gimnázium akkor elsős gimnazista tanulójától, *Pelikán Józseftől* származik. Megoldása 1963-ban jelent meg a márciusi számban.)

## Második jelenség: „Hegyek futó” kettős kúp

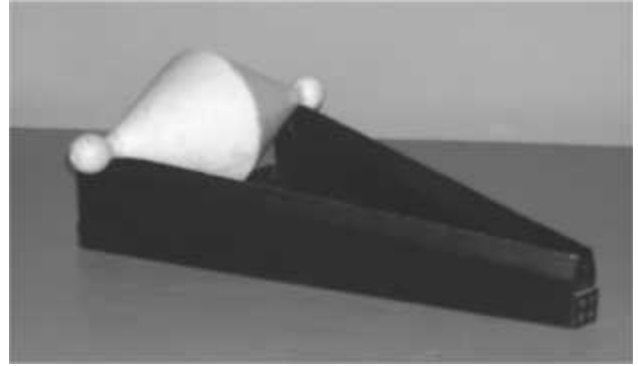
A legtöbb iskolai fizikaszertárban található – például a Calderoni cég által gyártott – felemás lejtő és a hozzá tartozó kettős kúp. (Ha ezek az eszközök nem állnak rendelkezésre, akkor sincs gond, hiszen két pálcával létrehozható a lejtő, papírból pedig tudunk kettős kúpot készíteni.)

A felemás lejtő két, felfelé szélesedő lécből készített ék alakú lejtő. Először a lejtő tetejére helyezett fémrudat engedjük el. Az várakozásainknak megfelelően gyorsulva halad lefelé a lejtőn. Most a kettős kúpot helyezük a lejtő közepére, s ott engedjük el. Ha eddig a lejtőt csak oldalról mutattuk, diákjaink meglepődve látják, hogy a kettős kúp a lejtőn „felfelé” mozog, azaz „hegynek fut”.

Mi lehet a jelenség magyarázata? Érdeemes megmutatni a lejtő sajátosságát. Sejthető, hogy a különös viselkedés hátterében a lejtő ékszerűsége és a lejtőn mozgó test alakja rejlik. Végigkövetve a kettős kúp mozgását a lejtőn, egy vonalzó segítségével méréssel is alátámaszthatjuk, hogy a kúp súlypontja lejjebb kerül a szélesedő ék alakú lejtőn való mozgása során. (A Calderoni cég által forgalomba hozott eszközön ez a sülyedés kb. 2 cm-nek adódik.)

Mi lehet a jelenség létrejöttének feltétele? Egy közismert fizikai kísérletgyűjteményben a következő mondatot találjuk: „A jelenség bekövetkezik, ha a kúp nyílásszögének fele nagyobb a lejtő hajlásszögénél.”

Könnyen meggyőződhetünk a fenti mondat pongyolaságáról, ha a következőt tesszük. Helyezzük a kettős kúpot a lejtő közepére, s a lejtőt a szélesebb végénél fogva emeljük meg. Ezzel a lejtő hajlásszögét változtatjuk. Így elérhető, hogy a lejtőre helyezett test továbbra is „felfelé” mozog, nyugalomban van vagy éppen „lefelé” mozog a lejtőn. A jelenség kimenetele valójában az lesz, hogy a kúp súlypontja mindig lejjebb kerül vagy helyben marad.



2. ábra. Kettős kúp a felemás lejtőn.

Ezt három szög együtt határozza meg. A kúp nyílásszöge legyen  $\alpha$ , a lejtő hajlásszöge  $\beta$ , az ék alakú lejtő nyílásszöge  $\varphi$ . Gondolatban mozgassuk a kúpot felfelé a lejtőn  $y$ -nyit. Ezalatt a kúp alátámasztási pontja a lejtőn  $y \sin \beta$ -t emelkedik. Eközben a kúp alátámasztási pontja

$$y \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

értékkel közelebb kerül a kúp tengelyéhez, amelyen a kúp tömegközéppontja is van. A kúp súlypontjának magasságváltozása:

$$\Delta H = y \cdot \sin \beta - y \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

Így a kettős kúp „hegynek futásának” feltétele:

$$\sin \beta < \sin \frac{\gamma}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

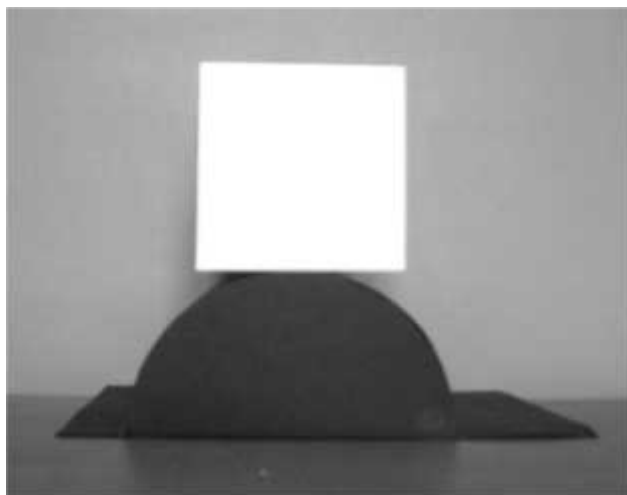
## Harmadik jelenség: Félgengeren stabil egyensúlyban álló kocka

Kartonlapból készítsünk egy félgengert és két kockát. A félgenger alaplapja egy félkör, melynek átmérője legyen 15 cm, az egyik kocka oldaléle 20 cm, a másiké 10 cm. (Nyilván elegánsabb lenne fából készült testekkel dolgozni.) Helyezzük a félgengert az asztalra úgy, hogy a henger tengelye az asztalon fekvődjön. Ezután óvatosan helyezzük a félgengerre a nagyobb kockát úgy, hogy az rajta egyensúlyi helyzetben legyen. Ebből a helyzetéből kicsit kimozdítva a kockát, az lecsúszik a félgengerről. Nehezen sikerül az egyensúlyi helyzetet megtalálni, s arról kiderül, hogy labilis. Most helyezzük a legkisebb kockát a félgengerre úgy, hogy az egyensúlyi helyzetben legyen, s a kocka alapélei vízszintesek legyenek. Ebből a helyzetéből kicsit kimozdítva kockát az néhány lengés után visszatér eredeti helyzetébe. Ez most stabil egyensúlyi helyzet (3. ábra).

A kockák egyensúlyi helyzetét vizsgálva eljutottunk egy komoly elméleti feladathoz:

„Határozzuk meg, mekkora kockát helyezhetünk az  $R$  sugarú félgömbre, ha azt akarjuk, hogy a kocka stabil egyensúlyban álljon!”

Ezt a feladatot 20 éve, 1986 márciusában tűzte ki *Szép Jenő* a *KöMaL*-ban (144. oldal, 2117. feladat). Nézzük a probléma megoldását.



3. ábra. A kocka stabil egyensúlyi helyzetben áll a félgöngyeren.

A félgömb (félgöngyer) sugara legyen  $R$ , a kocka oldala  $a$ . Stabil egyensúlyi helyzetben akkor van a kocka, ha kis kitérés esetén a helyzeti energiája növekszik. A helyzeti energia nulla szintjét a félgöngyerből és rajta a kockából álló rendszert az asztalra helyezve, a kocka kitérés előtti helyzeti energiájaként adhatjuk meg:

$$E_1 = m \cdot g \cdot \left( R + \frac{a}{2} \right).$$

Most gördítsük el kicsi  $\alpha$  szöggel a kockát. A félgöngyer közepe legyen  $O$ , a kockának a gördítés után a hengerrel

érintkező pontja  $A$ , a gördítés előtti hengerrel való érintkező pontja  $B$ , a kocka középpontja  $C$ . Az  $\alpha$  szöggel való gördítés után az  $OA$  távolság függőleges vetülete:  $R \cdot \cos \alpha$ .

Az  $AB$  szakasz függőleges vetülete:  $R \cdot \alpha \cdot \sin \alpha$ . (Itt felhasználtuk, hogy  $\alpha$  kicsi.)

A  $BC$  szakasz függőleges vetülete:  $(a/2) \cdot \cos \alpha$ .

Most már felírhatjuk az  $\alpha$  szöggel való elforgatás helyzetéhez tartozó helyzeti energiát:

$$E_2 = m \cdot g \cdot \left( R \cdot \cos \alpha + R \cdot \alpha \cdot \sin \alpha + \frac{a}{2} \cdot \cos \alpha \right).$$

A stabil egyensúly feltétele:  $E_2 > E_1$ , azaz

$$R \cdot \cos \alpha + R \cdot \alpha \cdot \sin \alpha + \frac{a}{2} \cdot \cos \alpha > R + \frac{a}{2}.$$

Ebből, felhasználva, hogy ha  $\alpha$  kicsi és ekkor  $\sin \alpha \approx \alpha$ , valamint  $\cos \alpha \approx 1 - (\alpha^2/2)$ , rendezés után adódik, hogy

$$R > \frac{a}{2}.$$

Vagyis, ha a félgömb átmérője nagyobb a kocka oldalánál, akkor a kocka stabil egyensúlyi helyzetben áll a félgöngyeren.

◇

A felvázolt három probléma mindegyike többé-kevésbé ismert. Az ilyen módon való tárgyalásukat azért tartom különösen érdekesnek, mert a gyakorlat és elmélet egységének nagyon szép példáit sikerül így felvillantani.

## OPTIKAI MÉRÉSEK COMPACT DISC-KEL

Molnár Miklós, SzTE TTK Kísérleti Fizikai Tanszék  
Farkas Zsuzsa, SzTE JGYTFK Fizika Tanszék

Cikkünkben ismertetjük a Szegedi Tudományegyetemen 2004. április 24-én megrendezett Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny (Fizika I. kategória, harmadik, kísérleti forduló) egyik feladatát. Bemutatjuk a kiadott feladatlapot, majd részletesen ismertetjük a feladat megoldását és a mérési eredményeket.

### Feladatlap

#### 1. Általános tudnivalók

Munkahelyén egy úgynevezett egyszer írható compact disc-et (CD-t) és egy lézerceruzát talál. Ezek felhasználásával kell optikai méréseket végeznie.

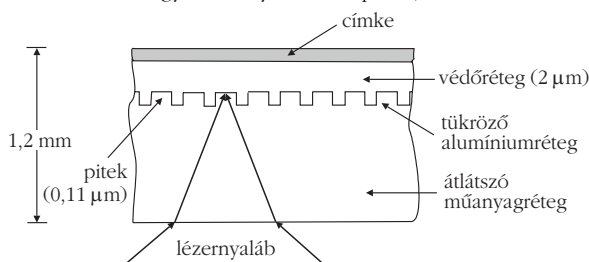
A CD-t 1,2 mm vastagságú műanyag lemezből, polikarbonátból (levegőre vonatkoztatott törésmutatója 1,584) alakítják ki (1. ábra). A sajtólással előállított CD úgynevezett pitekkal és bordákkal ellátott felületét 40 nm vastagságú alumíniumréteggel vonják be, tükrösítik. A tükrösítés után a CD-t még egy, körülbelül 2  $\mu\text{m}$ -es védő-

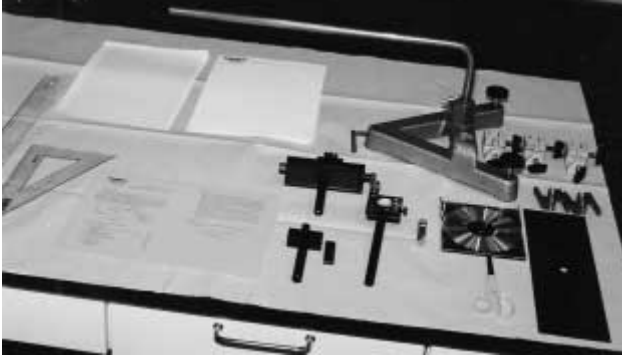
rétteggel látják el. Később erre az oldalra kerül a címke. Az úgynevezett információs sík letapogatása a lemez alsó oldalán történik. Átlátszó volta miatt ezt az oldalt transzparens rétegnek nevezik.

#### 2. Mérésekhez rendelkezésre álló eszközök

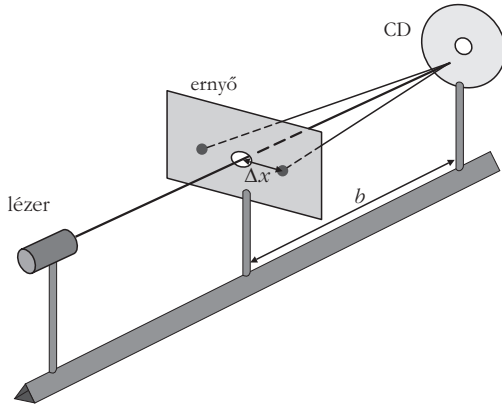
1 db CD (compact disc) • 1 db lézerceruza (az általa kibocsátott fény hullámhosszát a lézeren feltüntettük) •

1. ábra. Egy szokványos CD felépítése, szerkezete.





2. ábra. A versenyzők munkahelye a számukra rendelkezésre bocsátott eszközökkel.



3. ábra. A kísérleti elrendezés térbeli elvi vázlata.

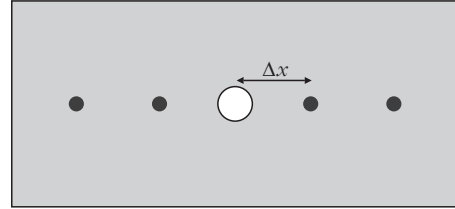
1 db állványtalp rúddal • 3 db befogó dió • 1 db állítható befogó a lézer részére • 1 db ernyő, közepén lyukkal • 1 db eltoló, az ernyő befogására • 1 db befogó távtartóval, a CD rögzítésére • 1 db műanyag csipesz • 1 db olló • 1 db egyenes vonalzó • 1 db derékszögű vonalzó • milliméterpapír • fejléces géppapír (2. ábra)

### 3. Feladatok

a) Állítsa össze a CD-ből, az ernyőből és a lézerceruzából álló elrendezést az alábbiak szerint! A három befogó dió felhasználásával a talpba helyezett rúdon rögzítheti az alábbiakban felsorolt elemeket. A lézert helyezze az állítható lézerbefogóba, majd helyezze el a tartórúd egyik végének közelében. A rúd másik végén helyezze el a befogóba tett CD-t. A lézerbefogó megfelelő beállításával elérheti, hogy a lézer fénye merőlegesen essék a CD-re. Helyezze az eltolóban rögzített ernyőt a CD és a lézer közé úgy, hogy a lézer fénye átmehessen a lyukon. Szükség szerint módosítson a befogott elemek magasságain. (Az olvasók számára az összeállítást a 3. ábrán közöljük.) A beállítást követően ejtsen fénysugarat a CD-re. Mit tapasztal?

b) Tapasztalatait felhasználva végezzen méréseket annak eldöntésére, hogy a megfigyelt jelenség vékonyrétegen létrejött interferencia vagy fényelhajlás-e.

c) Döntése alapján, szisztematikus méréssorozat és a szükséges számolások elvégzése után adja meg a vékonyréteg vastagságát (ha azt állapította meg, hogy interferenciáról van szó) vagy az optikai rács rácsállandóját (ha azt állapította meg, hogy elhajlásról van szó)!



4. ábra. A közepén lyukas ernyő, rajta a CD-ről reflektált fényfoltokkal.

d) Megfigyeléseiről, méréseiről készítsen jól áttekinthető, részletes jegyzőkönyvet! A mérési adatokat foglalja jól áttekinthető táblázatba. Jegyzőkönyve tükrözze a méréseinek, gondolkodásának menetét. Térjen ki a hibaforrásokra, a mérések pontosságára is!

A lézerral gondosan dolgozzon. *Ügyeljen arra, hogy a lézer fénye se a saját, se mások szemébe ne jusshasson.* A megoldásra rendelkezésre álló idő: 120 perc.

### Megoldás

A feladatlap 3. a) pontban leírtaknak megfelelő beállítások elvégzése után az ernyőn – a lyukra szimmetrikusan elhelyezkedő – világos pontsorozatot láthatunk (4. ábra).

Először tehát azt kellett megvizsgálni, hogy a látható jelenség vékonyrétegen létrejött interferencia vagy fényelhajlás-e. Ha vékonyrétegen létrejött interferenciáról van szó, akkor az első maximumra vonatkozóan (visszavert fényben) az 5. ábra alapján fenn kell állnia az alábbi összefüggésnek (a részletes levezetést lásd később):

$$2l\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} = \frac{\lambda}{2},$$

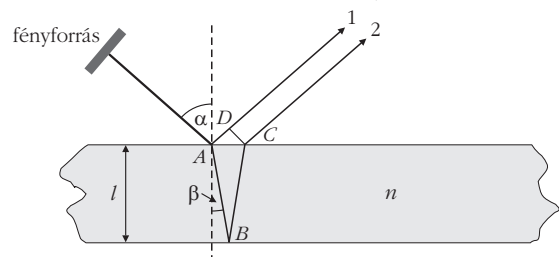
ahol  $n$  a réteg törésmutatója (polikarbonátra  $n = 1,584$ ),  $\lambda$  a fény hullámhossza,  $l$  a rétegvastagság. Ebből átrendezéssel a  $l$  rétegvastagságra az alábbi formula adódik, ahol  $\Delta x$  az első rendű maximum távolsága a középső világos helytől,  $b$  pedig az ernyő és a CD közötti távolság:

$$l = \frac{\lambda}{4\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} = \frac{\lambda}{4\sqrt{n^2 - \sin^2 \arctg \frac{\Delta x}{b}}}.$$

Ha a tapasztalt jelenséget úgy értékeljük ki, mintha interferenciakép lenne, akkor  $\lambda = 649,2$  nm esetén az 1. táblázatban látható értékek adódnak a  $l$  rétegvastagságra (két, eltérő gyártótól származó CD-re vonatkozóan).

A mérések alapján a vékonyréteg vastagságának  $l_{\text{atlag}} \sim 106$  nm-nek kellene lennie, de ez a valóságban 1,2 mm,

5. ábra. A fény visszaverődési, törési sémája planparalel rétegen.





1. táblázat

## Interferencia feltételezésével számolt CD-vastagságok két különböző gyártó esetén

$b$ (cm)	$2\Delta x$ (cm)	$l$ (nm)	$l_{\text{átlag}}$ (nm)	$l_{\text{szórás}}$ (nm)
24,25	23,17	106,481		
23,30	22,35	106,508		
22,00	21,10	106,507		
21,00	20,05	106,476	106,610	0,281
20,00	19,15	106,496		
19,00	18,35	106,556		
18,00	19,05	107,244		
27,6	24,90	106,099		
26,0	23,45	106,098		
25,0	22,55	106,098		
24,0	21,70	106,113	106,226	0,342
23,1	20,80	106,087		
22,0	19,85	107,000		
21,0	18,90	106,084		

ami 11300-szor, tehát 4 nagyságrenddel nagyobb  $l_{\text{átlag}}$ -nál. Mindebből az következik, hogy *nem interferenciáról*, hanem *elhajlásjelenségről* van szó.

A fentiekben alkalmazott, az  $l$  rétegvastagságra érvényes formula levezetéséhez tegyük fel, hogy az 5. ábrán jelölt fényforrásból a környező levegőn át  $\lambda$  hullámhosszúságú fény esik  $\alpha$  szög alatt az  $n$  törésmutatójú, átlátszó, planparalel rétegre. Az  $A$  pontban visszavert 1 és az egyszeres törés után a  $B$  pontban visszavert, majd az első felületen megtörve kilépett 2 koherens sugarak között  $\Delta$  optikai útkülönbség van, amelyre az ábra alapján felírható:

$$\Delta = n(\overline{AB} + \overline{BC}) - \overline{AD} = 2n\overline{AB} - \overline{AD}. \quad (1)$$

Felírhatók továbbá az ábra alapján az alábbi összefüggések is, belátva, hogy az  $ACD$  szög szintén  $\alpha$ :

$$\overline{AB} = \frac{l}{\cos\beta}, \quad (2)$$

$$\overline{AD} = 2l \operatorname{tg}\beta \sin\alpha. \quad (3)$$

A (2) és (3) egyenleteket behelyettesítve az (1) egyenletbe az alábbi összefüggéshez jutunk:

$$\Delta = 2nl \left( \frac{1}{\cos\beta} - \frac{\operatorname{tg}\beta \sin\alpha}{n} \right). \quad (4)$$

Alkalmazva a törés törvényét:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n, \quad (5)$$

és trigonometriai azonosságot felhasználva az útkülönbségre adódó formula:

$$\Delta = 2l\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}. \quad (6)$$

Figyelembe kell még venni azt a hullámtanból ismert tételt, hogy optikailag sűrűbb felületről való visszaverődéskor  $\pi$  fázisugrás lép fel (esetünkben ez az 1-es fény-

sugárra igaz), amely  $\lambda/2$  útkülönbségnek számít, ezért a fázisugrást is beszámítva az útkülönbség visszavert fényben:

$$\Delta = 2l\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} - \frac{\lambda}{2}. \quad (7)$$

Az erősítésre vonatkozó

$$\Delta = 2m \frac{\lambda}{2} \quad (8)$$

feltételt figyelembe véve

$$2l\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (9)$$

ahol  $m = 0, 1, 2, \dots$  Ez a formula  $m = 0$  értékénél visszaadja a megoldásban korábban már alkalmazott formulát.

A feladatlap utasításait követve és megvalósítva a 3. ábrán látható elvi elrendezést, elhajlási képet állíthatunk elő az ernyőn. Ennek az a magyarázata, hogy a CD barázda reflexiós rácsként működnek. Az elhajlási kép (pontos beállítás után: a CD síkja függőleges, normálisra egybeesik a lézersugár vízszintes irányával, a CD megvilágítása valahol a vízszintes átmérőjén történik) vízszintes és az ernyőn található nyílásra szimmetrikus; az erősítési helyek első rendben láthatók. Az erősítési helyek egymástól való távolsága változik, ha a rendelkezésre álló eltolóval változtatjuk az ernyő-CD távolságot.

Ha az elsőrendű maximumok egymástól való távolságát  $2\Delta x$ -szel, az ernyő-CD távolságot  $b$ -vel jelöljük, akkor az erősítési helyek  $\alpha$  irányaira fennáll az alábbi összefüggés:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{2\Delta x}{2b}. \quad (10)$$

Mint ismeretes, az optikai rácsnál – akár transzmissziós, akár reflexiós – azokban az irányokban kapunk fénymaximumot, amelyekre az egymással szomszédos, egymástól rácsállandónyi ( $d$ ) távolságra levő rések szélső sugarai között az optikai úthosszkülönbség a félhullámhossz páros számú többszöröse:

$$\Delta s = 2k \frac{\lambda}{2}. \quad (11)$$

Az  $\alpha_k$  irányt kifejezhetjük az útkülönbséggel és a rácsállandóval:

$$\sin\alpha_k = \frac{\Delta s}{d}, \quad (12)$$

így a fénymaximumok irányaira az alábbi összefüggés adódik:

$$\sin\alpha_k = \frac{2k\lambda}{d}, \quad (13)$$

ahol  $k$  az elhajlás rendjét jelöli. Az általunk végzett mérőkísérletben az elhajlás rendje  $k = 1$  volt. A (10) és (13) egyenleteket összevetve a rácsállandó az  $\alpha$  értékének meghatározása után közvetve a

$$d = \frac{\lambda}{\sin\alpha}$$

összefüggés alapján, vagy az alábbi kifejezésből közvetlenül kiszámolható:

$$d = \frac{\lambda}{\sin \arctg \frac{2 \Delta x}{2b}}$$

A mérési feladatot két különböző, a kereskedelmi forgalomban kapható CD-re végeztük el, a kiadott lézerceruza által kibocsátott fény hullámhossza,  $\lambda = 649,2$  nm volt. A kapott rácsállandóértékek  $1500,4 \pm 6,5$  nm, illetve  $1579,3 \pm 1,9$  nm volt a belőlük számolható  $Z = 1/d$  karcolatszám pedig  $666 \pm 2,65$  1/mm és  $633 \pm 0,78$  1/mm-nek adódott. A mérés részletes eredményeit 2. táblázat tartalmazza.

Megjegyezzük, hogy az irodalomban a CD-k rácsállandójának értékére általában 1600 nm-t adnak meg. Ennyi a jellemző rácsállandója a CD-ROM-oknak és az újraírható CD-knek is. Egy német szabvány szerint  $d$  megengedett értéke:  $d = 1,6 \pm 0,1$   $\mu\text{m}$ .

Sűrűbb karcolatszám jellemzi viszont a több információt tartalmazó DVD-t, ott a jellemző rácsállandó 740 nm, a  $Z$  karcolatszám mm-enként ennek megfelelően körülbelül 1350.

2. táblázat

**CD-k, mint optikai rácsok rácsállandói két különböző gyártó esetén**

$b$ (cm)	$2\Delta x$ (cm)	$d$ (nm)	$d_{\text{átlag}}$ (nm)	$d_{\text{szórás}}$ (nm)
24,25	23,17	1506	1500,4	6,5
23,30	22,35	1501		
22,00	21,10	1501		
21,00	20,05	1507		
20,00	19,15	1503		
19,00	18,35	1493		
18,00	19,05	1492		
27,6	24,90	1579		
26,0	23,45	1579		
25,0	22,55	1579		
24,0	21,70	1576		
23,1	20,80	1581		
22,0	19,85	1579		
21,0	18,90	1582		

#### Irodalom

1. B. ECKERT, W. STETZENBACH, H.J. JODL: *Low Cost – High Tech Freibandversuche Physik* – Aulis-Verlag Deubner, Köln, 2000.
2. C. BIAESCH-WIEBKE: *CD lemezjátszó és digitális magnó* – Műszaki Könyvkiadó, Bp., 1991.
3. BUDÓ Á., MÁTRAI T.: *Kísérleti fizika III.* – Tankönyvkiadó, Bp., 1977.

## KOVÁCS MIHÁLY (1916–2006), A PIARISTA TANÁR

A fizikatanárok közül a legidősebbek még emlékeznek a Tanár Úrra. Talán az egyik utolsó képviselője volt annak a nagy, klasszikus fizikatanár-nemzedéknek, amelyet többek között *Vermes Miklós*, *Kunfalvi Rezső*, *Csekő Árpád* neve fémjelez. Legendákat mesélnek kísérleteiről, technikai ötleteiről, szakköreiről és az első számítógépekről, amelyek iskolai elterjesztésének nagy apostola volt. Először diákként találkoztam vele. Mint kecskeméti piarista diák egy osztálykiránduláson jártam Budapesten, és a fizikumban megcsodáltam a „Csodamalmot” és a „Műegeret”. Tisztelettel és csodálkozással néztem azokat a kortársaimat, akiknek lehetőségük volt arra, hogy ilyen munkában részt vegyenek.

### Ifjúsága

Szegeden született 1916. január 2-án, az első világháború kellős közepén, mint szüleinek hetedik, legkisebb gyermeke. Édesapja jómódú asztalosmester volt, több segéddel dolgozott. Az asztalosműhelyben a kis Mihály nagy érdeklődéssel nézte a segédek munkáját és ő is megtapasztalta a munka élményét. Édesapja korai halálával a család viszonylagos

jóléte véget ért. Az özvegy édesanya szegénységben nevelte fel gyermekeit.

Az elemi elvégzése után az édesanya tehetséges fiát a szegedi Dugonics András Gimnáziumba adta. Itt végezte el a nyolc gimnáziumi osztályt, itt ismerkedett meg a piarista élettel és a cserkészettel. Ez olyan nagy hatással volt rá, hogy jelentkezett a piarista rendbe szerzetesnek.

Budapesten teológiai és ezzel párhuzamosan egyetemi tanulmányokat is végzett. Ebben az időben jelentkezett egy repülős tanfolyamra, az esztergomi repülőtérre, ahol vitorlázórepülőigazolványt szerzett. Haláláig érdeklődő figyelemmel kísérte a repülés fejlődését és az úrrepülést is.

1941-ben pappá szentelték. Ugyan ebben az évben szerezte meg a budapesti Pázmány Péter Tudományegyetemen a matematika-fizika szakos tanári oklevelet. Iskolai vezető tanára fizikából Öveges József volt, akihez

egy életen keresztül szakmai és emberi barátság is kötötte. Az Öveges-hagyatékot haláláig gondozta. Öveges József emberi és tanári munkásságáról – az érte mondott gyászmisén – így emlékezett meg Kovács tanár úr a piarista kápolnában: „Nagy ambíció volt benne, s ez kellett



is ahhoz a szinte emberfeletti munkához, ami egész életére jellemző volt, de saját adottságának és lehetőségének mérlegelésében nem lépte túl a realitásokat. A hasonló energiákkal rendelkezők közül talán másokat elragadott volna a 60 éves korban felajánlott egyetemi katedra. Ő világosan látta, hogy ezen a téren nem alkothat nagyot, de az ismeretterjesztés terén igen. Habozás nélkül ezt választotta.” Mintha saját hitvallását mondta volna el.

## Tanári pályája

Két évig tanított Szegeden mennyiségtant, fizikát és gyorsírást. Osztályfőnök és cserkészparancsnok volt. Elindította az aero-szakkört, a repülőmodellezést a diákok számára, télen pedig síelni tanította őket a Tisza gátján.

A következő, 1943–44-es tanévtől a budapesti Piarista Gimnáziumba került tanárnak, itt dolgozott – rövidebb időszakok kivételével – nyugdíjazásáig. Budapesten is rögtön beindította az aero-szakkör működését. Az egyházi iskolák körül zajló események miatt 1948–50 között Zuglóban működött káplánként. 1982-ben súlyos szembetegsége miatt helyezte nyugalomba a tartományfőnök úr. A hályogot később megoperálták és a műtét után újra látott. A Fizikus Klubban, míg egészsége engedte, segítette a szakköröket. Az utolsó éveit a pesti rendházban töltötte nyugalomban.

### A fizika oktatása órákon és azon kívül

Tanári magyarázatai közérthetőek és szemléletesek, a fizikáért nem rajongók számára is sokáig emlékezetesek voltak. Mindig volt valami technikai érdekesség, amelyen keresztül igyekezett megérteni a fizika elvont törvényeit. Kitűzött feladatai, saját ötletei a mindennapi élethez kapcsolódtak. (Ezek azonban közel tíz évig nem jelenhettek meg a *Középiskolai Matematikai Lapokban*.) Sokat kísérletezett, a méréseknél is arra törekedett, hogy a gondolatmenet és a megvalósítás mindenki számára érthető legyen. Azt vallotta, hogy a diák tudása a tanítvány és a tanár közös munkájának eredménye. Ezzel az együttműködéssel a fizika törvényei szinte „maguktól” tárultak föl diákjai előtt.

### A fizikus klub

Órán kívül is szívesen foglalkozott a diákokkal, ahogy Ő nevezte őket: a „fiaimmal”. Nemcsak fizikát tanított nekik, hanem előadni is megtanította tanítványait: A megépített gépeket általában előadások keretében mutatták be a diákok társaiknak, ahol elmagyarázták azok fizikai és technikai elveit, majd működés közben bemutatták magukat a gépeket is. Itt ismertették többek között az ATOMKI pályázatokra beadott díjnyertes dolgozatokat is.

### Fizikai eszközök beszerzése, készítése

Az Ő munkája nyomán lett országsszerte híres és elismert fizikaszertára a budapesti Piarista Gimnáziumnak. Az első komolyabb fejlesztés 1953-ban történt, amikor 7000 Ft-ért oszcilloszkópot vett. Ez akkoriban nagy összegnek számított – hiszen egy tanári fizetés csak 1500 Ft volt – és ráadásul túl is lépte az iskola teljes fejlesztési

keretét. Az 1980-as évek elejéig a Caritas szervezet is támogatta a katolikus iskolák szertári megrendeléseit. Így vásároltak a fizikumnak Geiger–Müller számlálót, Wulf-féle elektroszkópot, folytonos ködkamrát stb. A diákok még olyan kísérleti eszközöket is terveztek, amelyeket később a Tanszergyár is gyártott: például rádiópad, elektronelhajlást bemutató készülék, G–M-cső stb.

Ma is megvan a Tanár Úr által szerzett és most is működő távcső. A csillagászat oktatásához – az egyik helyiségben – mini-planetáriumot épített diákjaival.

Rendszeres kiállítója volt az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Középiskolai Fizikatanári Ankétjainak. Az eszközkiállításokon bemutatott eszközeiért majdnem minden évben díjat és jutalmat kapott. 1963-ban felterjesztették a Fizikai Társulat középiskolai tanároknak adott legnagyobb szakmai kitüntetésére, a Mikola-díjra. Hiába szavazták meg – az akkori körülmények között nem –, csak két évtizeddel később, 1983-ban kaphatta meg.

### A kibernetikai szakkör

Az 1958–59-es tanévben húsz negyedikes tanulóval indította el az első kibernetikai szakkört. A következő években készültek el a sokak által megcsodált kibernetikus gépek:

1960 LOGI kártyázógép (zsírozni tudott)

1961 Csodamalom (3×3-as mezőn malmozott)

1962 Halom (három halomból lehetett elvenni, az nyert aki az utolsót vette el)

1963 Műegér (labirintusban megkereste a sajtót, és odament az egér)

1964 8-as Kombinett (11 számot rakott sorrendbe, átrendezéssel)

1965 Hídverés (két part között vert hidat a gép és egy játékos előre adott pillérekre)

1965 Didaktomat (népszerű nevén a feleltető gép)

1966 Mikromat (4 bites jelfogós számítógép)

A Didaktomatot és a Mikromatot szabadalmaztatták, a Tanszergyár gyártotta őket, és a Mikromatból 3000 darabot el is adtak. A témáról több cikke jelent meg a *Középiskolai Matematikai Lapokban*, az *Élet és Tudományban*, a *Fizika Tanításában* és a *Rádiótechnikában*. (A korra jellemző, hogy a Piarista Gimnázium saját nevében nem szerepelhetett, így lett belőle „Mikszáth Kálmán téri gimnázium”.)

Mikromat, az első iskolai számítógép (Képes Géza gyűjteményéből)



1968-ban megjelent a *Kibernetikai játékok és modellek* című könyve, amely a szakkörök anyagát tartalmazta. Ezt mindkét akkori német államban, valamint Svájcban is kiadták. A logikai gépek leírását és kapcsolási rajzait tartalmazó kiadvány pedig *Néhány kibernetikai játékgép* címmel 1971-ben látott napvilágot.

#### *Számítástechnikai fejlesztései*

A magyar iskolák közül elsőnek a budapesti Piarista Gimnáziumban volt számítógép, már 1964-ben (Minivac 601). A külföldről beszerzett számítógépeket a fizikai kísérleteknél is felhasználták. A diákok szimulációs programokat írtak, amelyekkel a fizikai modelleket igyekeztek szemléletessé tenni (rezgések, hullámok összetétele stb.). Elkészültek a fénykapuk, sőt a fényinterferencia mérésére és bemutatására is készült számítógépes eszköz. A német Fischertechnik által forgalmazott készlet lehetőséget adott arra is, hogy különböző gépek és feladatok számítógéppel történő vezérlését (négy szabadsági fokkal rendelkező daru, vezérelt lift, vezérelt robotokkal végzett kémiai kísérletek) kidolgozzák és publikálják.

#### **Életműve**

*Kovács Mihály* Tanár Úr igen értékesnek tartotta a szorgalmas munkát, akkor is, ha az közepes tehetséggel párosult, ezért nemcsak a kiugró tehetségek képzését szorgalmazta, noha ilyen tanítványa is több volt.

Tengernyi órán és szakkörön igyekezett átadni a fizika iránti szerelmét diákjainak, jól tudta motiválni őket. Kitüntetés volt a tanulóknak, ha valaki taníthatott a tanfolyamain. Többen még az egyetemről is visszajártak Hozzá oktatni, ami abban az időben teljesen újdonság volt.

Személyesen akkor ismertem meg igazán, amikor nála gyakoroltam. Mindig megszólítható volt. Bármilyen kísérletet megmutatott, igyekezett úgy segíteni, hogy az a jó érzésem legyen, mintha mindenre én magam jöttem volna rá.

Munkásságát többször elismerték: a Fizikatanári Anketon oklevelekkel, a Fizikai Társulat Mikola-díjjal. 75. születésnapján megkapta Magyar Köztársaság Aranykoszorúval Díszített Csillag Érdemrendjét, 2003-ban a Rátz Tanár Úr életműdíjat. Kilencvenedik születésnapján a Neumann János életműdíjjal és a Magyar Köztársaság Ezüst Érdemkeresztjével tüntették ki.

Életművét igazán tanítványai fémjelzik, akik a fizikában és a számítástechnikában az ő indításával tudtak komoly felfedezéseket tenni. Pedagógiai nagyszerűségét jellemzi, hogy – a lehetőségekhez alkalmazkodva – mindig megtalálta, hogyan kell fizikát jól tanítani, eszközt szerezni, sokszor szinte a semmiből gépet építeni. Hogyan lehet bízni a diákokban, hogy ők is bízzanak abban, hogy terveik valóra válhatnak.

Piarista volt, a tanítás töltötte be egész életét. Egy a diákokért és a jó oktatásért mindent megtevő szakember-től búcsúzunk.

*Görbe László*

Piarista Gimnázium, Budapest

## TERMÉSZETTUDOMÁNYOS VARÁZSTORONY EGERBEN

Új színfolttal gazdagodott az Eszterházy Károly Főiskola Líceum épületének tornya. A toronyépületben eddig is működő Csillagászati Múzeum, Camera obscura (periszkóp) és Pedagógiatörténeti Múzeum mellett megnyílt – a „Hands-on-Science” múzeumok mintájára – a *Varázsterem*. Mindezen látványosságok összefoglaló neve *Természettudományos Varázstorony* lett.

A tudomány széleskörű megértését a „kézzel fogható”, kipróbálva tanulás nagyban elősegíti, mint ahogy a kisgyermek is ily módon, tapasztalva ismeri meg környezetét. A Varázsterembe ellátogatók érdekes, saját maguk által elvégezhető kísérleteken keresztül ismerkedhetnek meg alapvető, elsősorban fizikai jelenségekkel, tudományos „játékokat” játszhatnak, számítógépen természeti jelenségek eredeti felvételeit, animációit futtathatják, de lehetőség nyílik az interneten természettudományos csatornák, honlapok böngészésére is. A Varázsteremben vitrines kiállítás is nyílt régi kísérleti eszközökből, feltárások ősmaradványaiból.

A természettudományok ilyen formában történő népszerűsítése hiánypótló az észak-magyarországi régióban.

A Varázsterem a Líceum tornyának 6. emeletén várja a kis- és középiskolásokat márciustól október közepéig –

hétfő kivételével – naponta fél tíztől fél négyig. A téli időszakban hétfőeken tart nyitva.

Már több évvel megelőzve a Varázsterem gondolatát az Eszterházy Károly Főiskola tanárai diákcsoportoknak rendhagyó fizika- és kémiaórákat tartottak, amelyek mostantól, földrajzórakkal kiegészülve, szervesen kapcsolódnak a Természettudományos Varázstorony programjához. Az Egerbe érkező iskolások továbbra is igényelhetik azokat. A kísérleti bemutatókkal, magas színvonalú szemléltetéssel ötvözött foglalkozásokat előre egyeztetett témákban és időpontokban a főiskola előadótermeiben tartják.

Az alábbiakban a fizika, a kémia és a földrajz tantárgyak rendhagyó óráinak címeit ismertetjük:

#### **Fizika**

(egyeztetés: 36/520-471; fizika@ektf.hu)

#### *Kísérletek – 196°C-on*

Ilyen alacsony hőmérséklet a Földön nem létezik, éppen ezért tarthat különös érdeklődésre számot a folyékony nitrogénnel végzett kísérlet sor. Bemutatjuk, milyen





A Líceum toronyépülete (fotók: Vida József)

változások mennek végbe az anyag tulajdonságaiban (gumiban, élő növényi szövetekben stb.), ha a folyékony nitrogén hőmérsékletére lehűtjük. Ezen kívül hőtágulással kapcsolatos kísérletek, Leydenfrost-tünetény, gőzszökőkút, nitrogénrakéta nyújthatnak rendkívüli élményt az érdeklődőknek.

#### *Örvényáramok, elektromágneses indukció*

A hasonló című iskolai tananyag sokak számára riasztóan érthetetlen törvényei elevenednek meg az érdekle-

Elszállt a hőlégballon



szítő, meglepő kimenetelű kísérletekben. A Lenz-ágyú, a mágnes lassú esése rézcsőben, az indukciós kemence, a Waltenhofen-féle inga, az igen erős mágnesekkel végzett kísérletek sora tartozik a rendhagyó fizikaórába.

#### *A napenergia hasznosítása*

Rövid történeti áttekintés az ókortól napjainkig. A korszerű napenergia-eszközök (napkollektorok, nap-elemek, naperőművek) bemutatása és működésük ismertetése.

#### *Csillagászat: a Naprendszer*

A belső bolygók, a külső bolygók és a kisbolygók (aszteroidák). Az üstökösök és a meteorok eredete. A Naprendszer távolabbi környezete. A Nap és a Naprendszer keletkezése és jövőbeli fejlődése (vetített képes előadás).

#### *„Hangos” fizikai kísérletek*

A hangrezonancia bemutatása hangrezonátorokkal, félhullámú, negyedhullámú rezonátorok. A hang terjedésének vizsgálata vákuumban, a hang terjedési sebességének meghatározása különböző gázokban. A szirénák működési elve. A fúvós hangszerek működése, egyszerű pánsíp készítése. Az emberi hang magasságának mesterséges megváltoztatása.

#### *Időjárás, éghajlatváltozás*

Az időjárási jelenségek (szélrendszerek, ciklonok) bemutatása egyszerű kísérletekkel. Az üvegházhatás és a globális felmelegedés, a várható következmények. Az emberi tevékenység hatása. Van-e lehetőség a katasztrófa elkerülésére?

#### *Az ezerarcú fény csodái*

A fény kettős természete. Alapvető geometriai optikai jelenségek bemutatása lézerral. A fény részecsketulajdonsága, kísérletek a külső fényelektromos hatásra, a fényelem, a fotocella és napelem működésének szemlélteté-

Céltalövés légágyúval





Bermuda-háromszög a hengerben

se. Interferencia. Fényelhajlás résen, színek előállítás optikai ráccsal, diszperzió, prizmaszínbontás Bunsen-féle spektroszkóppal. Színkeverés (additív és szubtraktív). A poláros fény tulajdonságai. Fotoelasztikus jelenségek. A fényvezető szál működésének szemléltetése, alkalmazása. Látvány-lézer.

#### *Légnnyomással kapcsolatos kísérletek*

Csattanó pezsgősüveg, összeroppanó sörösdoboz, felszívódó léggömb, Heron-féle szökőkút, forgó, repülő pohár, légpárnás léggömb, newtoni ejtőcső, megbolondult kémcső, magdeburgi-féltékék, lufi pillepalackban... Csupa egyszerű, többségében otthon is elvégezhető kísérlet.

#### *Arkhimédész törvénye vízben, levegőben*

Miért tűnnek el hajók a Bermuda-háromszögben? A felhajtóerő szemléltetése levegőben baroszkóppal. A

Légpárnás asztal



levegőnél „nehezebb” és „könnyebb” szappanbuborékok, a renitens Cartesius-búvár, szoba-hőléggömbök, játékléggömbök röptetése szórakoztatják a rendhagyó óra résztvevőit.

#### *Rugalmas ütközések*

Mindenki számára otthon is hozzáférhető tárgyakkal – pénzérmékkel, gombokkal – mutatjuk meg a rugalmas ütközés alapeseteit. Megfigyeléseink után a „gondolkodó golyósor” mozgásának megfejtése már nem okoz gondot. Bonyolultabb ütközéseket hozunk létre légpárnás sínen mozgó kocsiakkal, légpárnás asztalon ütköző korongokkal.

#### *Fizika és képzőművészet*

Fizikai fogalmak és jelenségek egész sora tárul fel a műalkotásokon a figyelmes szemlélő számára. Az egyensúly, a mozgás, az áramlások, az erőterek, a színek dinamikája, a fényelhajlás és még sok minden más fedezhető fel a festményeken, szobrokon, gyakran a művészi kifejezés fontos elemeként. Még olyan megfoghatatlannak látszó fogalmak is, mint a „szépség”, fizikai értelmezést nyerhetnek. Lehet, hogy a szépség is mérhetővé válik?

#### **Földrajz**

(egyeztetés: 36/520-467; foldr@ektf.hu)

#### *Az ásványvilág csodái*

A Földön valamivel több, mint 4200 féle ásvány fordul elő. Színük, formájuk, méreteik, alakjuk gazdagsága csodálatra méltó. Ásványok építik fel a környezetünkben előforduló kőzeteket is. A gazdaságilag hasznosítható ásványok, ércek köre egyre bővül. Az ásványok közé tartoznak például a drágakövek, de vannak közöttük olyanok is, amelyeket naponta fogyasztunk.

#### *Beszélő kővek*

A kőzetek megjelenése, szerkezete, szövete, színe, a belőlük, rajtuk kialakult formák utalnak keletkezésük körülményeire. Legyenek azok akár magmás, üledékes vagy átalakult kőzetek, jellegzetességeik alapján megállapítható hol, miféle környezetben képződtek, hogyan alakult a sorsuk kialakulásuktól a mai állapotig.

#### *Óceánok, tengerek nyomában hazai tájakon*

Az üledékes kőzetek döntő többsége óceánok, tengerek medencéiben keletkezett a Föld távoli és közeli múltjában. Jellegzetességeik, mint szerkezetük, rétegződésük, ősmaradványaik utalnak arra az ősi tengeri környezetre, amelyikben keletkeztek. Számos példán keresztül kerül bemutatásra, hogy Magyarország földjén is gyakoriak a földtörténeti múlt tengereire utaló képződmények.

#### *Magyarországi vulkánok*

A földtörténeti múltban számos esetben működtek vulkánok hazánk földjén. Az óra keretében bemutatásra kerül az, hogy mikor, hol, hogyan működtek ezek a vulkánok, és mi utal egykori tevékenységükre.

### *Kirándulás egy működő tűzhányóba*

A vulkánok szépek, hasznot hajtanak, de kárt is okozhatnak. A földkéregben elhelyezkedő magmakamrából indulva követjük végig az izzón folyó kőzetolvadék útját, sorsát, változásait a vulkáni kürtőn keresztül a felszínig, a kőzetté válásig.

### *Vándorló kontinensek nyomában*

A Föld szilárd külső burka nem egységes. Különböző kiterjedésű táblák, lemezek alkotják. Ezek a lemezek egymáshoz viszonyított helyzetet változtatják. Mi kényszeríti mozgásra őket? Hogyan történik az elmozdulás? Mi játszódik le a mozgások során? Ezekre a kérdésekre ad választ ez a lemeztectonikáról szóló óra.

### *Bontsunk fel egy napkonzervet!*

Ez a rendhagyó óra a kőszén keletkezéséről szól. A karbonidőszaki mocsárerdők világa kerül bemutatásra, részletesen elemezve az akkori növényeket, állatokat, ősföldrajzi körülményeket.

### *Mamutvadászaton*

Jégkorszaki tájakon mamutvadászokkal tartunk. Végigkísérjük a vadászat egyes fázisait és a zsákmány feldolgozását. Közben megismerkedhetünk az eljegesedést kiváltó okokkal és a jégkorszak jellegzetes élővilágával.

### *Van-e élet a Földön kívül?*

Színes dia- és videofilm-szemléltetéssel tartott rendhagyó óra, melynek keretében az érdeklődők megismerhetik a Világegyetem történetét, az életlehetőségeket a Naprendszerben, az Univerzumban, és szó lesz arról is, hogy vannak-e UFO-k.

### *A titokzatos Mars*

A számítógépes prezentációval és színes diavetítéssel ötvözött rendhagyó óra megismerteti a közönséget a Mars történetével, a Mars-kutató űrszondákkal, valamint azzal, hogy lehetséges-e a víz és az élet előfordulása ezen a bolygón.

## **Kémia**

(egyeztetés: 36/520-471; kemia@ektf.hu)

### *Párbaj*

A kísérletezők egymással versenyezve, egymást túllicítva mutatnak be látványos kísérleteket. A kísérletek „blokkok”-ba csoportosítva kerülnek bemutatásra, úgymint piromániás, italos, reklám, military és társtudományos blokk. Blokkonként értékelik a bemutatók teljesítményüket.

### *Sebesség a kémiában*

Alias reakciósebesség: a bemutató során különböző halmazállapotú reaktánsok eltérő sebességű reakcióival szemléltetjük a kémiai reakciók sokszínűségét. Bepillantást nyernek a látogatók a reakciósebességet befolyásoló tényezőkbe, úgymint koncentráció, hőmérséklet, hatásos felület. Példákat mutatunk be a homo-

gén és heterogén katalízisre, megismerkedünk az autokatalízis fogalmával is.

### *Tűz és tűzszerű jelenségek*

Az égés fogalmának tisztázása, feltételeinek bemutatása a tűzoltás elve. Az égés sebességét, minőségét befolyásoló tényezők körüljárása. Gyakorlati felhasználások, például lángfestés, pirotechnika. Tűzszerű jelenségek.

### *Színek a kémiában*

A bemutató alapjelensége a színváltozás. Színeket „hívunk elő”, színeket „tüntetünk el”. Ezeket a jelenségeket minden halmazállapotban megpróbáljuk előidézni. Bemutatunk komplex reakciókat, termokolor anyagokat, bevezetjük a látogatókat a titkosírás rejtelmeibe, láthatjuk egy anyag sokszínűségét.

### *Energiatermelő kémiai folyamatok*

Milyen formában és mekkora energia szabadul fel a kémiai folyamatok során, hogyan tudja ezt az energiát az ember hasznosítani. Példákat láthatnak az érdeklődők különböző típusú exoterm reakciókra, fénykibocsátással járó, továbbá elektromos áramot termelő folyamatokra.

### *A fémek*

Célunk a mindennapi élet egyik legfontosabb anyagcsoportjának sokrétű jellemzése. Bemutatjuk a fémek néhány – igencsak eltérő – fizikai és kémiai tulajdonságát, megismerkedünk a fontosabb fém-előállításai módszerekkel, a korrózió jelenségével és a korrózióvédelem kémiai lapjaival. Megvizsgálunk néhány fém fontos biológiai szerepében is.

### *Egy kis szerves kémia*

Ebben az összeállításban a szerves kémia tárgykörébe tartozó kísérleteket láthatnak az érdeklődők. Főbb témák: a szerves kémiai reakciók típusai, fontosabb vegyületcsoportok és jellemző reakcióik, természetes anyagok kinyerése, tulajdonságaik vizsgálata, átalakításaik.

### *Műanyagok*

A műanyagok mindennapi életünk elengedhetetlen részei. Példákat mutatunk be előállításukra, megvizsgáljuk egymástól eltérő fizikai tulajdonságaikat, kémiai viselkedésüket, felhasználásuk környezetkémiai vonzatait.

### *Kísérletek a konyhában*

Bemutatónk mottója: minél egyszerűbb eszközökkel, minél egyszerűbb „vegyszerekkel” látványos kísérleteket végezni. Kísérleteink nagy részét a látogatók – kellő óvatossággal – otthon is megismételhetik.

### *„Survivor”, avagy túlélési gyakorlat kémikus módra*

A bemutató egy elképzelt szituációs gyakorlat, amelynek során azt szemléltetjük, hogyan segít a kémiatudás a túlélésben.

Vida József  
programfelelős  
EKF Fizika Tanszék

# A KÉTSZINTŰ ÉRETTSÉGI ÉS AZ ÚJ FELVÉTELI RENDSZER EGY MŰEGYETEMI OKTATÓ SZEMÉVEL

Tóth András  
BME, Fizikai Intézet

Az érettségi vizsga nagyon fontos esemény egy fiatal életében. Fontos, mert ez az első olyan megmértetés, ahol átfogó tudásról kell számot adni, a fiatal számára tehát komoly minősítést jelent. Fontos, mert egyben felvételi vizsga is, eredménye tehát alapvetően befolyásolhatja a továbbtanulás esélyeit. Az érettségi vizsga és az ezt is magában foglaló felvételi rendszer fontossága indokolja, hogy összegyűjtjük és elemezzük tanulságait. Ehhez szeretnék a 2005. évi érettségi-felvételeihez kapcsolódó tapasztalataimmal és gondolataimmal hozzájárulni.

## A rendszerrel kapcsolatos tapasztalataim

Műegyetemi oktatóként fizikát tanítok, ezért azokról a tapasztalataimról számolok be, amelyeket az egyetemen fizikát tanuló, frissen érettségizett hallgatókkal kapcsolatban szereztem.

A felvételi pontszámokat szemügyre véve azonnal feltűnik, hogy a korábbi évekhez képest kiemelkedően magas pontszámokkal érkeztek a jelentkezők. Ennek oka a felvételi rendszer változása, de a magas pontszámmal érkező diákok – az arányokat tekintve – túlságosan nagy számarámutat az érettségi-felvételi rendszer egyik problémájára: *az érettségi színvonalát nem sikerült megfelelően beállítani.* A követelmények túl alacsonynak bizonyultak, a vizsga nem differenciált eléggé. Ez a BME mérnök-fizikus szak esetén – a kis felvételi létszám miatt – sajátos problémát okozott. A pontszámok összetorlódása miatt a felvehető létszám túlságosan érzékeny volt a ponthatár változására, így a végül kialakult 135-ös ponthatárral az elvileg lehetséges létszámnál kevesebb hallgatót tudtunk felvenni.

*Az érettségi-felvételi rendszer másik problémáját a többletpontok okozták.*

Mivel az érettségi vizsga nem differenciált eléggé, a sorrend kialakulásában valószínűleg túlságosan nagy szerepet kaptak a többletpontok. Az emelt szintű érettségéért járó többletpontokkal nincs bajom, de az már zavar, ha a felvétel azon múlik, hogy ki tud több nyelvvizsgapontot összegyűjteni. Személyes tapasztalatom is van arra vonatkozóan, hogy magas felvételi pontszámok – többletpontok miatt – szakirányú tudással nem párosulva is előfordultak. A BME mérnök-fizikus szakára 134 feletti pontszámmal felvett hallgatóknak több, mint 15%-a nem tudta megszerezni az első féléves kísérleti fizika tárgy kreditpontjait, vagyis ezeknek a hallgatóknak a tárgyat ismét fel kell venniük. Ez a korábbi évekkel összehasonlítva kirívóan rossz eredmény.

A többletpontokkal kapcsolatban még egy problémát érdemes megemlíteni. A tavalyi felvételinél még lehetőség volt arra, hogy egy jól sikerült középszintű érettségi pontszámához egy gyengén sikerült emelt szintű érettségéért járó többletpontot is megszerezze a jelentkező, ami tulajdonképpen a többletpontokkal való visszaélést tett lehetővé.

*Az új érettségi-felvételi rendszer örökölte a felvételi rendszerek „örökzöld” problémáját, amit a „hozott pontok” beszámítása okoz.*

Ezzel kapcsolatban az egyik – közismert – probléma az, hogy a különböző iskolákban kapott azonos jegy gyakran lényegesen eltérő tudást takar, így hátrányos helyzetbe kerülnek azok, akik magasabb követelményeket támaztó iskolákban tanulnak.

Problémát jelent az is, hogy – éppen a felvételi pontszámokban játszott jelentős szerepük miatt – az iskolákban nagy a kísértés a jegyek felfelé húzására, hiszen a folyamatban résztvevő minden félnek ugyanez a rövidtávú érdeke. Gyanítható, hogy a kísértésnek nem mindig sikerül ellenállni, ezzel tovább csökkentve a hozott pontok objektivitását.

A tényleges tudást túlértékelő jegyek nem pusztán a felvételi pontszámokban okoznak problémákat. Személyes tapasztalatom, hogy a BME mérnök-fizikus szakon szinte minden évben vannak olyan hallgatók, akik jeles fizika- és matematikajegyekkel, magas pontszámmal érkeznek, az első félévi kísérleti fizika vizsgán mégis elkeseredő – a középiskolás fizika alapjait érintő – tájékozatlanságról tesznek tanúbizonyságot. Ezek a hallgatók azzal a meggyőződéssel jönnek fizikusnak, hogy itt a helyük, hiszen fizikából mindig jók voltak. Azt gondolom, hogy a tudást túlértékelő jegyek önértékelési problémákat is okozhatnak.

A hozott pontok problémájához tartozik az is, hogy a középszintű érettségén „szerzett” pontok is „hozottak”.

## Gondolatok a problémák kiküszöbölésének módjáról

*Az érettségi színvonalának problémája*

Ez a probléma kezelhető, hiszen a nehézségi fok többé-kevésbé reális felmérése – a tapasztalatok elemzése után – hozzáértő szakemberek számára nem lehet megoldhatatlan feladat.

*A többletpontok problémája*

Érdemes lenne elgondolkodni azon, hogy a választott szakhoz közvetlenül nem kapcsolódó ismeretek súlya



nem túlságosan nagy-e. A jelenlegi rendszerben kiváló szakirányú felkészültségű, tehetséges jelöltek komoly hátrányba kerülhetnek kevésbé felkészült, de a nyelv- vizsga-többletpontokban jobban teljesítő társaikhoz képest (nyelvvizsgákkal elvileg összesen 20 pontot lehet szerezni, de az egy nyelvvizsgáért kapható pontszám is túlságosan nagy lépésben változtatja a pontszámot). A problémát enyhítheti, ha a színvonal emelésével az érettségi a szakirányú tudás szerint megfelelően differenciál, de a nyelvvizsgapontok száma még így is soknak tűnik.

#### *A hozott pontok problémája*

A hozott pontok iskolától való függését kiküszöbölni nem lehet, ezért a probléma mérséklésének legegyszerűbb módja az lehetne, hogy ezek súlyát csökkentjük a felvételi pontszámban.

## Általános megjegyzések

#### *Az érettségi követelményekről*

Az új fizikaérettségi követelmények jó irányban tett lépésként értékelhetők. Különösen fontos, hogy a kísérletezés is bekerült a követelmények közé. A hallgatókkal való beszélgetésekből azonban az derül ki, hogy vannak iskolák, ahol nemcsak tanulói kísérletek végzésére nincs valódi lehetőség, de tanári kísérletet is alig látnak. Emiatt ez az érettségi követelmény jelenleg nem látszik reálisnak.

#### *Az érettségi objektivitásáról*

Az érettségi rendszernek az a törekvése, hogy – legalább emelt szinten – objektívabbá tegye az értékelést, pozitív fejleménynek mondható. Az iskolától független érettségi objektivitását tovább kellene növelni (középiskolai tanárok tapasztalata szerint előfordul, hogy az idegen iskolában letett érettségi is iskolafüggő), és a közép-szintű érettségi esetén is be kellene vezetni az emelt szintű érettségi lebonyolítására kialakított gyakorlatot (ezt is elfogadják felvételi vizsgaként).

#### *Az érettségi két szintjéről*

Vannak, akik vitatják, hogy szükség van kétszintű érettségre. Mivel a kérdés eldőlt, és van kétszintű érettségi,

vizsgálni azt érdemes, hogy ellátja-e azokat a funkciókat, amelyekért bevezették. Miután az egyetemek úgy döntöttek, hogy a középszintű érettségit is elfogadják felvételi vizsgaként, a két szint lényegében értelmét veszítette. Ha már kétszintes érettségi van, akkor valamilyen módon el kellene érni, hogy a két szint betöltse eredeti funkcióját. Ha pedig ez nem megy, akkor le kell mondani róla, nem érdemes a rendszert feleslegesen elbonyolítani.

#### *A középiskolai fizikáról*

Ha az érettségi-felvételi rendszert a fizika szempontjából vizsgáljuk, akkor nem lehet eltekinteni a középiskolai fizikaoktatás helyzetétől. A Műegyetem különböző karaira belépő hallgatók fizika előképzettségének színvonala évek óta folyamatosan csökken, ami szoros kapcsolatban áll a középiskolai fizika óraszámának és a tárgy presztízsének csökkenésével. Érdekes lenne elemezni, hogy ezzel milyen összefüggésben van az a tény, hogy például a Műegyetemen (de tudomásom szerint más, hasonló intézményekben is) a felvételi követelmények között a fizika csak a választható tárgyak között szerepel. Olvasva a középiskolai fizikával kapcsolatos felméréseket, és számba véve saját tapasztalataimat az a benyomásom támad, hogy a fizika a középiskolában valamiféle mumussá nőtte ki magát. Biztos, hogy ez annál inkább így lesz, minél kevesebb idő, energia és pénz jut kísérletezésre, és minél kevesebb lehetőség van a tanulók aktivizálására. Ráadásul a meglevő, szűkös időkeretek kihasználását is megnehezítik a tanterv következetlenségei, például az, hogy a fizika tanításához szükséges alapvető matematikai ismeretek nem állnak idejében rendelkezésre. Ebből a szempontból sem szerencsés, hogy a normál tanterv szerint az utolsó évben már nincs fizika, és azért sem, mert a tanulók többsége ekkorra szerzi meg azt az absztrakciós képességet, amely már komolyabb tárgyalást is lehetővé tenné.



A fentieket nem elemzésnek szántam, csupán néhány – sok tekintetben egyedi – tapasztalatomat és ezzel kapcsolatos gondolatomat írtam le. Azt szokták mondani, hogy tökéletes dolgok nincsenek, de a felismert hibák kijavítására törekedni kell. Az érettségi-felvételi rendszer van annyira fontos, hogy javítása érdekében komoly erőfeszítéseket tegyünk.

## PÁLYÁZATOK

# TUDOMÁNYOS KUTATÓI ÁLLÁS AZ IZOTÓPKUTATÓBAN

Az MTA Izotópkutató Intézete Nukleáris Kutatások Osztálya pályázatot hirdet. Az állásajánlatot az EU-s támogatást nyert új, *Elemzés rezonancia neutronbefogásos képalkotással és más neutronos technikákkal* (ANCIENT CHARM) című projektünkben elvállalt feladatok megoldására írjuk ki. A projekt fő feladata tárgyak háromdimenziós elem-

fázisösszetételének meghatározása a projektben kiválasztott régészeti tárgyak esetében. További információ található a <http://ancient-charm.neutron-eu.net/ach/> honlapon.

A multinacionális projektben résztvevő NKO, olyan fizikust vagy radiokémikust keres, aki rendelkezik gamma-spektroszkópiai és analitikai tapasztalattal.

- A jelölt legyen képes
- együttműködni az ANCIENT CHARM projektben résztvevő kutatókkal,
  - különböző mérőberendezéseket programozni vagy programozását irányítani,
  - segítséget nyújtani moduláris nukleáris berendezések és a 3D-s mérőhely kialakításában,
  - a projekttel kapcsolatos méréseket elvégezni,
  - magas szinten angolul írni, olvasni és beszélgetni. A munka nyelve angol és/vagy magyar.
- Az állás 30 hónapos, kezdés lehetőleg 2006. júliusban.

Bérezés az irányadó közalkalmazotti bértábla szerint. Amennyiben úgy érzi, hogy szívesen megpályázná a fenti pozíciót, kérjük, hogy pályázatát (magyar és angol nyelvű önéletrajz, 2 ajánlólevél, motivációs levél) küldje el az alábbi címre, lehetőleg elektronikus formában:

MTA Izotópkutató Intézet Nukleáris Kutatások Osztálya, 1121 Budapest, Konkoly-Thege M. u. 29–33., e-mail: belgya@iki.kfki.hu

Budapest, 2006. május

*Belgya Tamás*  
osztályvezető

## PEDAGÓGUS KUTATÓI PÁLYÁZAT

A Magyar Tudományos Akadémia főtitkára pályázatot hirdet középiskolában (gimnáziumban, szakközépiskolában) huzamosabb ideje (legalább öt éve) főállásban oktató pedagógusok tudományos munkásságának elismerésére.

Pályázni lehet olyan tudományos munkával (monográfiaival, nagyobb lélegzetű tanulmánnyal, kísérleti eljárási eredménnyel, forráskiadvánnyal stb.), amely tényleges előrelépést jelent az adott kérdéskör alaposabb tudományos feltárása terén. A pályázatokhoz mellékelni kell a pályázó szakmai önéletrajzát, valamint a középiskola igazolasát a tanári pályán eltöltött évekről. Korábban elnyert díj birtokosa öt év után pályázhat ismételten.

A pályamunkát az MTA főtitkárának címezve, illetékeség szerint az MTA Titkársága Természettudományi vagy Társadalomtudományi Főosztályának vezetőjéhez kell be-

nyújtani (1245 Budapest, Pf. 1000). A pályamunkák elektronikus adathordozón is benyújthatók.

*Beadási határidő: 2006. szeptember 30.*

A benyújtott pályaművet a tudományterületileg illetékes akadémiai kutatóintézet vagy szakbizottság bírálja el. A pályadíjak odaítéléséről a bírálók értékelő véleménye alapján az MTA főtitkára dönt. Évente 12 díj kerül kiosztásra, összege egyénenként százötvenezer forint. A pályázat eredményéről a pályázók névre szóló értesítést kapnak. A díjak ünnepélyes átadására 2006. december közepén kerül sor, amelyről az MTA a sajtó útján tájékoztatja a szélesebb közvéleményt.

Budapest, 2006. május

*Meskő Attila*  
a Magyar Tudományos Akadémia főtitkára

## A BOLYAI KOLLÉGIUM JELENTKEZÉSI FELHÍVÁSA

Az ELTE természettudományos és informatikus tehetséggondozó szakkollégiuma, a *Bolyai Kollégium* felvételt hirdet a 2006/2007-es tanévre.

*Felvételekre jelentkezhet:*

- az ELTE Természettudományi vagy az ELTE Informatikai Karára felvételt nyert elsőéves hallgató, aki középiskolásként országos vagy nemzetközi tanulmányi versenyeken díjazott volt, illetve tudományos kutatásban, informatikai alkotómunkában, újító pedagógiai programokban eredményesen dolgozott,
- az ELTE TTK vagy az IK II–V. éves nappali tagozatos hallgatója, akinek tanulmányi eredménye egyenletesen magas, az utolsó félévben elérte a 4,5-ös átlagot, továbbá tudományos kutatásban, informatikai alkotómunkában, újító pedagógiai programokban vesz részt,
- Az ELTE TTK vagy az ELTE IK Doktori Iskolájának eredményes tanulmányi és kutatómunkát végző tagja,
- Az ELTE-n végzett hallgató, aki állami ösztöndíjas-ként vagy MTA fiatal kutatói állásban nappali doktori képzésben részesül.

Vidékiek és budapestiek egyaránt jelentkezhetnek. Hasznos információk találhatóak a Kollégium honlapján: [www.bolyai.elte.hu](http://www.bolyai.elte.hu).

A pályázatnak tartalmaznia kell a következőket:

- A jelentkező személyes adatai.
- Tanulmányi előmenetel dokumentumainak fénymásolata: érettségi bizonyítvány, egyetemi leckeönyv, nyelvvizsga bizonyítvány(ok).
- Az eredményes kutatás, az informatikai és a pedagógiai alkotómunka dokumentumai (téma, témavezető, alkotás ismertetése, tanulmányi verseny oklevele, TDK-dolgozat elismerése stb.).
- Önéletrajz, 1 db igazolványkép;
- Két kompetens személy (elsőévesek esetében tanára vagy szakmai vezetője, a felsőbb éveseknél egyetemi oktatója, illetve témavezetője) ajánlólevele, akinek a jelentkező képességeiről, tudományos eredményeiről, motiváltságáról módja volt meggyőződni. Az ajánlók aláírásával hitelesített leveleket lezárt borítékban a felvételi csomagban juttassák el a kollégium igazgatójának.

- Két, önmagának megcímezett, normál méretű, felbélyegzett boríték, amelyben a felvételi beszélgetésre hívó, illetve a felvételi eredményéről szóló értesítést fogja megkapni. A kommunikáció gyorsítására e-mail- és sms-értesítést is küldünk.

- Doktoranduszok küldjék el diplomájuk másolatát, valamint szakdolgozatuk, illetve doktori témájuk rövid ismertetését is. Új doktoranduszok sikeres záróvizsgájuk igazolását és doktori iskolai felvételük (előzetes) értesítést nyújtsák be.

Jelentkezési lap letölthető a [http://www.bolyai.elte.hu/m4\\_tagok/download/jelentkezesilap2006.doc](http://www.bolyai.elte.hu/m4_tagok/download/jelentkezesilap2006.doc) helyről.

A *beküldési határidő*: A fenti anyagoknak postai úton 2006. augusztus 2-ig kell megérkeznie a következő címre: ELTE Bolyai Kollégium. 1117 Budapest, Nándorfejérvári út 13.

Kérjük, hogy a felvételi pályázat anyagát benyújtás előtt gondosan ellenőrizzék, és győződjenek meg róla, hogy az ajánlólevelek lezárt, az ajánlók által hitelesített borítékban érkeznek. A hiányos, vagy a beküldési határidő után érkező pályázati anyagokat nem tudjuk figyelembe venni.

A *felvételire külön meghívást küldünk*. Időpontja: 2006. augusztus 10–11. Helyszíne: 1117 Budapest, Nándorfejérvári út 13. A jelentkezők kétnapos program keretében ismerkedhetnek meg a kollégiummal. A felvételi beszélgetésen a kollégium igazgatójával, a szaktanárokkal és a diákönkormányzat képviselőivel találkoznak a jelentkezők. A beosztásáról a meghívóban (elektronikusan, sms-ben, levélben) küldünk értesítést. E-mail: [bok@bolyai.elte.hu](mailto:bok@bolyai.elte.hu)

Budapest, 2006. május 15.

*Patkós András*  
igazgató

## HÍREK – ESEMÉNYEK

# A TÁRSULATI ÉLET HÍREI

## A Eötvös Társulat 2006. évi Küldöttközgyűlése

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2006. május 27-én tartotta meg – a kialakult szokásnak megfelelően az ELTE Természettudományi Kara fizikai épületének egyik előadótermében – idei Küldöttközgyűlését. A 94 bejelentett küldött közül 56 fő megjelenése folytán határozatképes közgyűlés megnyitását követően *Horváth Dezső*, a fizikai tudomány doktora tartotta meg *Szimmetriák és sértésük a részecskék világában – a paritássértés 50 éve* című, napirend előtti előadását, széles körben tekintve át a fizika alapvető elveinek megfogalmazásában döntő szerepet játszó szimmetriák és lehetséges sértésük felismerésének, kísérleti igazolásának történetét. A történeti ismertetés mellett áttekintést adott a kérdéskör jelenlegi helyzetéről és a közeljövőre tervezett kísérletekről is.

A Küldöttközgyűlés az eredetileg javasolt napirendet annyiban módosította, hogy napirendre vette a 2007. évi Küldöttközgyűlés jelölőbizottságának megválasztását.

Az érdemi munka megkezdése előtt *Patkós András*, a Társulat elnöke rövid bevezetőjében kiemelt néhány fontos eseményt a Társulat előző évi tevékenységéből, különös tekintettel a *Fizika Éve* keretében megvalósított rendezvényekre. Külön köszönetet mondott a Társulat Csongrád megyei csoportjának szerteágazó tevékenységéért, különösen a fénystaféta sikeres megrendezéséért.

A szavazatszámlláló bizottság (*Mester András, Piláth Károly, Török István*) megválasztását követően a Társulat főtitkára terjesztette a Küldöttközgyűlés elé a Társulat 2005. évről szóló, mind a gazdálkodásra, mind a szakmai tevékenységre kiterjedő közhasznúsági jelentését, a 2006. évi költségvetés tervezetét, valamint az elnökségnek egyes szakcsoportok működését érintő határozati javasla-

tát. A Küldöttközgyűlés mind a közhasznúsági jelentést (lásd ugyanebben a lapszámban), mind a folyó évi költségvetést (80 378 eFt bevételi és 80 234 eFt kiadási főösszeggel) egyhangúlag, ellenszavazat és tartózkodás nélkül fogadta el. Hasonló módon fogadta el a Küldöttközgyűlés a szakcsoportok működését érintő határozati javaslatot (lásd a jelen beszámoló végén).

Az Ellenőrző Bizottság jelentését *Woynarovich Ferenc* elnök terjesztette elő. A jelentés megállapította, hogy mind a Társulat gazdálkodása, mind működésének egésze megfelelt a jogszabályi követelményeknek. A Küldöttközgyűlés az Ellenőrző Bizottság jelentését ellenszavazat és tartózkodás nélkül tudomásul vette.

Az általános vita keretében *Sükösd Csaba* tájékoztatót a CERN tanárok részére szervezett külön, háromhetes programjáról és a magyar részvétel szervezésének jelenlegi helyzetéről.

*Gyulai József* akadémikus, a jelölőbizottság elnöke ismertette javaslatukat a Társulat 2007-ben hivatalba lépő, de most megválasztandó új elnökére *Sólyom Jenő* akadémikus személyében. A továbbiakban javaslat hangzott el *Szabó Gábor* akadémikus, valamint *Sükösd Csaba* személyére is. *Szabó Gábor* a jelölést nem fogadta el, *Sükösd Csaba* felvételét a szavazólapra a Küldöttközgyűlés 5 tartózkodással fogadta el.

A lefolytatott szavazás eredményeként a Küldöttközgyűlés 31 szavazattal (*Sükösd Csabára* adott 18, valamint 3 érvénytelen szavazat mellett) *Sólyom Jenő*t választotta meg a Társulat 2007-ben hivatalba lépő elnökének.

A következő évi, a Társulat elnökségének többségét érintő választásra tekintettel a Küldöttközgyűlés új jelölő-

bizottságot választott. A 48 szavazattal (4 érvénytelen szavazat mellett) megválasztott új jelölőbizottság elnöke Gyulai József akadémikus, tagjai Kiss Gyula, Papp György, Vertse Tamás és Zsúdel László.

## A Társulat díjai

A Küldöttközgyűlés záróaktusaként kerültek kiosztásra a Társulat érmei és díjai. A díjazottak:

BÍRÓ LÁSZLÓ PÉTER *Gyulai Zoltán-díj* szén alapú nanostruktúrák kutatásáért. Jelentős eredményeket ért el szén nanocső architektúrák (szabályos spirálok, Y-elágazások, gyöngy sorok) kutatásában. Hozzájárult a pásztázószondás módszerekkel nyerhető információk pontosabb értelmezéséhez.

BORBÉLY ANDRÁS *Schmid Rezső-díj* szinkrotron-sugárzás alkalmazásáért heterogén szerkezetek vizsgálatában. Szilárd anyagokban a lokális tárolt energia kísérleti meghatározásában ért el jelentős eredményeket. Ezen belül kimutatta, hogy nagydeformációs alakváltozás során a kialakuló textúra komponensekben eltérő diszlokáció sűrűség van jelen, és azon komponensek kristályosodnak ki először, amelyekben a tárolt energia a legnagyobb.

CSABAI ISTVÁN *Detre László-díj* csillagászati adatbázisok kutatásáért és fotometriás vöröseltolódás becslő módszer kifejlesztéséért. Aktív résztvevője a Sloan Digital Sky Survey-nek, amely a legnagyobb olyan műholdas csillagászati adatbázis, amely az Univerzum feltérképezését tűzte ki célul. Olyan módszereket fejlesztett ki, amelyek az összes galaxisra rendelkezésre álló fotometria segítségével képesek becsülni a galaxisok vöröseltolódását. Fiatalos lendülete, szuggesztív előadói stílusa sokakat nyert meg a fizika számára.

TÍMÁR JÁNOS *Szalay Sándor-díj* királis szimmetria kutatásáért az atommagokban. Az atommag-kiralitás új jelenségének egyik úttörő kutatója. Nemzetközi együttműködésben vizsgálta  $^{104}\text{Rh}$  körüli atommagok forgási sávjait. Kimutatták, hogy a  $^{104}\text{Rh}$  körüli atommagok egy királis szigetet alkotnak a magtérképen.

KÁROLYHÁZI FRIGYES *Marx György Felsőoktatási Díj*. A fizikaoktatás teljes spektrumában az általános iskolától kezdve a középiskolán keresztül az egyetemi oktatásig minden szinten alkotó módon, erős elszántsággal és hivatástudattal munkálkodott az oktatás jobbá tételén. A Mikola- és Eötvös-versenyek szervezésének aktív résztvevője, példakiírója. A gondolkodó, a dolgok mélyére látó fizikus utánpótlás nevelésében elvülhetetlen szerepet tölt be.

## Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Közhasznúsági jelentése a 2005. évről

A Fővárosi Bíróság 1999. április hó 26-án kelt 13. Pk. 60451/1989/13. sz. végzésével a 396. sorszám alatt nyilvántartásba vett Eötvös Loránd Fizikai Társulatot közhasznú szervezetnek minősítette. Ennek megfelelően a Társulatnak beszámolási kötelezettsége teljesítése során a

MOLNÁR MIKLÓS *Prométheusz Érem* a fizikai gondolkodás terjesztéséért. Molnár Miklós nyugalmazott egyetemi docens teljes életpályáját a hazai felsőoktatás szolgálatában töltötte. Igen eredményes oktató és kutató munkája mellett rendkívül sokat tett a fizika népszerűsítéséért. Aktív tagja az ELFT Csongrád megyei Csoportjának. Különösen kiemelkedő, hogy 15 éven át szervezte az OKTV szakközépiskolai kategóriájának kísérleti fordulót, és számos egyéb fizikaverseny szervezésében és lebonyolításában részt vett.

A *Fizikai Szemle Marx György nívódíjában* HORVÁTH ÁRPÁD részesült a *Lássuk a részecskéket* című cikkéért.

Az újszerű kísérleti eszközök készítésére kiírt pályázat díjait JAROSIEWITZ BEÁTA és PILÁTH KÁROLY tanárok kapták.



Zárszavában Patkós András elnök bejelentette, hogy a 2007. évi Küldöttközgyűlés tervezett időpontja 2007. május 26., délelőtt 10 óra.

## Határozat

A Küldöttközgyűlés a Társulat Alapszabálya 11.§ (1) bekezdésében foglalt hatáskörében

1) *hozzájárul* a Vákuumfizikai, valamint a Vékonyréteg-fizikai Szakcsoportok egyesítéséhez azzal, hogy

– a két szakcsoport önálló működése 2006. május 30. napjával megszűnik és e naptól kezdve működését Vákuumfizikai, -technológiai és alkalmazásai Szakcsoport néven folytatja,

– a két szakcsoport tagjai a továbbiakban az így létrehozott új szakcsoport tagjainak tekintendők;

2) *hozzájárul* az Atom-, Molekulafizikai és Kvantumelektronikai, valamint a Kristályfizikai Szakcsoportok egyesítéséhez azzal, hogy

– a két szakcsoport önálló működése 2006. május 30. napjával megszűnik és e naptól kezdve működését Atomfizikai és Kvantumelektronikai Szakcsoport néven folytatja,

– a két szakcsoport tagjai a továbbiakban az így létrehozott új szakcsoport tagjainak tekintendők;

3) *felhívja* a Félvezető-fizikai Szakcsoport figyelmét a Társulat Alapszabálya 11.§ (3) bekezdésében foglalt előírások betartására azzal, hogy

– kötelezi a Szakcsoportot új vezetőségének 2006. szeptember hó 30. napjáig megvalósítandó megválasztására,

– amennyiben ez a fenti határidőig nem történik meg, a Szakcsoportot megszüntnek kell tekinteni.



sajátosságairól szóló 224/2000 (XII.19) Korm. sz. rendeletben foglaltak szerint kell eljárnia. A jelen közhasznúsági jelentés az említett jogszabályok előírásainak figyelembe vételével készült.

## I. rész – Gazdálkodási és számviteli beszámoló

### Mérleg és eredménykimutatás

A Társulat 2005. évi gazdálkodásáról számot adó mérleget a jelen közhasznúsági jelentés 1. sz. *melléklete* tartalmazza. A 2. sz. *mellékletként* csatolt eredménykimutatás szerint jelentkezett 65 eFt tárgyévi eredmény a mérlegben tőkeváltozásként kerül átvezetésre.

### Költségvetési támogatás és felhasználása

Az állami költségvetésből származó, közvetlen támogatásban a Társulat 2005-ben nem részesült, a pályázati úton elnyert támogatásokat a 2. sz. mellékletben foglalt eredménykimutatás tartalmazza. A 2004. évi személyi jövedelemadó 1%-ának a Társulat céljaira történt felajánlásából a tárgyévben 1018 eFt bevétele származott. Ezt az összeget a Társulat teljes egészében a *Fizikai Szemle* nyomdai költségeinek részleges fedezeteként használta fel.

### Kimutatás a vagyon felhasználásáról

E kimutatás elkészítéséhez tartalmi előírások nem állnak rendelkezésre, így a Társulat vagyonának felhasználását illetően csak a mérleg forrásoldalának elemzésére szorítkozhatunk. A Társulat vagyonát tőkéje testesíti meg, amely a tárgyév eredményének figyelembe vételével 65 eFt értékben növekedett. Így az 1989. évi állapotot tükröző induló tőkéhez (7581 eFt) képest mutatkozó, a csökkenés irányába ható halmozott tőkeváltozás ezzel az értékkel kisebbedett, értéke jelenleg –2010 eFt. Így a Társulat saját tőkéjének jelenlegi, a mérleg szerint számított értéke 5571 eFt, szemben a tárgyévet megelőző, 2004. év 5506 eFt tőkeértékével.

### Cél szerinti juttatások

A Társulat valamennyi tagja – a fennálló tagsági viszony alapján – a tagok számára természetben nyújtott, cél szerinti juttatásként kapta meg a Társulat hivatalos folyóirata, a *Fizikai Szemle* 2005-ben megjelentetett évfolyamának számait.

### Kiemelt támogatások

A Társulat 2005-ben cél szerinti, a Khtv. 26. § c.) pontjának hatálya alá eső feladatainak megoldásához az alábbi támogatásokban részesült (a vonatkozó rendeletben megadott forrásokra szorítkozva, ezer Ft-ban):

- |   |           |
|---|-----------|
| • Központi költségvetési szervtől       | 0 eFt     |
| • Elkülönített állami pénzalapoktól     | 0 eFt     |
| • Helyi önkormányzatoktól               | 1 230 eFt |
| • Kisebbségi területi önkormányzatoktól | 0 eFt     |

- |  |       |
|--|-------|
| • Települési önkormányzatok társulásától | 0 eFt |
| • Egészségbiztosítási önkormányzattól    | 0 eFt |
| • Egyéb közcélú felajánlásból            | 0 eFt |

A fenti összesítés magában foglalja a megadott forráshek elsőbb szervei által nyújtott támogatásokat is.

### Vezető tisztségviselőknek nyújtott juttatások

A Társulat vezető tisztségviselői ezen a címen 2005-ben semmilyen külön juttatásban nem részesültek. A tisztségviselők a Társulat tagjaiként, a Társulat valamennyi tagjának a tagsági viszony alapján járó cél szerinti juttatásként kapták meg a *Fizikai Szemle* 2005. évi évfolyamának számait.

## II. rész – Tartalmi beszámoló a közhasznú tevékenységről

A közhasznú szervezetként való elismerésről szóló, a jelentés bevezetésében idézett bírósági végzés indoklásában foglaltak szerint a Társulat cél szerinti tevékenység keretében a Khtv. 26. § c) pontjában felsoroltak közül az alábbi közhasznú tevékenységeket végzi:

- (3) tudományos tevékenység, kutatás
- (4) nevelés és oktatás, képességfejlesztés, ismeretterjesztés;
- (5) kulturális tevékenység;
- (6) kulturális örökség megóvása;
- (19) az euroatlanti integráció elősegítése.

A Társulat 2005. évben végzett munkájának különös jelentőséget adott, hogy az Egyesült Nemzetek Közgyűlése a 2005. évet a Fizika Évének nyilvánította. Szükségszerű volt, hogy a Társulat teljes tevékenységét ennek rendeljük alá, felhasználva ezt a különleges lehetőséget a fizika iránti érdeklődés felkeltésére, a fizika népszerűsítésére. Rendkívül szerteágazó és széles körű volt elsősorban területi szervezeteink e körben végzett tevékenysége, ennek részletes ismertetése meghaladná e jelentés kereteit, így – köszönetet mondva mindazoknak, akik áldozatos munkájukkal hozzájárultak a Fizika Évének sikeréhez – csak utalunk arra, hogy a hazai eseményekről részletes tájékoztatás érhető el a Fizika Évének honlapján, a [www.wyp2005.org/globe/europe/hungary.html](http://www.wyp2005.org/globe/europe/hungary.html) címen.

A *tudományos tevékenység és kutatás* területén a tudományos eredmények közzétételének, azok megvitatásának színteret adó tudományos konferenciák, iskolák, előadódülések, valamint más tudományos rendezvények szervezését és lebonyolítását emeljük ki.

Felkérés alapján a Társulat szervezésében került sor a Nemzetközi Szabványügyi Szervezet (ISO) TC201 számú, a felületi kémiai analízissel foglalkozó Műszaki Bizottságának és kilenc albizottságának 14. ülésére Budapesten, 2005. szeptember 22–24. között.

A hazai részvétellel megtartott és a Társulat, illetve szakcsoportjai által rendezett tudományos, szakmai továbbképzési célú és egyéb rendezvények közül meg kívánjuk említeni az alábbiakat:

- Az Anyagtudományi és a Diffrakciós Szakcsoport *Diffrakció és anyagtudomány* címmel megtartott őszi iskolája, Visegrád, 2005. szeptember 26–28.

## A 2005. év mérlege

• Az Atom-, Molekulafizikai és Kvantumelektronikai Szakcsoport *A kvantumoptika és -elektronika legújabb eredményei* című tavaszi iskolája, Balatonfüred, 2005. május 28. – június 3.

• A Neutron–Szinkrotron és Diffrakciós Szakcsoportok közreműködésével megrendezett, *A szinkrotronsugárzás alkalmazásai a szilárdtestfizikában* című iskolája, Budapest, 2005. február 24–25.

• A Részecskefizikai Szakcsoport *QCD-2005* címmel megrendezett elméleti fizikai iskolája, Gyöngyöstarján, 2005. május 24–28.

• A Sugárvédelmi Szakcsoport *XXX. Sugárvédelmi továbbképző tanfolyama*, Keszthely, 2005. május 3–5.

• A Statisztikus Fizikai Szakcsoport *Statisztikus fizikai nap* című rendezvénye, Budapest, 2005. március 23.

• A Szigeti György akadémikus születésének 100. évfordulója alkalmából az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézetével közösen szervezett emlékülése Budapesten, 2005. január 29-én.

• A Vákuumfizikai Szakcsoport Bodó Zalán akadémikus emlékének szentelt tudományos ülése Budapesten, 2005. december 14-én.

A Társulat szakcsoportjainak egyéb tevékenységét érintve ki kell emelnünk a Részecskefizikai, a Termodinamikai, valamint a Vákuumfizikai Szakcsoport (ez utóbbinak a Vékonyréteg Szakcsoporttal együttes) szemináriumszervező munkáját, továbbá a Csillagászati Szakcsoport közreműködését az Országos Csillagászati Szeminárium előadásainak szervezésében. E rendszeresen tartott szemináriumok, előadóülések a szakmai közélet értékes fórumai.

A Társulat szakcsoportjai és területi csoportjai a külön említettekén kívül – önállóan, vagy a fizika területén működő kutatóhelyekkel közösen, egyedi jelleggel vagy rendszeres időközönként – számos alkalommal rendeztek szakmai jellegű összejöveteleket, előadóüléseket, tudományos előadásokat, szervezték tagjaik részvételét külföldi szakmai konferenciákon.

A kutatás területén elért eredmények elismerésére a Társulat 2005-ben is odaítélte tudományos díjait, amelyek közül a Detre László-díj (*Tóth Imre*), a Gombás Pál-díj (*Legeza Örs*), a Jánossy Lajos-díj (*Horváth Ákos*), a Novobáczky Károly-díj (*Kovács Tamás*), a Schmid Rezső-díj (*Bortel Gábor*), valamint a Felsőoktatási díj (*Kanyár Béla*) került kiadásra. A Társulat Küldöttközgyűlése a 2005. évi Prométeusz-éremet *Härtlein Károlynak* ítélte oda.

*A nevelés és oktatás, képességfejlesztés, ismeretterjesztés és a kulturális tevékenység* területein végzett szerteágazó munka zöme a Társulat oktatási szakcsoportjai, valamint területi csoportjai szervezésében folyt. A fizikatanári közösség számára módszertani segítséget, a tapasztalatcsere és szakmai továbbképzés lehetőségét kínálták a két oktatási szakcsoport által 2005-ben megrendezett, elismert továbbképzésként is akkreditált fizikatanári ankétok, így

• A 48. *Középfiskolai Fizikatanári Ankét és Eszközkiállítás*, Székesfehérvár, 2005. március 11–15.

• A 29. *Általános Iskolai Fizikatanári Ankét és Eszközkiállítás*, Kőszeg, 2005. június 27–30.

A Társulatnak a képességfejlesztés szolgálatában álló versenyszervező tevékenysége az általános iskolai korosztálytól kezdve az egyetemi oktatásban résztvevőkig

Megnevezés	Előző év (eFt)	Tárgyév
<i>A. Befektetett eszközök</i>	1 733	1 250
Immateriális javak	16	5
Tárgyi eszközök	1 717	1 245
<i>B. Forgóeszközök</i>	10 511	6 578
Készletek	0	0
Követelések	2 004	1 598
Pénzeszközök	8 507	4 980
<i>C. Aktív időbeli elhatárolások</i>	7 157	8 406
<b>Eszközök (aktívák) összesen</b>	19 401	16 234
<i>D. Saját tőke</i>	5 506	5 571
Induló tőke	7 581	7 581
Tőkeváltozás	-3 059	-2 075
Tárgyévi eredmény	984	65
<i>F. Kötelezettségek</i>	13 888	10 574
Rövid lejáratú kötelezettségek	13 888	10 574
<i>G. Passzív időbeli elhatárolások</i>	7	89
<b>Források (passzívák) összesen</b>	19 401	16 234

terjedően kínál felmérési lehetőséget a fizika iránt fokozott érdeklődést mutató diákok, hallgatók számára. A területi szervezetek túlnyomó többsége szervez helyi, megyei, adott esetben több megyére is kiterjedő vagy akár országos részvételű fizikaversenyeket. Ezek részletes felsorolása helyett csak meg kívánjuk említeni, hogy a 2005-ben szervezett és lebonyolított, adott esetben több száz főt is megmozgató versenyek száma változatlanul meghaladja a húszat. Ezek között számos olyan is szerepel, amelyek hosszabb idő óta évente rendszeresen kerülnek megrendezésre.

A Társulat 2005-ben is megrendezte hagyományos, országos jellegű fizikaversenyeit (Eötvös-verseny, Ortway-verseny, Mikola-verseny, Öveges-verseny, Szilárd Leó Fizikaverseny). A korábbi évekhez hasonlóan 2005-ben is a Társulat szervezte meg a résztvevők kiválasztását és a magyar csapat felkészítését az évenkénti fizikai diákolimpiára. A diákolimpián részt vett versenyzők három arany (első) és két bronz (harmadik) helyezést értek el, ezzel az érmek versenyében az ötödik, a nemzetek pontversenyében a hetedik helyet foglalták el.

A továbbképzésben, szakmai ismeretterjesztésben és az információszolgáltatásban betöltött szerepe mellett a tehetséggondozás feladatait is szolgálja a Társulat folyóirat-kiadási tevékenysége. A Társulat 2005-ben kiadta a Társulat havonta megjelenő hivatalos folyóirata, a *Fizikai Szemle* 55. évfolyamának 12 számát, továbbá kiadóként megjelentette a Bolyai János Matematikai Társulattal közösen szerkesztett *Középfiskolai Matematikai és Fizikai Lapok* (KöMaL) 2005. évi évfolyamát. A Társulat tagjainak tagsági jogon járó *Fizikai Szemle* megtartotta elismert szakmai színvonalát, változatlanul a magyarul beszélő fizikustársadalom egyik igen jelentős összefogó erejének tekinthető.

## Eredménykimutatás a 2004. évről

Megnevezés	Előző év (eFt)	Tárgyév (eFt)
<i>A. Összes közhasznú tevékenység bevétele</i>	63 735	65 266
Közh. célú műk.-re kapott támogatás	10 068	10 836
Központi költségvetéstől	0	0
Helyi önkormányzattól	440	1 230
Egyéb (ebből SzJA 1%: 1 018 eFt)	9 628	9 616
Pályázati úton elnyert támogatás	15 248	9 535
Közh. tevékenységből származó bevétel	29 577	35 549
Tagdíjból származó bevétel	8 010	8 681
Egyéb bevétel	832	665
<i>B. Vállalkozási tevékenység bevétele</i>	0	0
<i>C. Összes bevétel</i>	63 735	65 266
<i>D. Közhasznú tevékenység ráfordításai</i>	62 751	65 201
Anyagjellegű ráfordítások	44 783	43 588
Személyi jellegű ráfordítások	15 196	18 679
Értécsökkenési leírás	870	641
Egyéb ráfordítások	1 902	2 293
<i>E. Vállalkozási tevékenység ráfordításai</i>	0	0
<i>F. Összes ráfordítás (D+E)</i>	62 751	65 201
<i>G. Adózás előtti eredménye (B-E)</i>	0	0
<i>I. Tárgyévi vállalkozási eredmény (G-H)</i>	0	0
<i>J. Tárgyévi közhasznú eredmény (A-D)</i>	984	65

A tanári közösséget érintő, valamint a szélesebb tömegekre kiterjedő ismeretterjesztés területén végzett társulati tevékenységből a fentiekben kívül meg kívánjuk említeni a korábbi évek *Physics on Stage* programok folytatásaként szervezett *Science on Stage* program hazai rendezvényeit. 2005. szeptember 23–25. között, Székesfehérváron rendeztük meg a nemzetközi fesztivál magyar delegációját kiválasztó, előkészítő konferenciát. A program anyagi támogatásával nyolc területi szervezet szervezett a program általános célkitűzéseinek megfelelő rendezvényeket – előadásokat, előadás-sorozatokat, versenyeket, kísérleti bemutatókat, diákszínpadai előadásokat.

Az *euroatlanti integráció elősegítése* szolgáltatásban állt a Társulat nemzetközi tevékenysége, amellyel a hazai fizika nemzetközi integrálódásának folyamatát kívántuk erősíteni. Sikerral kapcsolódott be a Társulat a hazai rendezvények kapcsán már említett, 25 európai ország részvételével szervezett *Science on Stage* programba. A program 2005 novemberében, a CERN-ben megrendezett záró fesztiválján tíztagú magyar tanárküldöttség vett részt. A résztvevők közül *Lang Ágota* kollégánk kiállított oktatási anyagával az Európai Molekuláris Biológiai Laboratórium különdíját nyerte el. A Társulat képviseltette magát a Cseh és Szlovák Fizikai Társulat, valamint az Osztrák Fizikai Társulat 2005. évi nagyrendezvényén.



A fenti Közhasznúsági jelentést az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Küldöttközgyűlése 2006. május hó 27-én tartott ülésén fogadta el.

## Vákuumtechnikai tanfolyam

Az ELFT Vákuumfizikai Szakcsoportja magyar nyelvű vákuumfizikai, -technikai tanfolyamot szervez, amely a IUUSTA Technical Short Courses sorozatba tartozik. A IUUSTA korlátozott számban szállás-, valamint határon belüli útiköltség térítésére anyagi támogatást is ad a résztvevőknek.

*Az oktatás célja:* A vákuummal kapcsolatos munkaterületeken dolgozó technikusok, diákok, végzett diplomások, mérnökök, kutatók elméleti és gyakorlati oktatása, továbbképzése.

*Nyelve:* magyar.

*Célközönsége:* hazai és határon túli technikusok, diákok, mérnökök, kutatók, oktatók.

*Ideje, időtartama:* 2006. október 9-én, hétfőn 11:00 órától 13-án, pénteken 13:00 óráig.

*Helye:* MTA Atommagkutató Intézete (ATOMKI), Debrecen, Bem tér 18/C.

Tematikája, a jelentkezés és részvétel részletei a [http://atomki.hu/~bohatka/Vakuumtechnikai\\_tanfolyam\\_2006.doc](http://atomki.hu/~bohatka/Vakuumtechnikai_tanfolyam_2006.doc) címen, az interneten hozzáférhető.

## AZ AKADÉMIAI ÉLET HÍREI

### Spenik Ottó az Ukrán Nemzeti Tudományos Akadémia rendes tagja

Az Ukrán Nemzeti Tudományos Akadémia (UNTA) 2006. évi közgyűlésén rendes taggá választotta *Spenik Ottó* fizikust, az UNTA Elektronfizikai Kutatóintézetének igazgatóját. Spenik Ottó Kárpátalja szülőtte, és az első kárpátaljai természettudós, aki ebben a megtiszteltetésben részesült.

1938-ban született Munkácson, ott is érettségizett. Az Ungvári Egyetemen folytatta tanulmányait, majd 1966-

ban Leningrádban védte meg kandidátusi disszertációját az elektron–atom ütközések témaköréből. A tudományok doktora fokozatot 1976-ban szerezte meg Kijevben. 1997-ben választották az UNTA levelező tagjává, 1998-ban pedig az MTA külső tagjává. 1992 óta az UNTA Elektronfizikai Kutatóintézet igazgatója, számos magas kitüntetés birtokosa.

# Szépfalusy Péter 75 éves

*Szépfalusy Péter*, az Eötvös Loránd Tudományegyetem professor emeritusa, az Magyar Tudományos Akadémia tagja, 2006 júniusában betöltötte 75. életévét.

Személyében a fizika magyarországi kutatásának és egyetemi oktatásának területén az elmúlt fél évszázad egyik kiemelkedő, valamint a nemzetközi tudományos életben is széleskörűen elismert egyéniségét tiszteljük és köszöntjük.

Szépfalusy Péter 1953-ban végzett a Budapesti Műszaki Egyetem villamosmérnök szakán, majd 1955-ben fizikus oklevelet is szerzett az Eötvös Loránd Tudományegyetemen. 1953-tól a Műszaki Egyetem Fizikai Intézetében dolgozott *Gombás Pál* csoportjában. Első kutatási területe az atomok elektronszerkezetének elmélete volt. Nevéhez fűződik a nemlokális pszeudopotenciál módszerének bevezetése, amely később, már tőle függetlenül, a szilárd testek elektronszerkezetének számításánál széleskörűen alkalmazott eljárássá fejlődött.

Érdeklődése később a kvantummechanikai soktestprobléma, ezen belül a Bose-rendszerek és a szuperfolyékony hélium viselkedése felé fordult. Kutatói pályájának fontos állomása volt tanulmányútja a Virginiai Egyetemen (Charlottesville, USA), ahová feleségével, *Menyhárd Nórával* utazott. Itt mindketten tagjai voltak a *Richard Ferrell* körül kialakult öt tagú nemzetközi csoportnak, amely 1967-ben a szuperfolyékony hélium kritikus viselkedésének elemzése kapcsán – egy másik amerikai kutatópárossal egy időben, de tőlük függetlenül – megfogalmazta a dinamikai skálahipotézist. Ez a felismerés alapvető lökést adott a terület további fejlődésének, és az eredmény ma már a tankönyvekben is szereplő ismeretek közé tartozik.

Szépfalusy Péter azzal a felismeréssel tért haza, hogy a fázisátalakulások és kritikus jelenségek megértésében bekövetkezett áttörés a statisztikus fizika tartós fellendülését és felértékelődését hozza magával. Tevékenységét e folyamat magyarországi érvényesülésének szolgálatába állította, kutatásai mellett hangsúlyt fektetett a statisztikus fizika oktatásának megújítására, és feladatokat vállalt e terület hazai aktivitásának és nemzetközi kapcsolatainak szervezésében is.

1962-ben munkahelyet változtatott, az ELTE Elméleti Fizika Tanszékén először a tanszéki kutatócsoport, majd Amerikából való hazatérése után a tanszék tagja lett. Az egyetemmel való kapcsolata akkor sem szakadt meg, amikor 1976-ban az MTA Központi Fizikai Kutatóintézetébe ment. 1986-ban tért vissza az ELTE-re, ahol 10 éven át vezette a Szilárdtest Fizika Tanszékét. 1998-ban egyik alapítója volt a Komplex Rendszerek Fizikája Tanszéknek, ahol ma is dolgozik az egyetem professor emeritusaként.

Az Amerikából való hazatérése utáni években kutatásai a folytonos fázisátalakulások dinamikai kritikus jelenségeinek és a dinamikai renormálási csoport transzformáció működésének megértésére irányultak. Tanítványainak első nemzedékével komoly visszhangot kiváltó eredményeket ért el a Bose-folyadék kondenzációjának és a sok komponensű rendszerek fázisátalakulásainak elméleti vizsgálatában.

Az 1970-es évek második felében érdeklődése a termikus egyensúlytól távoli struktúrák kialakulása felé fordult, ami később egyenes úton vezetett a szabálytalan időbeli viselkedés, a káosz tanulmányozásához.

Fontosnak tartotta, hogy az új tudományos irányokkal az ezeket közvetlenül művelőkön kívül a szélesebb tudományos közösség is megismerkedjen. Ennek hatékony formáját találta meg az egyhetes statisztikus fizikai iskolákban, amelyeket éveken át szervezett. Tanítványai több ilyen iskola témáját fizikus hallgatókkal is feldolgozták a tudományos diákkör nyári iskoláin.

Az 1982-es statisztikus fizikai iskola ismertette meg a szélesebb hazai tudományos közösséggel a káosz fogalmát, s erre az időre tehetjük a magyarországi káosz kutatás kezdetét. Szépfalusy Péter e területnek hamarosan nemzetközi szinten elismert vezető kutatójává vált, amit számos konferenciára szóló meghívás is jelzett. Kutatási témái igen széles spektrumot fogtak át a káosz statisztikus tulajdonságaitól a multifraktál tulajdonságokon át a kvantumkáoszig. Pályájának rendkívül termékeny időszak volt ez az évtized, melynek során gyümölcsöző együttműködést sikerült kialakítania a káosz és a statisztikus fizika matematikai alapjai iránt érdeklődő matematikusokkal, s közben felnevelte tanítványainak második nemzedékét is.

Korai kutatási témája, a Bose-folyadék fázisátalakulása és dinamikája ismét aktuálissá vált, amikor 1995-ben mágneses csapdába zárt alkáli fémgőzökkel kísérletileg megvalósították a Bose–Einstein-kondenzációt. Hallatlanul intenzív kísérleti és elméleti kutatás indult el ezzel a világban, ami a mai napig nem lanyhult. A szuperfolyékony hélium problémájában korábban szerzett tapasztalatokra építve Szépfalusy Péter és az általa vezetett MTA–ELTE Statisztikus Fizikai Kutatócsoport hamar bekapcsolódott a téma kutatásába. Eleinte a kondenzátum gerjesztéseinek vizsgálatával foglalkoztak, majd – a kísérletek által felvetett kérdéseket követve – áttértek a csapdázott spinor Bose-gáz, illetve a csapdázott fermion gőzök fázisátalakulásainak tanulmányozására. Eredményeik elismertségét jelzi, hogy Szépfalusy Péter és munkatársai résztvevői egy, a Bose-kondenzáció kutatását célzó nemzetközi European Science Foundation (ESF) programnak is. Másfajta elismerést jelentett az, hogy a témakör fellendülésének első szakaszában gyakran idézték Szépfalusy Péter és volt tanítványa, *Kondor Imre* közel három évtizeddel korábban elért egyik eredményét a gerjesztések csillapításával kapcsolatban.

A legutolsó néhány év fordulataként termékeny együttműködés alakult ki Szépfalusy Péter, valamint a Statisztikus Fizikai Kutatócsoport vezetését 2001-ben átvevő *Patkós András* és munkatársai között, amelyből a végeshőmérsékletű térelméleti modellek fázisátalakulásaira s az általuk leírt részecskék dinamikájára vonatkozóan nemzetközi visszhangot kiváltó eredmények születtek.

Szépfalusy Péter az ilyen irányú lehetőségek indulásának pillanatától nagy számú hazai és nemzetközi pályázat témavezetője volt. Jelenleg az ESF Bose–Einstein-kondenzáció témájú programjának magyarországi koordinátorra.



Szépfalusy Péter kutatómunkája mellett mindig talált időt arra is, hogy az új ismereteket fizikus kollégáinak és a fiatal kutatóknak továbbadja. Úttörő szerepe volt a hazai statisztikus fizika oktatásának modernizálásában, a modern témákat is tárgyaló tárgy kialakításában, amit aztán kisebb megszakításokkal közel húsz éven át gondozott. A hetvenes évek közepén elkészült, sokszorosított jegyzete alapján nemzedékek tanultak nemcsak az ELTE-n, hanem az egész országban. A statisztikus fizika klasszikus és friss fejezeteiről számos speciális előadást tartott, közülük több is a fizikus képzés reformja után reguláris előadás lett. 1995-ben vette át a *Héjfizika* című kötelező előadást, ami az ő kezében jól átgondolt, magas színvonalú bevezetéssé vált a fizika e területébe.

Szépfalusy Pétert állandóan tanítványok vették körül. Számítalan diplomamunkának volt témavezetője, s mellette a mai napig szinte megszakítás nélkül követték egymást a doktoranduszok. Az új rendszerű doktori képzés indulásakor meghatározó szerepe volt az ELTE Doktori Iskoláján belül a fizika program kialakításában, ennek 2001-ig vezetője is volt.

Kitartó szervező munkával törekedett arra, hogy a statisztikus fizika az öt megillető súllyal legyen jelen a hazai tudományos életben. Kezdeményezte az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Statisztikus Fizika Szakcsoportjának megalapítását, ennek sokáig a vezetője is volt. Megalakulásától kezdve egy évtizeden át vezette a Magyar Tudományos Akadémia Statisztikus Fizikai Albizottságát, amely később – a statisztikus fizika növekvő elismertségének jeleként – önálló bizottsággá vált.

Komoly erőfeszítéseket tett a statisztikus fizikát művelő közösség nemzetközi kapcsolatainak kiépítése érdekében. Elindította a 1974 óta töretlenül működő és – nevével ellentétben ma már egész Európára kiterjedő – Közép-európai Statisztikus Fizikai Együttműködésnek (MECO). Hosszú ideig tagja volt az együttműködés tanácsadó testületének, s ő szervezte meg a MECO 1980. évi budapesti konferenciáját. A hazai statisztikus fizikai közösség nagy elismerésének tekinthetjük, hogy 1975-ben Budapest rendezhette meg a IUPAP Statisztikus Fizikai Konferenciáját, amelynek szervezőbizottságát Szépfalusy Péter irányította. A budapesti konferencia e konfe-

renciák sorában az egyik legsikeresebb rendezvénynek bizonyult, kedvező alkalmat nyújtva a nyugati és a keleti világ fizikusainak találkozására is.

Szépfalusy Pétert a Magyar Tudományos Akadémia 1982-ben levelező tagjának, majd 1987-ben rendes tagjának választotta meg. Hosszabb-rövidebb időszakokra tagja volt az *Acta Physica Hungarica*, az *Europhysics Letters*, a *Fractals*, a *Zeitschrift für Physik B – Condensed Matter* és a *Physica A* nemzetközi fizikai folyóiratok szerkesztőbizottságának. 1972 és 1978 között tagja volt az IUPAP „Comission on Thermodynamics and Statistical Mechanics” bizottságának.

Elismertségét számos díj elnyerése is jelzi, közülük a legfigyelemreméltóbbak a Szent-Györgyi Albert-díj (1992), a Széchenyi-díj (1995), az Arany János Közalapítvány a Tudományért nagydíja (2000) és – a nemzetközi szinten is jelentős – Humboldt-díj (1998).

Széleskörű nemzetközi elismertségét jól mutatja, hogy a tanítványai által 60. születésnapja alkalmából szerkesztett könyvbe, melyet a World Scientific adott ki, több mint 30 közlemény érkezett külföldi szerzőktől, köztük olyan neves kutatóktól, mint *R. Ferrell*, *K. Binder*, *L. Bunyimovics*, *C. De Dominicis*, *G. Nicolis*, *G. Stanley* és *J. Szmáj*.

Szépfalusy Péter a hazai fizikusközösség egyik meghatározó személyisége. Kivételes érzeke van az új, fontos tudományos fejlemények azonnali felismerésére, és e felismeréseit pályája során mindig a hazai elterjesztésükért tett fáradhatatlan lépések követték. Eredményei és személyes tulajdonságai kiváló tanítványok sokaságát vonzották hozzá, és ez a pezsgés nemzetközi elismertségű statisztikus fizikai iskola kialakulásához vezetett. Érdeklődő hallgatókból és fiatal oktatókból korán lelkes kutatócsoport alakult ki körülötte. Tanítványait nem magának nevelte, hanem hamar munkatársának fogadta őket s mindent megtett annak érdekében, hogy önálló kutatóvá váljanak. Volt tanítványai közül sokan már hazai vagy külföldi intézmények professzorai és megbecsült munkatársai. Szépfalusy Pétertől tanítványai a szakma elmélyült ismeretét, tudományos igényességet és a tiszteletes megoldások keresését tanulhatják. A „Szépfalusy-iskola” tagjává válni máig megtiszteltetés.

*Tél Tamás, Sasvári László*

## KÖNYVESPOLC

### Litz József: FIZIKA II.

Új egyetemi tankönyv a termodinamikáról és az elektrodinamikáról

Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., Budapest, 2005.

A Nemzeti Tankönyvkiadó Rt. egységes köntösben jelentette meg a *Fizika I.* (Klasszikus mechanika) és a *Fizika II.* (Termodinamika és molekuláris fizika – Elektromosság és mágnesség) című köteteket, amelyek a természettudo-

mányi karon a pályakezdő egyetemi hallgatók számára készült bevezető, a régi szóval „kísérleti”, a mai helyesebb szóhasználattal „általános” fizika tankönyvéül szolgálnak. Bár több kiadó erőfeszítései ismereteseek, helyütt

csak a *Litz József* tollából megjelenő új kötetéről szólunk, mégis kellemes kötelességnek érezzük, hogy a legutóbbi évek előzményeit is felemlítsük, mert az az érzésünk, hogy egyes gondolatok szükségképpen kapcsolódnak a korábbi változatokhoz is. Ezért – persze – az Olvasó szíves elnézését kérjük.

Tisztában vagyunk azzal, hogy a tankönyvkiadó cégek nincsenek rózsás helyzetben (a minőségért folytatott harcban, az árképzés és a szükséges példányszám közti kétfrontos háborúban), mégis meg kell jegyeznünk, hogy az egységes köntös kívánalma – a természetes tartalmi változásokat nem hagyva figyelmen kívül – érdekes szituációt hozott létre.

Litz József *Hőtan* című könyvrésze nagyon hasonló a Dialóg Campus Kiadónál 2001-ben megjelent kötetben fellelhetőhöz, az *Elektromosságtan* című fejezet darabjai megtalálhatók *A fizika alapjai* című – *Erostyák János* és Litz József szerkesztette – 2002-es kötetben. S hogy teljesebb legyen a körkép, Litz József *Elektromosságtan és mágnesség* című munkájának egy változata már megjelent a Műszaki Könyvkiadónál is 1998-ban, az *Általános fizika* sorozatban. Nem akarjuk azt az igazságtalan látszatot kelteni, hogy e művek között nem volna olykor lényeges eltérés, de miközben ekkora vastag tankönyveket szorongatunk a kezünkben, felmerül bennünk a kérdés, mi lehet a Kiadó(k) felfogása – vagy az előtte (előttük) lebegő cél –, hogy egyszerre ilyen bőségben jelentet (nek) meg elektrodinamika tankönyveket? Az igazság megköveteli, hogy *Hevesi Imre Elektromosságtan* című könyvét is megemlítsük, amit a szegedi egyetem professzorától 1998-ban hozott ki a Nemzeti Tankönyvkiadó. Nem hisszük, hogy öntudatlan pazarlás esetével állnánk szemben. Azt sem tartjuk valószínűtlennek, hogy több pályázó – vagy egy pályázó többszöri szereplése – nem javítja a minőséget. Csak elgondolkoztató ez a körülmény.

Mindenképpen Litz József *Fizika II.* kötete az, ami az új, 2005-ös egységes küllemű kiadásban előttünk áll, ez a továbbiakban a tárgyunk.

Legfőbb ideje, hogy a magyar tankönyvkiadás „végleges” megoldást kínáljon az általános fizika termodinamika és elektrodinamika fejezeteinek (majd persze más kötetekben a többi diszciplínának is). Az elmúlt körülbelül 50 esztendő tekintve a Papalekszi-féle hétkötetes (kísérleti) fizika, majd azt követően *Gyulai Zoltán*, *Budó Ágoston*, *Mátrai Tibor*, *Pócza Jenő* és *Tarján Imre* nevével jegyzett kiváló magyar erők alkotta könyvsorozat nem avult el ugyan, hanem gyorsuló világunkban egy kissé fakóbb lett. A tapasztalati (és piaci!!) tények oly mértékben gazdagodtak, hogy azok olykor gyökerelesen megváltoztatták nemcsak nézeteinket, hanem laboratóriumi felszereléseinket is. (Bármennyire furcsa is a sorrend, hiszen hazánkban gyakran előbb változik a tudat, mint a gyakorlat.) Ezért az újfajta szintézist megkísérlő, mégis a kezdők számára hozzáférhető, ugyanakkor vonzó, de főként a jövőbe mutató bevezető tankönyvekre égető szükség van. S a különböző irányú érdekességek felé mutató tárgyalás – amelyben a biológia nagy súllyal szerepel – okvetlenül azt követeli, hogy úgyszólván már az elején a széles körű alkalmazási le-

hetőségekhez forduljon a szerző. Hiszen az egyetemi hallgatóság, a feltételezett olvasók csak akkor mozgósíthatók, ha azonnal meglátják, merre vannak az alkalmazási lehetőségek, még akkor is, ha a jelenségek, a törvényszerűségek megfogalmazásához a szükséges matematikai fegyvereket jó esetben csak pár perccel korábban hallják, vagy ismerik meg.

Egy másik körülmény, ami az egységes tárgyalás szempontjából sem lényegtelen, az az, hogy a kötet következetesen az SI mértérendszer alkalmazza.

A termodinamikáról és a molekuláris fizikáról szóló rész a körülbelül 660 oldalas kötetből 250 oldalnyi. Ennek egyik fő jellemvonása, hogy alig 50 oldal után elkezdi az anyag atomos szerkezetének tárgyalását. A szilárdtestek felépítésének tárgyalásakor a kristályszerkezet lép az első frontba. A fő tételek kimondását a fázisátalakulások és fázisegyensúlyok elemzése követi. Ezután kerülnek sorra a transzportfolyamatok, majd a termikus energia átalakításának kérdései (hőerőgépek, hűtőgépek és hőszivattyúk). Külön 10–10 oldal foglalkozik a kémiai és a biológiai termodinamika fontos általános kérdéseivel (entrópiatermelés, DNS szerkezete).

Az elektromosságról és mágnességről szóló hatalmas rész általános szerkezete nem igazán meglepő. De az, hogy már az első oldalon szerepel *Maxwell* neve és a televízió meg a számítógép, eleve mutatja, mi a Szerző célja. Olyan elektrodinamikai „bevezetőt” adni – mert nézzünk azért a kötet utolsó oldalain bemutatott jó szándékú matematikai emlékeztetőkre is! –, amely a hagyományos áramköri elemekre (ellenállás, kapacitás koncentráltan) éppúgy épít, mint ahogy kitér az utolsó fejezetben a vezetési mechanizmusok szilárdtestfizikai aspektusaira is. S ez nem kis feladat! Nehéz dolog megállni a bevezető tankönyvben „a még érthető elemeknél”!

A szerző gondos pedagógiájára jellemző az is, hogy a kötetben a tárgyaláshoz kapcsolódóan mintegy 100 kidolgozott feladat és körülbelül 500 szöveges feladat csatlakozik. Ez utóbbi a fejezetek lezárása után található.

Igencsak figyelemreméltó, hogy Litz József – ha csak pár sorban is – helyet biztosít az elektréteknek, elektrosztrikciónak, piezoelektromosságnak, elektrokálorikus hatásnak, az MHD-generátoroknak, a van Allen-zónáknak, a Cooper-pároknak és a SQUID-nek is.

A kötet még tartogat egy olyan tulajdonságcsoportot, amely az olvasó szívét melengeti. Az okfejtése szép és igényes magyar nyelven íródott – amiben bizonyára voltak a Szerző előtt példák. A könyv gyakran idéz mottóként, vagy a konklúzió után egy-egy passzust akár közismert fizikus szerzőtől, akár a szépirodalomból, jeléül annak, hogy nem kell szegyejni, milyen elődök nyomán tárgyaljuk az ismereteket, mert végül is ez mindnyájunk öröksége – legfeljebb nem mindenki él vele tevékenyen. De ha tevékenyen akar vele élni, a kötet bőséges irodalmi utalásokkal is szolgál az elődök munkáját illetően. S ebben a tekintetben is döntő minőségi különbség látható néhány külföldi szerző ekkora méretű művéhez képest.

A szerzőnek a szövegért, a kiadónak a könyv kiállításáért mindenképpen elismeréssel tartozunk.

*Abonyi Iván*

ELTE Elméleti Fizika Tanszék

## KVANTUMINFORMÁCIÓ

A kvantummechanika megszületése nemcsak óriási ablakot nyitott a világra, de életünket megváltoztató eszközök sokaságát is adta a kezünkbe. Az anyag kis részecskéi, köztük az elektronok mozgásának hullámtermészete volt a kulcs a kristályos anyagok sávszűrő hatásának, a megengedett és tilos sávoknak felismeréséhez. Ezek nélkül nem lennének félvezető eszközeink, és nem is álmodhatnánk arról, hogy mobiltelefonon tartsunk minden eddiginél szorosabb kapcsolatot a hozzánk közelállókhoz. Alig vitatható, hogy ezektől az eszközöktől lett az átlagosan polgárosodott emberek közkinccse olyan szintű kényelem és szabadság, amely százötven éve még csak a leggazdagabbaknak jutott osztályrészül. Hogy a víz egy kézmozdulatunkra jön a falból, már évtizedek óta természetesen mondható, de az már igazán csak a mai életünknek lett alig nélkülözhető része, hogy még az oly sokat szidalmazott hírek is olyan bőségben jutnak el hozzánk, amelyben régen csak egy rendőrfőnöknek lehetett része, vagy annak sem. Az utóbbi egy-két évtizedben a kvantummechanika egy új területen kezdi ígérni életünk megváltoztatását: ez az információkezelés eszköztárának váratlan, új eszközökkel való kibővítése.

A kvantumjelenségek közös kulcsa az anyag legkisebb részeinek hullámszerű mozgása. Az elektronok nem körülrohagálják, hanem körülhullámozzák az atommagokat. A hullámok szétterjedhetnek és összetalálkozhatnak, ilyenkor erősíthetik vagy kiolthatják egymást: *interferálnak*. Mindez végtelenül sokszor változatosabb, mint egy golyócska rohangálása: nem csoda, hogy a hullámok mintázatára az élő és élettelen világ hallatlan sokfélesége épül. A kicsiny anyagrészek hullámmozgását és annak legfontosabb jelét, az interferenciát számtalan kísérlet bizonyítja, elektronoktól a náluk kétezerszer nehezebb neutronokon keresztül a többszázegzerszer nehezebb óriásmolekuláig.

A kvantummechanikai információkezelés is mindenekelőtt a hullámmozgás kiaknázására épül: ha az egy bit információt alkotó *igent* és a *nemet* két hullámformára bízuk, például egy foton (fénykvantum) kétféle polarizációjára, vagy egy elektron kétféle *spin*jére (az is csak egy trükkösebb fajta polarizáció), akkor ezt a két komponens különböző arányban és fázisokkal összetéve az interferencia számtalan kombinációt hoz létre. Az „igen” és „nem” ilyen, interferenciában született kombinációi alkotják együtt a *kvantumbitet*, röviden *qubitet*. Ez a kvantuminformáció alapfogalma, amelynek nevéből érdemes megjegyezni, hogy ugyanúgy mondják, mint a *cubitet*, ami a legelterjedtebb ókori mértékegységnek, a rőfnek a latin neve (angolul is így mondják); romantikusabb lelkű fizikusoknak erről az jut eszébe, hogy a qubit a minden dolgok igaz mértéke, Noé bárkájától a bankkártya kódjáig.

A qubitől önmagában még nem származna akkor nagy nyereség az információkezelésre. Az igazi szenzációt egy mélyebb kvantummechanikai tulajdonság hozza:

az *összefonódás*. Ez azt jelenti, hogy az egymással kölcsönhatásba kerülő elektronok, atomok, molekulák közösen végzik hullámmozgásukat, és ezek a sok qubitnyi információt hordozó, sokrészecskés hullámok tudnak egymással interferálni. Erre aztán hallatlanul nagy teljesítőképességű algoritmusokat lehet építeni, amelyek eddig reménytelennek ítélt feladatok megoldásához foghatnak hozzá, csak legyen *kvantumszámítógép*, amelyen futnak ezek az algoritmusok.

Sajnos, itt van a dolog buktatója is. Az összefonódásba alig kivédhető kéretlen partnerként belelép az egész külvilág, és ez, mint egy óriási zajforrás, elrontja a hullámmozgás *koherenciáját*, vagyis elrontja interferenciaképességét, emiatt a nyolc-tíz qubitnél nagyobb kvantumszámítógépek egyszerűen nem működnek.

A világban óriási versenyfutás folyik azért, hogy mégis legyenek hatékonyabb kvantumszámítógépek. A történet az egyes ionokat vagy atomokat csapdában tartó, a hőmozgás zaja ellen mély hőmérsékletekre lehűtő és a külvilágtól hatékonyan elszigetelő, szobanagyságú vákuumtechnikai eszközökkel kezdődött. Ezeket mára sikerült apró chipekre ültetni, amelyekből talán hamarosan elég sokat össze lehet kapcsolni és számítógéppé szervezni úgy, hogy egy-egy számítási feladat időtartamára megőrizhető legyen a rendszerben futó kvantummechanikai hullámmozgások koherenciája.

A chipre ültetett ion- vagy atomcsapda nem az egyetlen lehetőség: kicsiny, a mikroszkopikus és makroszkopikus határmezsgyéjén álló, divatos szóval élve *mezoszkopikus* félvezető eszközöknek többféle változata is versenyben áll azon az úton, amely az összefonódott elektronok közös hullámmozgását vezérelni képes kvantumos

Ioncsapda céljaira készült chip: a közepén látható cikk-cakk vonalban folyó áram mágneses tere tartja fogva azokat az ionokat, amelyeknek célszerűen kiválasztott energiaszintjei qubiteket alkotnak.



áramkörök megteremtése felé halad; a félvezetők ipari tömeggyártása nemsokára eléri a megkívánt kis méreteket. Egyes szupravezető eszközök, bár gyártásuk és kezelésük sok tekintetben nehezebb, a koherencia megőrzésére különösen alkalmasnak látszanak.

A feladat azonban óriási. Gondoljuk meg: a jól szervezhető kis eszközök félvezető vagy szupravezető kristályokból készülhetnek. Ezek rugalmasak, a hő hatására rezegnek: a kelvin tört részére kell őket hűteni. Kristályhibáik is vannak: javítani kell a kristálynövesztést. Szennyező atomok is vannak bennük: ezektől meg kell őket tisztítani, minden eddiginél nagyobb mértékben. És akkor még mindig ott vannak, az elektronok kihagyhatatlan partnereiként, az atommagok a maguk billegő spinjeivel, amelyeket csak még sokkal erősebb hűtéssel vagy óriási mágnesekkel lehet leállítani. A fizikusok nem hagynak magukkal kibabrálni: egyes változatokban éppen ezeket a zajforrásként roppant kellemetlen magspineket használják fel információfeldolgozásra, megfelelő molekulába vagy félvezető eszközbe építve be őket. A fejlesztés rendíthetetlenül folyik, a nagyritkán a napilapok hasábjain is megjelenő kis előrelépések mögött óriási munka húzódik meg.

Van azonban a kvantuminformációnak egy sokkal lazább, és közvetlen alkalmazásokat kínáló ága, amelyhez a könnyen megvalósítható, néhány qubites – alapesetben akár csak egyetlen qubites – kvantumszámítógép is elegendő: ez a *kvantumtitkosítás*, és néhány hasonló titkosítási feladat, amelyek már eladható terméké értek, és a belőlük befolyó pénz eltartja az egész nagy tudományterületet.

A kvantumos alapú titkosítás alapja a kvantummechanikának – az interferencia és az összefonódás mellett – harmadik alapvető sajátága: ez a hírhedt *kvantummérés*, amit leírni sokkal könnyebb, mint igazán megérteni. A kvantumérés: véletlen választás többféle lehetőség közül; a választás eredményét a hullám állapota csak statisztikailag határozza meg, de az eredmény megszületése közben a hullám ugrásszerűen éppen olyanná változik, mint amilyennek mértük.

Miért is jó ez titkosításra? Azért, mert a finom kvantumrendszerekbe kódolt titkot kikélni csak kvantummérésekkel lehet, és a méréssel járó ugrásszerű változás leleplezi a kémkedőt.

Az alapszituációt 1984-ben *Bennett és Brassard*, az IBM kutatói találták ki. Alice titkos üzenetet akar küldeni Bobnak (hívhatnánk őket A-nak és B-nek is, csak úgy sokkal unalmasabb lenne). Az üzenetet nyilvánosan küldik, de egy kulcsnak használt titkos bitsorozat által elkódolva, így aztán csak a kulcs ismerője tudja elolvasni. A kvantummechanikát éppen a kulcs továbbítására használják: a kulcsot üvegekábelben, egyes fotonok polarizációjába kódolva küldik el egymásnak. A foton mindennél finomabb kvantumrendszer, ha valamin, akkor rajta észre lehet venni, ha valaki – mondjuk, egy ipari kém – útközben le akarta olvasni a polarizációját, hogy hozzájusson a titkos kódhoz. Ha a rendszer ilyet észlel, utasítja a küldőt, hogy indítson újnak újabb bitsorozatot.

Az egyes fotonokból álló gyenge fényjelet polarizáló, majd analízáló kristálylemezekék a legegyszerűbb, egyetlen qubites kvantumszámítógépek, de önmagukban nem

elég jók: az üvegekábelben kilométereket utazva a foton eltorzul, zajossá lesz, a titkos üzenet elvész. Itt jönnek be a játékbá a már éppen létező, kicsit nagyobb, néhány qubites kvantumszámítógépek: ők éppen elegendők a kvantumos zajszűrés megoldására, és arra is, hogy kivédjék a ravaszabb kémek praktikáit, akik álcázni próbálják az általuk lehallgatáskor elvégzett kvantumméréseket. Mulatságos követni, hogy akárcsak az evolúció során, amikor a zergék és oroszánok egyszerre váltak egyre gyorsabbakká, itt egyszerre születnek a lehallgatás és az ellene való védekezés egyre trükkösebb stratégiái. Viharosan fejlődnek a szükséges technika többi részei is: maguk az üvegekábelek, a fotonokat érzékelő detektorok, az adatfeldolgozás technikái. Műholdak és földi bázisok kommunikációja kedvéért kidolgozták az üvegekábel nélkül, levegőn át küldött jelek kvantumos titkosítását is. A kvantumtitkosítás már több helyen működik a világban; nem olcsó, de gazdagabb hadseregek vagy ipari titkaikat féltő nagyvállalatok jól megfizetik az erre szakosodott fizikuscsapatok munkáját. Az egyik legnevezetesebb csapat a Genfi tó partján küldözgeti titkos kódjait faluról-falura, felhasználva egy partnereként közreműködő telefontársaság optikai kábeleit, hogy tesztelje egyre megbízhatóbban működő eszközeit.

A titkosítás új lehetőségei nem merülnek ki a levelezésben. A tervek között szerepel hamisíthatatlan vízjelű kvantumpénz megalkotása, amely megint csak azért hamisíthatatlan, mert a hamisításhoz kvantumérést kell végezni, ami kitörölhetetlen nyomot hagy.

Egy romantikusabb alkalmazás a következő: Alice és Bob vonzódnak egymáshoz, de mindketten szégyenlősek és félnek a visszautasítástól. Hogy eldöntsék, találkoznak-e, titkolt szándékukat – igent vagy nemet – egy kvantumszámítógépre bízják, amely képes a titkot úgy kezelni, hogy ha mindketten IGEN-t küldenek, azt mindketten megtudják, de ha nem, akkor az, aki NEM-et mondott, sosem tudja meg, mit mondott a másik. Az igazsághoz azonban hozzátartozik, hogy ezt a műveletet klasszikus számítógép is meg tudja oldani.

A fizikus öröme többszörös ebben a fejlődésben. Ha csak a külső megrendelők kegyeit lesnénk, ha elfogadnánk az azonnali eladhatóságot, mint a tudományos kutatás egyedül érvényes mértékét, a kvantuminformatikusok közül szinte mindenki csak a titkosírással foglalkozna. De nem: a ki-tudja-mikor-megvalósuló nagy kvantumszámítógép megértése is rohamléptekkel halad előre, és közben apránként megismerjük a kvantummechanikai összefonódás fizikájának elbűvölő részleteit, amelyek sok mindent új fénybe helyeznek: a kémiai kötés természetét, a bonyolult mágneses anyagok viselkedését, a kvantumrendszerek irreverzibilis folyamatait, a termodinamikai entrópia és az információ kapcsolatát, a környezeti zaj szerepét az atomok kvantumos viselkedéséből a nagy tárgyak klasszikus fizikájába való átmenetben, és még sok olyan fontos és érdekes összefüggést, amelyek talán még évtizedekig rejtve maradtak volna, ha a fizikusok nem kapnak rá erre az egzotikus és regénybeillő tudományterületre.

*Geszt Tamás*

ELTE, Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék