

# fizikai szemle

The background of the page is a composite image. The upper portion shows a dark blue night sky with faint, wavy aurora borealis. The lower portion shows a sunset or sunrise landscape with silhouettes of trees and mountains against a warm, orange and yellow sky.

2011/4

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

Főszerkesztő:

**Szatmáry Zoltán**

Szerkesztőbizottság:

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

Szerkesztő:

**Füstöss László**

Műszaki szerkesztő:

**Kármán Tamás**

A folyóirat e-mail címe:

**szerkesztok@fizikaiszemle.hu**

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

**<http://www.fizikaiszemle.hu>**

A címlapon:

**Nyáresti világító felhők.**

**Fotó: Farkas Alexandra.**

## TARTALOM

<i>Katona Tamás:</i> A paksi atomerőmű földrengésbiztonsága	109
<i>Farkas Alexandra:</i> Nyári éjszakák látványos légköroptikai jelenségei: az éjszakai világító felhők	114
<i>Angeli István:</i> Protonsugár-történet	118
<i>Radnai Gyula:</i> A mikrovilág első felfedezői – I.	123

### A FIZIKA TANÍTÁSA

<i>Bokor Nándor:</i> Ütközések elemzése energia-impulzus diagramokkal II. – a relativisztikus rakéta	128
<i>Csiszár Imre:</i> „Elszánt Oroszlánok” és az „Utolsó Dino” Miskolcon – beszámoló az 53. Középfiskolai Fizikatanári Ankét és Eszközbemutatóról	132
<i>Mészáros Péter:</i> Természettudományi alapú óriásprojektek tervezése – a Fizika Napja a győri Krúdy Gyula Középfiskolában	136

### ÁLFIZIKAI SZEMLÉ

<i>Füstöss László:</i> Budapesti Szkeptikus Konferencia – nyolcadszor	141
-----------------------------------------------------------------------	-----

### KÖNYVESPOLC

	142
--	-----

### PÁLYÁZATOK

	143
--	-----

### HÍREK – ESEMÉNYEK

<i>T. Katona:</i> The earthquake security of the Paks nuclear power plant	
<i>A. Farkas:</i> Spectacular phenomena of atmospheric optics: glowing clouds on summernight skies	
<i>I. Angeli:</i> The history of the proton radius	
<i>G. Radnai:</i> The early discoverers of the micro world – Part I.	

### TEACHING PHYSICS

<i>N. Bokor:</i> Analysis of impact processes relying on energy-impulse diagrams, part II. – the relativistic rocket	
<i>I. Csiszár:</i> Report on the 53rd Meeting and Exhibition of Demonstration Equipment of Secondary School Physics Teachers held at Miskolc	
<i>P. Mészáros:</i> The planning of major scientific projects (Topic on the Day of Physics of the Krudy Gyula Secondary School at Győr)	

### PSEUDO-PHYSICAL REVIEW, BOOKS

### TENDERS, EVENTS

<i>T. Katona:</i> Die Erdbeben-Sicherheit des Kernkraftwerks Paks	
<i>A. Farkas:</i> Spektakuläre Erscheinungen der Atmosphärischen Optik: Leuchtende Wolken am Sommernachts-Himmel	
<i>I. Angeli:</i> Die Geschichte des Protonenhalbmessers	
<i>G. Radnai:</i> Die ersten Entdecker der Mikrowelt. Teil I.	

### PHYSIKUNTERRICHT

<i>N. Bokor:</i> Die Analyse vom Stossprozessen anhand von Energie-Impuls-Diagrammen, Teil II. – Die relativistische Rakete	
<i>I. Csiszár:</i> Bericht über das 53. Treffen der Physik-Mittelschullehrer und die Ausstellung ihrer Demonstrationsgeräte in Miskolc	
<i>P. Mészáros:</i> Die Planung grosser Projekte der Naturwissenschaften (Vortrag am Tag der Physik der Krudy-Gyula-Mittelschule in Győr)	

### ZEITSCHRIFT FÜR PSEUDO-PHYSIK, BÜCHER

### AUSSCHREIBUNGEN, EREIGNISSE

<i>T. Katona:</i> Защита Ядерной Электростанции Пакш от землетрясений	
<i>A. Farkas:</i> Прекрасные явления атмосферной оптики: светящиеся облака на летних ночных небных сводах	
<i>I. Angeli:</i> История радиуса протона	
<i>D. Radnai:</i> Первые изобретатели микромра. Часть первая	

### ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

<i>N. Bokor:</i> Анализ ударных процессов с помощью диаграм энергии-импульс, часть вторая – релятивистская ракета	
<i>I. Csiszár:</i> Отчет о 53-й встрече и выставке приборов учителей в средних школах в г. Мискольц	
<i>P. Mészáros:</i> Планировка больших научных проектов (предмет доклада в день физики средней школы им. Д. Круди в г. Дьёр)	

### ОБЗОРЫ ИЗ ОБЛАСТЕЙ ПСЕВДО-ФИЗИКИ, КНИГИ

### ОБЪЯВЛЕНИЯ-КОНКУРСЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ

**Fizikai Szemle**  
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:



**nka**  
Nemzeti Kulturális Alap

**mym**  
paksi atomerőmű

**NCA**  
Nemzeti Civil Alaprogram

**196**  
A FIZIKA BARÁTAI

# Fizikai Szemle

## MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

LXI. évfolyam

4. szám

2011. április

## A PAKSI ATOMERŐMŰ FÖLDRENGÉSBIZTONSÁGA

Katona Tamás  
Paks Atomerőmű Zrt.

### Az atomerőművek biztonságáról

Az atomreaktorok akkor biztonságosak, ha minden körülmények között a láncreakció leállítható, a reaktor lehűthető, a hűtés folyamatosan biztosítható és a radioaktív közegek nem kerülnek ki a környezetbe.

Az első követelmény érthető, hiszen így megállítható a maghasadásokból származó energiatermelés, illetve a láncreakció ellenőrizetlen felgyorsulása is kizárható. Ezt a funkciót neutronelnyelő anyagok reaktorba való bejuttatásával lehet elérni, ami történhet abszorbens rudakkal vagy a hűtőközegben oldott abszorbenssel, a gyakorlati esetekben bórral.

A leállított reaktor hűtésére azért van szükség, mert a maghasadás következtében az üzemanyag magokból, mint az  $U^{235}$ , instabil magok keletkeznek különféle bomlási láncok eredményeként. Az instabil magok természetének megfelelően különböző idő alatt stabil magokká alakulnak, és ebben a folyamatban hő keletkezik, amit maradványhő-képződésnek nevezünk. Ezt a hőt több okból is ki kell vonni a rendszerből:

– Az üzemanyag ne hevüljön túl, megmaradjon szerkezeti integritása, ami mind a hűhetőségnek, mind a reaktivitás kézben tartásának feltétele. Együttal a radioaktív anyagok visszatartása szempontjából is fontos, hiszen az üzemanyag (megjelenését tekintve egy kerámia) anyagában visszatartva marad ekkor az aktivitás nagy része, a gáznemű és halogén anyagok kivételével.

– A lehűtött rendszerben alacsony nyomást lehet tartani, ami azért fontos, mert legyen bár a legkisebb tömörítelenség a reaktor aktív zónáját magában foglaló rendszeren, azon a külső és a belső nyomás közötti különbség a szivárgás hajtóereje, aminek célszerű a legkisebbnek lenni.

– A harmadik ok pedig az, hogy az üzemanyag-pasztilákat magába foglaló csövecskék anyaga cirkónium, amely 1200 °C felett a vízgőzzel reakcióba lép-

ve oxidálódik, és ennek következtében hidrogén keletkezik. A hidrogén, mint robbanóképes gáz jelenléte a rendszerben új veszélyt jelent, ezért erre az esetre ma már az atomerőművekben, így a paksi erőműben is, hidrogén rekombinátorokat telepítenek a robbanás-képes hidrogénkoncentráció kialakulásának megelőzése céljából.

A hűtéshez, az üzemzavari hűtőrendszerek működéséhez két dolog feltétlenül kell: hűtőközeg, azaz a könnyűvízes reaktorokban víz, valamint villamos energia a hűtőrendszer és az erőmű állapotáról elengedhetetlen információt szolgáltatató műszerek működtetéséhez.

A maradványhő termelése – egyea magok gyors stabil állapotba kerülésének köszönhetően – rohamosan csökken, és amíg a reaktor leállítása után ez az üzemi teljesítmény 7%-át teszi ki, néhány óra után már egy százaléknyi, majd néhány nap után ez a teljesítmény a százalék tört része lesz. A kiégett és a reaktorból kikapott üzemanyag hőtermelése általában öt év után éri el azt a szintet, hogy átmeneti tárolókba helyezhető legyen, addig a kiégett üzemanyag a reaktorok melletti tárolókban folyamatos hűtés mellett tárolható.

A radioaktív anyagok visszatartását több fizikai gát biztosítja: az üzemanyag maga, az üzemanyagot magába foglaló burkolat, a reaktor és a primérgör szerkezete mint nyomástartó rendszer és legvégül a konténment szerkezete.

A biztonsághoz elengedhetetlen funkciók nagy megbízhatóságát három konstrukciós elv alkalmazása szolgálja:

– Az adott funkciót megvalósító rendszerek többszörözése, akár négyszeres redundanciával. Így például a paksi atomerőműben a vészhelyzeti villamosenergia-ellátást minden blokkon három dízelgenerátor biztosítja, amelyek teljesítménye egyenként is elégséges az üzemzavari energiaigény kielégítésére, és ezen kívül van még biztonsági akkumulátortelep is.

– Az azonos funkciót teljesítő rendszerek egymástól eltérő gyártmányú, kivitelű, működési elvű elemekből épülnek fel, ezzel csökkentve annak lehetőségét, hogy a redundáns rendszerek egy időben essenek ki, hiszen az azonos elemek azonos módon és időben hibásodhatnak meg.

– A redundáns biztonsági rendszerek térbeli szétválasztása pedig azt szolgálja, hogy egy tűz vagy más meghibásodás egyszerre ne érhesen több rendszert is.

Az atomerőművek biztonsága magában foglalja a földrengésekkel és más természeti katasztrófákkal szembeni biztonságot. Erre ismét ráirányította a figyelmet a japán Honshu-sziget keleti partjának közelében 2011. március 11-én bekövetkezett földrengés, majd az azt követő szökőár.

## Mi történt a Fukushima Daiichi atomerőműben?

2011. március 11-én hatalmas, kilences magnitúdójú földrengés pattant ki Japán keleti partjától mintegy 150 km-re. Ez a földrengés méretében jóval meghaladta a Japán-árok mentén a huszadik században észlelt rengéseket, amelyek mind 8l körüli magnitúdójúak voltak, és a 869-ben történt nagy rengéshez hasonló, amelyet követően Sendai várost elpusztította a szökőár. Ez a rengés egyike az elmúlt száz év legnagyobb földrengéseinek.

A rengés által érintett területen öt atomerőmű-telephely van 15 atomerőművi blokkal, ebből három, az Onagawa, a Fukushima Daiichi és a Fukushima Daini összesen 13 blokkja a földrengés és a cunami által legjobban érintett partszakaszon. A földrengést követően minden üzemelő reaktor automatikusan leállt és elindult a reaktorok lehűtése. Az erőművekben, a 13 blokkon semmilyen, a biztonságot veszélyeztető kár nem történt. Így volt ez a Fukushima Daiichi erőműben is, ahol hat blokk van, amelyek közül három üzemben volt a földrengés előtt, három pedig karbantartáson. A földrengés után mintegy egy órával ért le a szökőár a Fukushima Daiichi atomerőmű telephelyére és teljesen tönkretette a villamos energiát adó dízelgenerátorokat. Ettől a kezdve a véges időtartamra elégséges és korlátozott teljesítményű akkumulátorok álltak rendelkezésre a reaktorok hűtéséhez. Mobil dízelgenerátorok helyszínre szállítására, vagy a villamosenergia-ellátás helyreállítására volt szükség egy olyan hátszóról, ahol rendkívüli állapotok uralkodtak a földrengés és a cunami következtében. A hűtés elvesztése után rendkívüli állapotot hirdettek ki az atomerőműben, és elkezdték a környéken lakók kitelepítését. Ezek után lényegében az alábbi eseménysorozat indult el minden blokkon:

A hűtés hiányában a hőmérséklet és ezzel együtt a nyomás is megnőtt a reaktorokban. A reaktor sérülését megelőzendő a reaktorokat lefűvatták a belső, acél konténmentbe. Megjegyezzük, a biztonságra való tervezés elveinek megfelelően kettős konténment van, egy belső acélkonténment és egy külső vasbeton. Ám egy idő után a belső konténmentekben is

Nagy földrengések		
1. táblázat		
dátum	hely	magnitúdó
1960. 05. 22.	Chile	9,5
1964. 03. 28.	Prince William, Dél-Alaszka	9,2
2004. 12. 26.	Andaman-szigetek, Szumátra	9,1
2011. 03. 11.	Honshu, Japán	9,0
1952. 11. 04.	Kamcsatka, Oroszország	9,0
1868. 08. 13.	Arica, Peru (most Chile)	9,0
1700. 01. 26.	Cascadia-zóna (Egyesült Államok, Kanada)	9,0

Forrás: U.S. Geological Survey honlap

veszélyes túlnyomás alakult ki, amelyet a konténment sérülését megakadályozandó lefűvattak. A túlhevült üzemanyag-burkolat oxidációja során keletkezett és kiszivárgó hidrogén felrobbant és lerombolta a reaktor feletti csarnokot. Ez az eseménysorozat következett be mindhárom blokkon, különbség a hidrogénrobbanás helyében, a konténment állapotában van. A reaktorok üzemzavari hűtését ebben a helyzetben csak rendkívüli eszközökkel, tengervíz bejuttatásával lehetett biztosítani, amihez a reaktivitás kontrollja érdekében még bőrt is keverték. A lefűvattások során, majd a sérüléseken főleg gáznemű aktív anyagok és jód került a környezetbe. A sérült üzemanyagból is került ki radioaktív anyag, de ennek mennyisége és szétszóródása korlátos.

A pihentető medencékben lévő üzemanyag hűtése és felmelegedése volt a második gond, amivel meg kellett küzdeni. A túlhevülés itt is kibocsátásokhoz vezetett.

A helyzetet súlyosbították a tüzek, amelyek a blokkokon lévő kábelek és egyéb éghető anyagok kigyulladásából és hidrogénrobbanásokból keletkeztek.

A helyzet még továbbra is súlyos, bár időközben helyreállították a telephely villamosenergia-ellátását. A biztonsági rendszerek, így a reaktor és a pihentető medencék hűtésének helyreállítása még igen bonyolult és megoldandó feladat. Nap mint nap várhatók még komplikációk az elhárítási munkálatok során, de ma már biztosak lehetünk abban, hogy a folyamat a reaktorok és a pihentető medencék feletti teljes ellenőrzés megvalósítása felé halad.

A sérült három reaktorblokk, mint termelő kapacitás elveszett, helyreállíthatatlan, azokat megfelelően el kell zárni a környezettől. A környezetbe kijutott aktivitás a katasztrófa méreteihez képest és a csernobili katasztrófában kibocsátotthoz képest igen mérsékelt. Az evakuálásnak köszönhetően a lakosság biztonságban van. Bár a környezetben, sőt igen nagy távolságokon is mérhető a japán nukleáris kibocsátásból származó sugárzás, de a mérhetőség még nem jelent egészségi kockázatot, és ennek a kibocsátásnak hazánkban egészségügyi kockázata nincsen. A sugárzás szintje, illetve a radioaktív jód és cézium koncentrációja az atomerőmű környezetében is jelentősen szór, az ivóvíz és a zöldségfélék fogyasztására korlá-

tozások vannak az atomerőmű körzetében (2011. március 31-én, lásd <http://www.iaea.org/newscenter/news/tsunamiupdate01.html>).

Fentiekből látható, hogy az egyik alapvető biztonsági funkció elvesztése, azaz a reaktor, illetve a kiégett üzemanyag hűtésének elvesztése a szükség villamosenergia-ellátás elvesztése következtében milyen súlyos következményekkel jár, egyebek közt a másik biztonsági funkció, az aktív közegek visszatartása is sérül. Igaz, ehhez nem volt elég a világ egyik ismert legnagyobb földrengése (1. táblázat), ehhez egy, a tervben figyelembe vettnél jóval nagyobb szökőár is kellett.

## A paksi atomerőmű földrengésbiztonsága

Jogosan merül fel a kérdés, mennyire biztonságos a paksi atomerőmű egy súlyos természeti katasztrófa, egy a paksi telephelyen elképzelhető nagy földrengés esetén. Ennek megértéséhez két dolgot kell tisztázni:

1. Milyen földrengésre lehet számítani a paksi telephelyen, illetve milyen földrengésre kell tervezni az atomerőművet?

2. Hogyan lehet az atomerőművet földrengésbiztossá tenni, s ehhez mit kellett tenni a paksi atomerőműben?

## Mekkora földrengésre kell tervezni az atomerőművet?

Az olyan aktív területeken, mint a japán szigetek, is óriási történelmi és műszeres adatbázis áll rendelkezésre ahhoz, hogy egy telephelyen várható legnagyobb földrengést ennek alapján meg lehessen határozni. Ez az ismeretanyag az alapja a telephelyi földrengésveszély determinisztikus módszerrel történő meghatározásának. Az olyan területeken, mint a Pannon-medence, ahol a szeizmicitás nem ennyire kifejezett, és az erre vonatkozó ismereteink is bizonytalanabbak, valószínűségi módszert alkalmaznak a telephely földrengés-veszélyeztetettségének meghatározására, amely módszer épp a bizonytalanságok megfelelő figyelembe vételére alkalmas.

Az atomerőműveket általában a tízezer év alatt előforduló legnagyobb földrengés hatásaira, az általa kiváltott telephelyi gyorsulásokra kell tervezni, míg a nem nukleáris létesítmények esetében a 475 év alatt elképzelhető legnagyobbra.

A földrengéseket, így az atomerőmű tervezéséhez meghatározott, tízezer év alatt előforduló legnagyobb rengést is jellemezni kell. A földrengés erősségének jellemzésére különféle skálákat használnak. A legelterjedtebb a Richter-skála, amely a rengés magnitúdóját adja meg és a rengésben felszabaduló energiával arányos. Az érzékelhető rengések magnitúdója 2-nél nagyobb. A történelmi feljegyzésekből és a mérésekből ismert magyarországi földrengések magnitúdója kisebb mint 6,6. A legnagyobb az érmelléki rengés volt, a sokak által megélt berhidai rengés magni-

túdója  $\approx 4,9$  volt. Használnak még olyan skálákat, amelyek a földrengés által okozott károk szerint kategorizálnak, általában 12 fokozatú skálán. Az intenzitásskálán a fokozatok a tapasztalt károk fenomenológikus leírása alapján határozhatók meg, például megbillenek a kémények, téglafalak megrepednek.

A tervezéshez azonban olyan input kell, amely a kárt okozó közvetlen hatást jellemzi. Ez pedig a talajmozgás, annak is a gyorsulása, sebessége, illetve az elmozdulás. A tervezés során a talajgyorsulást (legtöbbször annak vízszintes összetevőjét) szokták inputként használni, amelyet a gravitációs gyorsulás ( $g$ ) hányadában adnak meg. Például, a mostani japán földrengés során az átlagos talajgyorsulás 0,3–0,35  $g$  közötti értéket mutatott a partközeli területeken.

Mivel a mérnöki munkákban használt, egy konkrét telephelyen feltételezhető talajgyorsulás és a terület megrázó, valahol kipattanó rengés magnitúdója között csak minőségi összefüggés van, technikailag nem szakszerű az olyan kijelentés, hogy az atomerőművet valamilyen magnitúdójú földrengésre tervezték, s főleg nem méretezték, ámbar a közbeszédben és a médiában ezt használják.

A biztonsági elemzés számára fontos a rengés maximális vízszintes gyorsulásának valószínűségi eloszlása, ez a veszélyeztetettségi görbe. Ez a valószínűségi módszerrel történő földrengésveszély-elemzés eredménye, amelyről leolvasható a  $10^{-4}$ /év meghaladási valószínűséghez tartozó maximális talajgyorsulás, illetve a helyi talajviszonyoknak megfelelő válaszspektrum. A valószínűségi módszer alkalmazása során természetesen fontos input adat az egyes szeizmikus forrászónákban, területeken elképzelhető maximális magnitúdó is, de a helyi megrázottság nem egy konkrét helyen kipattanó, adott méretű rengés, hanem minden lehetséges rengés figyelembe vételével adódik.

Így történt a földrengésveszély, illetve a tízezer évenként előforduló legnagyobb megrázottság meghatározása a paksi telephelyre is.

Abból, hogy egy földrengés során milyen maximális vízszintes gyorsulás alakul ki, önmagában nem ítéltető meg az, hogy a létesítmények megsérülnek-e vagy sem. A kilences magnitúdójú Tohoku földrengés

## Richter-skála

A Richter-skála a földrengés erősségének műszeres megfigyelésen alapuló mérőszámát (a Richter-magnitúdót, vagy más szóval a méretet) adja meg. A magnitúdó a földrengéskor a fészekben felszabaduló energia logaritmusával arányos.

A Richter-magnitúdót eredetileg egy bizonyos típusú szeizmográf által jelzett legnagyobb kitérésből és az epicentrumtól való távolságából egy képlettel határozzák meg. (Maga az érték a földrengés helyétől 100 km távolságban lévő Wood–Anderson-típusú szeizmográf által mikrométerben mért legnagyobb kitérés tízes alapú logaritmus.) Ma már számos más magnitúdódefiníció létezik, amelyek között egy bizonyos földrengés méretét illetően némi eltérés is van.

Ebből értelemszerűen következik: a skála felfelé nyitott, vagyis nincs formális maximuma, bár a földrengések hatásmechanizmusa és a Föld szilárd kérgének mechanikai jellemzői alapján gyakorlatilag 10 feletti értékek nem fordulnak elő. Másik fontos jellemzője, hogy a skála két fokozata között a kipattanó energiában körülbelül 32-szeres különbség van.

által Hunshu-sziget partvidékén kiváltott átlagos vízszintes gyorsulás 0,3–0,35 g lehetett. Ez az érintett 14 blokk tervezési alapjában figyelembe vett biztonsági földrengésnél némileg nagyobb, bár pontos adatok még nem állnak rendelkezésre. A Niigataken Chuet-su-Oki földrengés csak 6,6–6,8 magnitúdójú volt, de a Kashiwazaki-Kariwa atomerőműnél mintegy 0,68 g maximális vízszintes gyorsulást okozott a reaktorépületek alaplemézén. Ez több mint kétszerese volt az ottani blokkok tervezési alapját képező rengés gyorsulásának. A fenti két esetben a talajmozgás által kiváltott igénybevételeket a nukleáris szabványok szerint tervezett berendezések és szerkezetek sérülés nélkül elviselték.

Kijelenthető, a rezgés jellegű hatásra való tervezés nem műszaki, hanem beruházási költség kérdése.

Nincsenek azonban megbízható műszaki megoldások az olyan esetekre, amikor a földrengés a felszínen is tapasztalható elvetődéshez, elcsúszáshoz vezet. Ez felveti a következő kérdést.

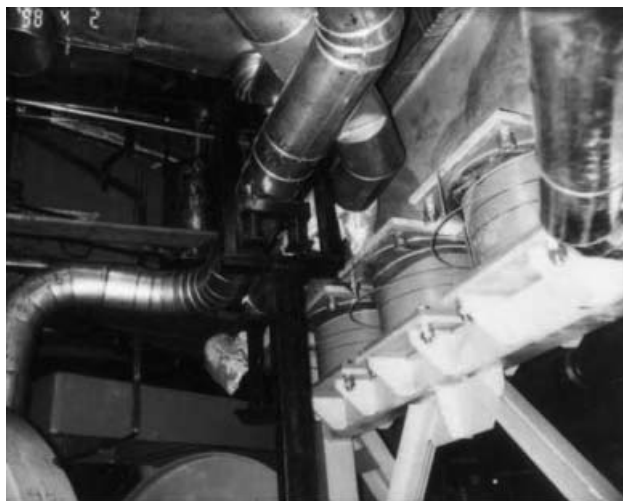
## Lehet-e törésvonal a telephely környezetében?

A fentiekből egyértelmű, hogy csak az olyan törésvonal jelent a telephely kiválasztásánál alkalmasságot kizáró körülményt, amely képes felszínre kifutó elvetődést okozni. A telephelyet nem szabad kijelölni az ilyen szerkezetek felett, a minimális távolságnak legalább 8–10 km-nek kell lennie. Az, hogy egy szerkezet képes-e felszínre kifutó elvetődést okozni az alacsony szeizmicitású területeken a földtörténeti negyedkor (körülbelül 2,5 millió év) alatti aktivitás alapján állapítható meg.

Felmerül a kérdés, hogy veszélyesek-e a paksi telephely közelében lévő törések. Minden aktív törésvonalra érvényes az, hogy talajmozgást okozhat a rajta kipattanó földrengés, de ezt figyelembe vettük az atomerőmű telephelyén várható megrázottság meghatározásánál, s az atomerőmű földrengés-biztonsági megerősítésénél. A Pannon-medence töredezett, de az adott földtani körülmények között általában nem tud akkora rugalmas energia felhalmozódni, hogy az a felszínen tapasztalható relatív elmozdulást okozzon, ha az egy földrengés formájában felszabadul. Ezért az ilyen törésvonalak, s a paksi telephely közelében lévők sem zárják ki a telephely alkalmasságát.

## A földrengés-biztonsági program

A paksi atomerőmű telephelyét a hatvanas években a történelmi feljegyzések és a műszeres mérések alapján az ország egyik legkisebb veszélyeztetettségű területén jelölték ki, és ennek alapján, illetve az 1970-es években érvényes földrengés-biztonsági követelmények figyelembe vételével tervezték és építették. A külső környezeti hatásokkal összefüggő biztonsági követelmények a nyolcvanas években radikálisan megváltoztak, szigorúbbak lettek. Ennek értelmében



1. ábra. Viszkózus lengéscsillapítók a gőzfejlesztők alatt.

a korábban, a történelmi feljegyzésekből és műszeres regisztrátumokból meghatározható legnagyobb földrengés-intenzitásból származtatott gyorsulásértéknél jóval kisebb valószínűségű,  $10^{-4}$ /év meghaladási valószínűséggel jellemezhető megrázottságot kell figyelembe venni a tervezés alapjaként. A probléma értékelését a paksi atomerőmű első korszerű módszerekkel végzett, szisztematikus biztonsági elemzése tartalmazta 1993-ban. A telephely szeizmicitásának előzetes értékelése és a biztonsági probléma elemzése alapján az atomerőmű vezetése – a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség szakértő támogatásával és az Országos Atomenergia Hivatal felügyelete mellett – egy átfogó biztonságnövelő projektet indított a létesítmény földrengésbiztonságának növelése céljából.

A követelmények értelmezése és teljesítése azt jelentette, hogy:

- a telephelyi földrengésveszély elemzését el kellett végezni, s meg kellett határozni a  $10^{-4}$ /év meghaladási valószínűségű, biztonsági földrengés jellemzőit. Ez a paksi telephely esetében 0,25 g maximális vízszintes gyorsulással jellemezhető;

- erre az új tervezési alapra el kellett végezni az atomerőmű ellenőrzését, majd a megerősítések tervezését;

- végre kellett hajtani az atomerőmű teljes körű minősítését/megerősítését úgy, hogy még a 10 000 évenként egyszer előforduló rengés esetén is leálljon a reaktor, lehűthető és tartósan hűthető maradjon, és az aktivitás visszatartása biztosított legyen.

A program két szakaszban valósult meg. A könnyen végrehajtható, legsürgősebb megerősítések még egy előzetes, felülbecsült földrengésinputra 1994–1995-ben megtörténtek. Ekkor a kábeltálcák, a villamos- és irányítástechnikai keretek, szekrények, az akkumulátortelepek rögzítésének ellenőrzése, illetve a főépület különböző helyiségeit elválasztó, nem szerkezeti válaszfalak állékonyságának ellenőrzése, illetve mindezek megerősítésének megtervezése és kivitelezése történt meg. A komoly előkészítést igénylő megerősítések tervezése és kivitelezése 1998-ban kezdődött és 2002 végéig befejeződött. Ennek jellemzésére elég egy számot



2. ábra. Hosszirányú megerősítések a reaktorcsarnokban.

ismertetni: több mint 2500 tonna acélszerkezetet építettek be az erőmű megerősítésére.

A feladat egyedülálló volt, hiszen lényegében egy földrengésre nem tervezett erőművet kellett egy jelentős megrázottságra megerősíteni és minősíteni. Ehhez a *Szerkezetek, rendszerek biztonsági és földrengésbiztonsági osztálya* szerint differenciáltak a dinamikai válasz és az igénybevételek számítási módszerét és a minősítési eljárást. Ehhez jöttek még az atomerőmű-tervezéshez előírt, szabványos módszerek, valamint az újraminősítéshez kidolgozott elemzési és empirikus minősítési módszertan. A módszertan kiválasztását kísérletekkel, próbaszámításokkal, numerikus kísérletekkel alapoztuk meg.

A program végén valószínűségi biztonsági elemzés igazolta, hogy az elvégzett intézkedések a biztonság „szükséges és elégséges” szintjét eredményezték. A 2007-ben elvégzett időszakos biztonsági felülvizsgálat pedig megerősítette, hogy a földrengésbiztonság megvalósítása megfelel az aktuális nemzeti és a nemzetközi normáknak.

Ez a projekt a paksi atomerőmű legnagyobb, másfél évtized alatt megvalósuló biztonságnövelő programja lett, amelynek csak a megerősítésekre fordított költsége több mint 200 millió USD-t tett ki.

Néhány megerősítésre mutatnak példát az 1–3. ábrák a gőzfejlesztők alatt, a reaktorcsarnokban és a lokalizációs tornyoknál.

A földrengésnek a talajmozgáson kívül lehetnek egyéb következményei is. Ilyen volt a szökőár Japánban. Erről a paksi és dunai körülmények között nincs

értelme beszélni. Van azonban más jelenség is, mint például a talajfolyósodás, ami abban nyilvánul meg, hogy a rezgés hatására a vízzel telített laza talajok elveszítik a nyírószilárdságukat, azaz folyadékszerűen viselkednek. Ez az alapozásnak, valamint az épület stabilitásának elvesztését, illetve a jelenség után az épület megsüllyedését okozza. A paksi atomerőmű esetében a talajfolyósodás tervezésen túli esemény, az előfordulás valószínűsége kisebb, mint  $10^{-4}$ /év.

## Mi történik az atomerőműben földrengés esetén?

A program keretében kidolgozták az üzemeltető személyzet számára azt az üzemzavar-elhárítási utasításrendszert, ami meghatározza a teendőket földrengés esetén. Az ilyen helyzet kezelése a személyzet rendszeres képzésének ugyanúgy része, mint bármely más rendkívüli eseményé. Földrengés esetén a paksi atomerőmű a védelmi működéseknél köszönhetően leáll, ha bármely rendszer sérül, de rendelkezésre állnak azok a megerősített technológiai rendszerek, amelyek segítségével az atomerőmű biztonságos állapotban tartható. Az ekkor szükséges technológiai műveleteket, a személyzet tevékenységét, illetve az atomerőmű föld-

3. ábra. Hídszerkezet a lokalizációs tornyok közötti reaktorcsarnok szerkezetének megerősítésére.



rengést követő állapotának értékelését speciális műszerezés, gyorsulásérzékelők segítik. A gyorsulásérzékelők csupán kiegészítő műszerezésnek tekinthetők, hiszen a blokkokat bonyolult idegrendszerként behálózzák a mérések és védelmek, amelyek a megfelelő védelmi működéseket indítják, ha bármely, a biztonság szempontjából fontos rendszer sérülne.

Földrengés esetén a talplemezen elhelyezett detektorok 0,05 g vízszintes irányú gyorsulásnál jelet adnak a vezénylőkbe, illetve indítják az izolálendő armatúrák zárását. Ez a védelmi működés még nem okozza a blokkok leállítását, de azokat a rendszereket kizárja, amelyek nem lettek földrengésállóvá téve, mert az adott esetben nincs biztonsági funkciójuk. A blokkot a minden biztonsági funkcióval rendelkező rendszer működőképességét felülegyelő mérés- és irányítás-technikai, illetve védelmi rendszerek leállítják, ha a funkció sérül. Így például a buborékoltató kondenzátorban egy földrengés hatására fellépő sztingadozás, vagy gőzfejlesztő sztingadozás is, ami mellett még semmilyen sérülésnek nem kell bekövetkeznie. Egy földrengés esetén a blokk így vagy leáll, vagy ha

nincs semmilyen zavar, illetve funkcióvesztés, tovább üzemel. Arról, hogy a blokkokat le kell-e állítani egy (kis) földrengés után, ha egyébként védelmi működés nem volt, a szabad felszínen (udvartéren) lévő gyorsulásérzékelő jelének feldolgozása alapján kell dönteni. Erre meghatározott eljárás és kritériumok vannak. Abban az esetben, ha a kritérium alapján vagy védelmi működés következtében a blokk leáll, az állapot függvényében kell az üzemzavar-elhárítást és az állapotellenőrző bejárásokat szervezni és végrehajtani. Az állapot értékeléséhez a blokkok kritikus helyein gyorsulásregisztrálók vannak. Ez a koncepció a világ más, szeizmikusan mérsékeltén aktív területein lévő atomerőművek eljárásával azonos.

A program megvalósításával párhuzamosan az atomerőműben és annak ötven kilométeres körzetében kiépült egy mikroszeizmikus megfigyelő hálózat, amely a telephely és lényegében az egész régió szeizmikus aktivitását monitorozza. Nem szabad azonban azt hinni, hogy a blokkokon lévő szeizmikus műszerezés, vagy akár a mikroszeizmikus hálózat arra szolgálhat, hogy azzal földrengéseket előre jelezzenek.

## NYÁRI ÉJSZAKÁK LÁTVÁNYOS LÉGKÖROPTIKAI JELENSÉGEI: AZ ÉJSZAKAI VILÁGÍTÓ FELHŐK

Farkas Alexandra

ELTE, Biológiai Fizika Tanszék, Környezetoptika Laboratórium

Az éjszakai égbolt látványosságai korántsem merülnek ki a csillagokban vagy a bolygókban. A kékes színű éjszakai világító felhők a nyári napforduló környékén látszanak, napnyugta után vagy napkelte előtt kereshetjük őket az északi horizont környezetében. A jelenség főként a 45–80° földrajzi szélességű régiók jellemző látványossága. A legtöbb és legfényesebb éjszakai világító felhő a 60° körüli földrajzi szélességek környezetében figyelhető meg, a közelmúlt óta azonban – eddig feltáratlan okok miatt – egyre gyakrabban érkeznek észlelések alacsonyabb földrajzi szélességekről is. Június közepétől július végéig hazánkból is megfigyelhetők [1], így szerencsés esetben mi is tanúi lehetünk a szín pompás légköroptikai jelenségeknek.

### Vízjégkristályokból álló felhők a mezoszférában

Annak ellenére, hogy morfológiájuk alapján ugyanolyan felhőknek tűnnek, mint bármelyik hagyományos felhő, nem tévesztendő össze semmi mással. Ezek ugyanis nem a troposzférában, hanem még a

sztratoszféránál is magasabban, a *mezoszférában* (50–90 km között) alakulnak ki. A földfelszínről akkor válnak láthatóvá, ha a Nap a látóhatár alatt  $-6^\circ$  és  $-16^\circ$  között járva megvilágítja azokat.

Létrejöttük azért kötődik a nyári napforduló időszakához, mert a mezoszférában nem télen, hanem ebben az időszakban uralkodik a leghidegebb, 130 K alatti hőmérséklet, amely a jelenlévő rendkívül alacsony páratartalom mellett ideális a felhők kialakulásához. Fontos megjegyezni, hogy a mezoszféra hőmérsékletének változása a troposzférához képest fordított, azaz ha a troposzférában nő a hőmérséklet, akkor a mezoszférában csökken [2]. A felhők létrejöttéhez szükséges jégképző magokat és vízpárát a troposzférában gyakorlatilag korlátlan mennyiségben megtalálhatjuk, azonban a mezoszférában, Földünk egyik legritkább és legszárazabb légköri rétegében külön meg kell vizsgálnunk lehetséges jelenlétüket és forrásaikat.

### Vízpára és jégképző magok

Az 1883-ban bekövetkező, rendkívül pusztító Krakatau-kitörés és az 1908-as Tunguz-esemény után észlelt éjszakai világító felhők kapcsán a víz természetes forrásként megemlíthetjük a ritkán előforduló nagyobb

A cikk a szerző azon dolgozatából készült, amivel I. díjat nyert 2010. december 9-én az ELTE Meteorológia TDK Konferenciáján.



vulkánkitöréseket és a világűrből érkező, nagy víztartalmú égitesteket. A vízpára egy része – szintén természetes úton – a légkörben lévő metán ( $\text{CH}_4$ ) hidroxil gyökökkel (OH) történő reakciója folytán kerül a mezoszférába [3], egy másik része pedig a metán egy összetettebb reakciója miatt. A szelek által a légkörben egyre magasabbra kerülő metánmolekulák 40–70 km magasan a napfény hatására hidrogén- és szénatomokra esnek szét, majd a hidrogén légköri oxigénnel való reakciója miatt víz jön létre [4]. A vízpára ily módon történő keletkezése a légkör alsóbb rétegeiben nem jelentős, a rendkívül száraz mezoszférában viszont kulcsfontosságú. Fentiekén kívül antropogén hatások következtében is kerülhet vízpára a légkör felső rétegeibe, mégpedig az űrhajózás folytán. Az űrrakéták hajtóanyagainak égésekor egyéb anyagok mellett víz is keletkezik, ami a rakétakilövés után a mezoszférába jutva látványos világító felhőket alakíthat ki a rakéták útjának nyomvonalán mentén [3, 5].

A mezoszférában jelen lévő vízpára mennyisége a Nap ultraibolya sugárzása következtében lezajló fotodisszociáció miatt – a  $\text{H}_2\text{O}$  molekulák alkotó elemeire bomlásával – állandóan csökken. A reakció folyamatosan zajlik, intenzitása viszont erősen függ a naptevékenységtől [2]. Fokozott naptevékenység, azaz napfoltmaximum idején többször megy végbe a reakció, napfoltminimum idején pedig kevesebbszer. Napfoltminimumkor tehát akár 30–40%-kal több  $\text{H}_2\text{O}$  molekula marad a mezoszférában, s így nagyobb az esélye az éjszakai világító felhők megjelenésének és fényesebbé válásának. Ezt a megfigyelések is alátámasztják: alacsony naptevékenység idején valóban több és fényesebb éjszakai világító felhő jelenik meg. Az 1986-os napfoltminimumkor például közel 60 napon figyelték meg a tűneményt, míg az ezt követő napfoltmaximum alatt 1991-ben csak 15 napon [4]. Nagy valószínűséggel a 2009-ben (hazánkból is) észlelt nagyszámú éjszakai világító felhő összefüggésbe hozható a Nap legutóbbi, szokatlanul hosszú napfoltminimumával.

A jégképződéshez szükséges részecskék többféleképpen kerülhetnek a mezoszférába: származhatnak a földi légkörbe érkező meteoritokból, emellett lassú légcseré során szelek segítségével is feljuthatnak ebbe a zónába [2, 6], mégpedig erdőtüzek vagy vulkánkitörések aprószemcsés termékeiként. Utóbbi lehetőséget például a már említett Krakatau-kitörés után 2 évvel megjelenő – elsőként dokumentált – éjszakai világító felhők bizonyíthatják. További példaként említhetünk néhány 20. századi heves vulkánkitörést is, amelyeket 2–4 évvel később kismértékben kiugró számú éjszakai világító felhő követett. A Pinatubo 1991-ben bekövetkező kitörése után négy évvel például (az aktuális napfoltmaximum ellenére) négyszer annyiszor jelent meg a tűnemény az éjszakai égbolton, mint korábban.

Az éjszakai világító felhők gyakorisága és a vulkánkitörések előfordulása azonban nem minden esetben kapcsolható össze egyértelműen. Vannak ugyanis olyan vulkánkitörések, amelyek után nem figyelték meg többször a jelenséget (például Mount Saint Helens, 1980), emellett pedig az 1897-ben, 1924-ben,

illetve az 1975–78-ban megjelenő nagyszámú éjszakai világító felhőt nem előzte meg nagyobb vulkánkitörés [4]. Az utóbbi esetek a jégkristályok magjának űrbéli eredetét bizonyítják. Ezt támasztja alá a 2010. március 1-jei, Csehországban észlelt éjszakai világító felhő is, ami minden bizonnyal a február 28-án hazánk északkeleti vidékei fölött felrobbant, körülbelül 1 méter átmérőjű meteor légkörben megtett útja nyomán alakult ki.

Természetes, hogy az egykori üstökösök magokból vagy kisbolygókból származó meteorrajokhoz kötődő, vagy a véletlenszerűen érkező mikrometeorok jóval gyakrabban jutnak be légkörünkbe, mint amilyen gyakran erdőtűz vagy vulkánkitörés van a felszínen. Így tehát ezen űrbéli eredetű részecskék kétségkívül hozzájárulnak a jégkristályok kialakulásához. Az 1960-as években végzett rakétakisérletek is ezt támasztják alá, de a folyamatok még nem pontosan ismertek.

## Felhőképződés a mezopauza környezetében

A napjainkban csak részben ismert felhőképződési folyamat 0,03–0,15  $\mu\text{m}$  átmérőjű vízjégkristályokból álló, a mezopauza környékén jelen lévő felhők létrejöttét eredményezi, amelyek néhány perctől akár több mint 2 órán keresztül látszódnak. A felhők térbeli kiterjedése 4 millió  $\text{km}^2$  is lehet, vastagságuk pedig 0,5–2 km között változik. Ezen értékek hasonlóak a fátyolfelhő kiterjedéséhez és vastagságához, ám az éjszakai világító felhők rendkívül ritkák. Jellemző sűrűségük 0,01–0,1 jégkristály/ $\text{cm}^3$ , de a legsűrűbb térfogategységekben sincs köbcentiméterenként 1 jégkristálnál több. Rövid életük során viszonylag gyors formai változáson mennek keresztül. Mozgásuk átlagos sebessége 40 m/s, ám a különálló sávok gyakran más irányban és más sebességgel mozognak, mint a felhő egésze. A felhők kialakulásuktól kezdve folyamatosan süllyednek, majd egy körülbelül 200–400 méterrel alacsonyabban lévő, néhány fokkal melegebb hőmérsékletű zónába érve a felhőket alkotó jégkristályok szublimációval újra vízpárává válnak, és a felhők feloszlanak [5, 6].

## Vizuális észlelések

A nyári napforduló környékén bárki végezhet egy jól megválasztott helyszínről vizuális észleléseket. Fontos, hogy teljes rálátásunk legyen a szürkületi égbolt északkelettől északnyugatig tartó részére, illetve hogy a zavaró fényektől távol legyünk és a horizont sávját a lehető legkevésbé fedjék el hegyek, növények vagy épületek.

Attól kezdve, hogy a Nap horizonttól való távolsága eléri a  $-6^\circ$ -ot (nyári időszámítás szerint 21:15 körül), elkezdhetjük keresni az éjszakai világító felhőket. Ez felhőtlen égbolt mellett egyszerűbb feladat, viszont az adott égrész valamilyen mértékű borultsága nehezítheti az észlelést. A megfigyelési ablak nyílása kor a már sötét színű alacsony- és középmagasszintű



1. ábra. A horizont közelében megjelenő fátyolos éjszakai világító felhő, általában a többi típus háttérében jelenik meg (2010. június 29. Hajdúszoboszló, a szerző felvétele). A különböző típusokat bemutató rajzok forrása: Noctilucent Clouds Observers' Homepage, <http://www.nlcnet.co.uk>.)

troposzférikus felhők eltakarhatják az éjszakai világító felhőket vagy azok egy részét. Mivel ebben az időszakban a magassintű felhőket még érheti napfény, így – főként a fátyol- és pehelyfelhők – nagymértékben hasonlíthatnak a halványabb éjszakai világító felhőkhöz. Az erős holdfény és a városi közvilágítás szintén nehezítheti az elkülönítést. A magassintű felhőket és az éjszakai világító felhőket binokulár segítségével tudjuk megkülönböztetni: a tízszeres, húszszoros nagyítás által előbbieket homályossá, utóbbiak pedig részletgazdagabbá válnak [1].

## Változatos morfológia

Az éjszakai világító felhők morfológiájának nagy változatosságát számításba véve négy alaptípus és négy komplex forma ismert [5]. A négy alaptípust római I, II, III, IV számokkal, az azokon belüli alcsoportokat pedig a római szám mellé írt a, b, illetve c betűvel jelöljük. A komplex típusok jelölései (S, P, V, O) a finn elnevezések kezdőbetűi.

A fátyol (I) az éjszakai világító felhők legegyszerűbb formája (1. ábra), ami általában a többi típus háttérében van jelen. Megjelenésében legfőképp a magassintű fátyolfelhőhöz hasonlít, de sokszor csak az égbolt kékes színű fölfénylése észlelhető. Alkalmanként halvány, rostos szerkezete is lehet.

Megfigyeléseim szerint hazánkban leggyakrabban észlelhető a II típus (2. ábra), amelynek jellemzői a hosszú, egymással nagyjából párhuzamosan elhelyezkedő, vagy kissé összefonódó sávok. Gyakran a lassan mozgó, halványabb sávok az uralkodóak



2. ábra. Sávos szerkezetű éjszakai világító felhő (2009. július 21. Mogyoród, a szerző felvétele).

egy-egy adott felhő megjelenésekor, főként a kevésbé látványosaknál. Élesség szerint két altípust különböztetünk meg: a IIa sávok homályos, a IIb sávok pedig tisztán látható határvonalakkal rendelkeznek.

Éjszakai világító felhő hullámoknak (III) a szorosan egymás mellett elhelyezkedő, nagyjából párhuzamos, rövid vonalakat nevezzük, amelyek az undulatus felhőkhöz hasonlíthatók (3. ábra). A rövid vonalak keresztezhetik a hosszú sávokat, ezzel fésűszerű formát adva az éjszakai világító felhőknek. Formájuk és

3. ábra. Hullámokból álló éjszakai világító felhők (2009. július 12. Mogyoród, a szerző felvétele).





4. ábra. Éjszakai világító felhő örvények (2009. július 19. Mogyoród, a szerző felvétele).

helyzetük akár néhány perc alatt nagymértékben megváltozhat, ami sokkal gyorsabb változást jelent, mint a sávoknál. A hullámzás mértéke alapján két altípust szokás elkülöníteni: a IIIa hullámok kisebb, a IIIb hullámok pedig nagyobb mértékben fodrozódnak. Az éjszakai világító felhők gyűrűs, *örvényes szerkezetűek* (IV) is lehetnek (4. ábra).

A legtöbb esetben két vagy több típus egyszerre figyelhető meg, ekkor beszélhetünk *komplex morfológiájú* jelenségről (5. ábra). Nem ritka például, hogy egymástól távol lévő sávokat kisebb hullámok kötnék össze, fényes csomókat felerősítve a metszéspontokban. 2009 nyári időszakát több ilyen látványos morfológiájú és hosszú ideig észlelhető komplex éjszakai világító felhő jellemezte hazánkban [1]. A különböző típusok kialakulási folyamata egyelőre nem tisztázott.

## Lehetséges magyarázatok

Az éjszakai világító felhők 1885-ös fölfedezése óriási jelentőséggel bírt a meteorológiai kutatások szempontjából. *Otto Jesse* munkájának köszönhetően megkezdődhetett a légkör addig teljesen ismeretlen részének föltárása. A megfigyelőhálózatok munkája és a későbbi műszeres vizsgálatok nyomán számos információt tártak föl a légkör e részéről. A hosszú távú észlelések alapján

arra is fény derült, hogy az éjszakai világító felhők egyre gyakrabban jelennek meg, egyre fényesebbek és egyre délebbi pontokról észlelhetők. Ennek oka a mezoszféra hőmérsékletének változása és az ottani növekvő vízpára-koncentráció lehet. Hipotézisek alapján előbbi azért következhet be, mert az üvegházgázok mennyiségének növekedésével a troposzféra hőmérséklete emelkedik, a kölcsönhatás miatt pedig a mezoszféra hőmérséklete ezzel egyidejűleg folyamatosan csökken. Az egyre nagyobb mennyiségű vízpára pedig a különböző ipari és mezőgazdasági tevékenységek folytán növekvő metán-koncentráció eredményeképp jöhet létre. Az éjszakai világító felhők hosszú távú változásai tehát feltehetően a globális klímaváltozással és az emberi tevékenységgel is összefüggésbe hozhatók [4, 7]. Fenti indokok egyelőre bizonytalanok, a felhők kialakulásának és jelentőségének föltárására további kutatások szükségesek. A kimondottan e jelenséget vizsgáló AIM (*Aeronomy of Ice in the Mesosphere*) űrszonda vizsgálatain kívül fontos, hogy továbbra is készüljenek földfelszíni vizuális megfigyelések is, amelyek hozzásegíthetnek a nyitott kérdések megválaszolásához.

## Irodalom

1. Farkas A.: *Éjszakai világító felhők és megfigyelésük Magyarországról*. Tudományos diákköri dolgozat, ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék, 2010, p. 35. Témavezetők: Kiricsi Ágnes, Tasnádi Péter.
2. Thomas, G. E.: Mesospheric clouds and the physics of the mesopause region. *Review of Geophysics* 29 (1991) 553–575.
3. Cowley, L.: *Atmospheric Optics*. <http://atoptics.co.uk>.
4. Thomas, G. E., Olivero, J. J.: Noctilucent clouds as possible indicators of global change in the atmosphere. *Advances in Space Research* 28 (2001) 937–946.
5. Gadsden, M., Parviainen, P.: *Observing noctilucent clouds*. The International Association of Geomagnetism & Aeronomy, 2006, p. 37.
6. Kokhanovsky, A. A.: Microphysical and optical properties of noctilucent clouds. *Earth-Science Reviews* 71 (2005) 127–146.
7. Thomas, G. E., Olivero, J. J., Jensen, E. J., Schröder, W., Toon, O. B.: Relation between increasing methane and the presence of ice clouds at the mesopause. *Nature* 338 (1989) 490–492.

5. ábra. Komplex morfológiájú éjszakai világító felhő (2009. július 22. Mogyoród, a szerző felvétele).



A proton, mint az atommag egyik alapvető alkotórésze, és egyúttal mint összetett (3-kvark) rendszer különös figyelmet érdemel. Tulajdonságainak megismerése, minél pontosabb kísérleti meghatározása nemcsak a magfizika számára, hanem például a kvantumelektrodinamika kísérleti ellenőrzésében is fontos. Egyik alapvető jellemzője az elektromos töltésselás térbeli kiterjedése, a „protonsugár”. Azt hihetnénk, hogy ez már teljesen tisztázott, lezárt terület. Azonban éppen a protonsugár vizsgálatának története nagyon jó példa arra, hogy a tudományos megismerés útja nem mindig egyenesvonalú; a történelmi körülmények és egyes kutatók pillanatnyi érdeklődése éppúgy befolyásolják, mint a technikai eszközök és az elméleti leírás fejlettsége. Sportnyelven szólva: a tudományban soha nincs „lefutott meccs”.

## Előzmények

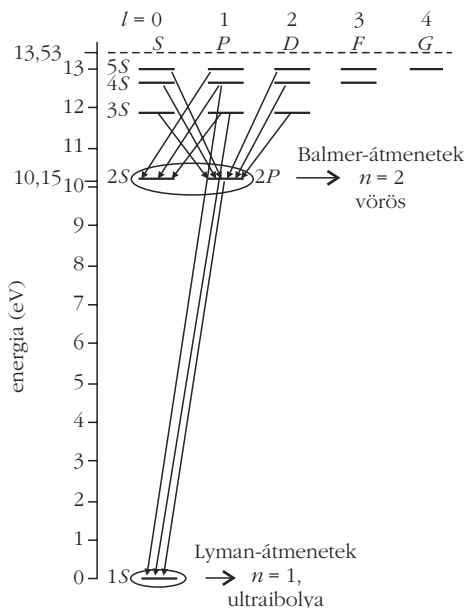
1928-ban *Dirac* közölte relativisztikus hullámegyenletét, amelynek két fontos következménye volt:

1. Az elektron saját mágneses dipólmomentuma  $\mu_e = \mu_B$  ( $\mu_B$  a Bohr-féle magneton). Ezzel sikerült értelmezni a már korábban (1925) észlelt kísérleti eredményt.

2. Ha a hidrogénatom elektronjára  $V(r) \sim 1/r$  alakú Coulomb-potenciál hat, akkor az energiát az  $n$  főkvantumszámon kívül csak a teljes  $j$  impulzusmomentum-kvantumszám határozza meg:  $E(n, j)$ , külön az  $l$  pályá- és  $s$  sajátimpulzus-momentum nem.

Ez utóbbi következmény változást jelentett a Bohr-féle energiaszint rendszerhez képest (1. és 2. ábra). Látható a 2. ábrán, hogy Dirac szerint a  $2S_{1/2}$  és  $2P_{1/2}$

1. ábra. A hidrogénatom Bohr-féle teljes energiaszint-rendszere.



állapotok energiája egyenlő, míg a  $2P_{3/2}$  állapot körülbelül 40  $\mu\text{eV}$ -tal magasabban van: ez a *finomszerkezet* (FS); a későbbiek kedvéért ezt frekvenciában is érdemes megadni:  $\sim 11$  GHz, ez körülbelül 3 cm hullámhosszúgú mikrohullámnak felel meg.

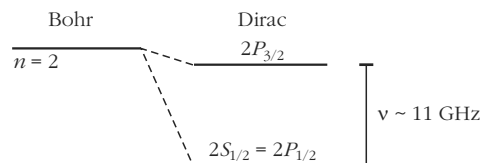
Az akkori optikai spektroszkópai eszközökkel az  $n = 2$ -es főkvantumszámú állapotokra történő Balmer-átmenetek voltak jól mérhetőek; ezek a látható tartomány vörös részébe esnek. A Dirac-elmélet ellenőrzésére a '30-as években végzett vizsgálatok igazolták a finomszerkezeti felbomlásra vonatkozó elméleti előrejelzést. Néhány esetben azonban úgy látszott, hogy van egy nagyon kis, éppen a kimutathatóság határán lévő eltérés. 1938-ban *Pasternack* [1] rámutatott, hogy ezek a kis anomáliák értelmezhetők, ha feltételezzük, hogy – a Dirac-elmélettől eltérően – a  $2S_{1/2}$  és  $2P_{1/2}$  állapot nem esik pontosan egybe, hanem az előbbi kissé magasabban van. Az anomália *okával* azonban *Pasternack* nem foglalkozott.

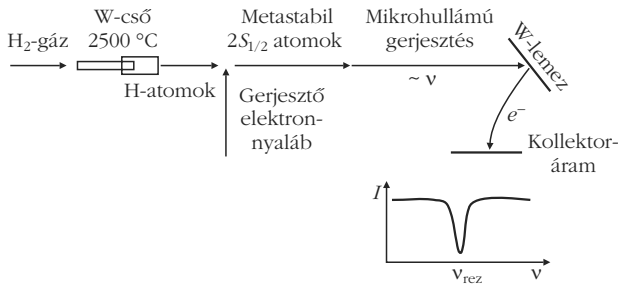
## A Lamb-féle kísérlet

Ugyanebben az évben *Willis Lamb, Jr.* befejezte doktori munkáját, amelyet *Oppenheimer* irányítása alatt végzett. Ez a munka szorosan kapcsolódott a *Yukawa* által 1935-ben javasolt „dynaton” – mai szóhasználat: virtuális  $\pi$ -mezon – felhőnek a nukleonok tulajdonságaira gyakorolt hatásához [2]. Lambben felvetődött a gondolat, hogy a proton körüli véges méretű töltésselő miatt a Dirac által feltételezett  $V(r) \sim 1/r$ -függés kis  $r$  értékeknél nem érvényes, és ez a manggal leginkább átfedő  $l = 0$  pályá-impulzusmomentumú  $2S_{1/2}$  elektron gyengébb kötöttségére, vagyis a  $2P_{1/2}$ -hez képesti feltolódására vezet. A kérdés további vizsgálatát azonban megakadályozta a II. világháború kitörése. A fizikusok közül sokan – így Lamb is – a repülőgépek radardektálásának kidolgozásában kaptak feladatot: azon belül a légkör vizsgálatának a mikrohullámok terjedésére való hatása (elnyelés, szórás) vizsgálatában. Lamb számára ez a gyakorlati tapasztalat később igen hasznosnak bizonyult.

A háború után az élet visszatért békés medrébe. 1946 nyarán Lamb egy nyári iskolára történő felkészülés során *Herzberg* klasszikussá vált molekula-spektroszkópai könyvét használta, és ott rátalált egy olyan fejezetre, amely a hidrogénatom  $n = 2$ -es szintjének sikertelen vizsgálatáról számolt be. Lamb úgy gondol-

2. ábra. A hidrogénatom Dirac-féle nívósémájának részlete, a hiperfinomszerkezet (HFS) mellőzésével.





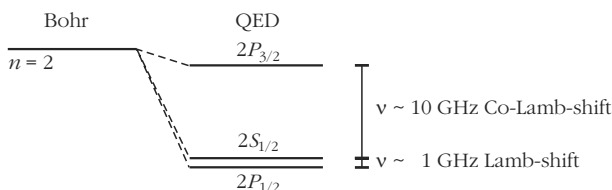
3. ábra. A Lamb-féle kísérleti elrendezés vázlata.

ta, hogy a korszerű radartechnikában szerzett ismeretei alapján meg tudja mérni a  $2S_{1/2}$  állapot eltolódását. Elgondolásának megvalósításához rábeszélte fiatal munkatársát, *Retherfordot* az együttműködésre, és egy év alatt kidolgozták az alkalmazandó eljárást, megépítették a kísérleti berendezést. Ennek vázlata a 3. ábrán látható, működési elve: a normál állapotú hidrogén gázt egy  $\sim 2500\text{ °C}$  hőmérsékletű wolframcsövön átvezetve, a hidrogénmolekulák atomokra bomlanak. Az alapállapotú atomokat oldalról alkalmas energiájú elektronnyaláb a  $2S_{1/2}$  szintre gerjeszti. Mivel a sugárzásos átmenet a  $2S$  és  $1S$  állapotok között tiltott, a  $2S_{1/2}$  hosszú élettartamú, *metastabil* állapot. Az ilyen atomok a rendszeren végigrepülve, egy wolframlemezbe ütköznek, itt átadják gerjesztési energiájukat a fémlemez egy elektronjának, amely a lemezből kiszabadulva a közeli kollektorlemezre jut; e kollektorlemezre futó elektronáram jól mérhető.

Ha a berendezés egy szakaszán a metastabil atomokat éppen olyan  $\nu_{rez}$  frekvenciájú mikrohullámú térnek teszik ki, amely  $2S \rightarrow 2P$  átmenetet hoz létre, akkor a  $2P$  állapotból már gyors sugárzásos átmenet történik az  $1S$  alapállapotba. Ennek következtében a wolframlemezre csak alapállapotú atomok érkeznek, ezek nem tudnak elektronokat kiváltani, tehát az ilyen  $\nu_{rez}$  frekvenciánál a kollektoráram leesik. (A gerjesztő elektronok szóródás révén szintén eljuthatnak a kollektorra, a háttérrel növelik, és így a mérést zavarják. Ennek kiküszöbölésére még mágneses teret is kellett alkalmazni, ami a tényleges méréseket bonyolultabbá tette; a részletek iránt érdeklődő olvasó a [3]-ban talál bővebb ismertetést.)

1947 május–júniusában megvolt az első kísérleti eredmény: a  $2S_{1/2}$  állapot nem 11 GHz, hanem csak 10 GHz távolságra van a  $2P_{3/2}$ -tól [4]. Ez után a  $2S_{1/2}$  és  $2P_{1/2}$  közötti eltolódást is megmérték; ez utóbbit nevezzük ma Lamb-féle eltolódásnak: Lamb-shift, míg az először mért  $2S_{1/2} - 2P_{3/2}$  energiakülönbségre az irodalomban a *Co-Lamb-shift* elnevezés található [5]. E két mérés tehát igazolta Pasternack gyanúját, hogy a  $2S_{1/2}$

4. ábra. A Lamb-féle nívóeltolódás.



valóban  $\sim 1000\text{ MHz}$ -zel magasabban van, mint a  $2P_{1/2}$ , 4. ábra. Ez az eltolódás azonban nagyságrendekkel nagyobb volt, mint amire a kiterjedt mezonfelhő alapján számítani lehetett; egy későbbi becslés az utóbbira  $\sim 0,02\text{ MHz}$ -et ad meg; [6] p. 246. App. VI.

## A kvantumelektrodinamika (QED) kísérleti alapjai

Szerencsés történeti körülmény, hogy 1947. június 2. és 4. között a New York melletti Shelter Islanden tartott elméleti fizikai konferencián a háború utáni kor fontos elméleti fizikai problémáit vitatták meg. Ennek során az a nézet alakult ki, hogy a Lamb által mért  $2S$ -nívó eltolódásának oka az elektron és az elektromágneses sugárzás tér közötti kölcsönhatás. A konferenciáról hazatérőben *Bethe* még a vonaton végzett egy egyszerű, nem-relativisztikus közelítő számítást [7] a nívók Dirac-értéktől való eltolódására, amelynek eredménye:  $\Delta(2S_{1/2}) = 1040\text{ MHz}$ , és  $\Delta(2P_{1/2}) = -5\text{ MHz}$ , igen jó egyezésben a kísérleti értékkel.

A Shelter Island-i tanulságok alapján ismerte fel Lamb kísérletének nagy jelentőségét, és – az első eredmény gyors leközlése után [4] – egy javított, minden részletre rendkívül aprólékosan kiterjedő vizsgálatsorozatot végzett: „hatodik sebességre kapcsolt”, hogy a QED-t megalapozó kísérleti eredmények tekintetében minden kétséget ki lehessen zárni. E kínosan részletes közleménysorozat mellett azonban az érdeklődő fizikus olvasó számára egy könnyebben olvasható tanulmány is készült [3].

Ugyanebben az évben *Rabi* és munkatársai a hidrogénatom *hiperfinom-szerkezeti* (HFS) felbomlását mérték [8]. Az eredmény a kísérleti hiba ötszörösével eltért a számítotttól! A H-atom egyszerű szerkezete miatt az elméleti számításban, amelyre még *Fermi* adott egyszerű képletet, nem lehetett hibát feltételezni; a H-atom magja, a proton mágneses momentumát akkora már nagyon pontosan megmérték. Rabiék az érthetetlen eredményt elküldték *Breit*nek, aki szerint a dilemma egyetlen következetes feloldása csak az lehet, hogy az elektron saját mágneses dipólmomentuma körülbelül egy ezrelékkel nagyobb a Dirac szerinti Bohr-magneton értékénél, vagyis:  $\mu_e = 1,001 \cdot \mu_B$  [9]. Ezt a megoldást még maga *Breit* is nehéz szívvel javasolta; cikkében szinte mentegetőzik saját következtetése miatt, bár nem tud ellene más érvet állítani, minthogy: „Aesthetic objections can be raised against such a view”. Vonakodását teljes mértékben megérthetjük, mennyivel *szébb* lenne egy kerek érték:

„Beauty is truth, truth is beauty, – that is all  
Ye know on earth, and all ye need to know”  
(*A Szép: igaz, s az Igaz: szép!* – *sose*  
*ábrítatok mást, nincs főbb bölcsesség!*)

John Keats: Óda egy görög vázához.

Fordította: Tóth Árpád

A dilemma feloldására *Kusch* és *Foley* a Na, Ga és In külső elektronjának mágneses dipólmomentumát mérte meg [10]. Kísérletük megerősítette a korábban

nyert értéket:  $\mu_e = 1,00119(5) \cdot \mu_B$ . Még ugyanebben az évben Schwinger [11] a kvantum-elektrodinamika alapján végzett elméleti számításával megmutatta, hogy az elektron és az elektromágneses tér kölcsönhatása az elektron mágneses dipólmomentumához  $\sim \alpha/2\pi \approx 0,001$  rendű járulékot ad.

Ezek a kísérleti eredmények olyan nagy lépést jelentettek a QED fejlődésében, hogy 1955-ben a fizikai Nobel-díjat – megosztva – Lambnak és Kuschnak ítélték oda. Az elméleti módszerek kifejlesztésében végzett munkájukért pedig 1965-ben Feynman, Schwinger és Tomonaga részesült e díjban.

## A Hofstadter-féle elektronszórás-mérések

Mindez kétségtelenül nagyon fontos eredmény – az elektromágneses tér kvantumelmélete számára. De az eredetileg feltett kérdésre, hogy tudniillik mekkora a proton, Lamb kísérlete végülis nem adott választ. Ez máshonnan jött: a Stanfordi Egyetemen Hofstadter és munkatársai 1953-ban nagy szabású kísérleti programot indítottak [12] atommagok töltéseloszlásának meghatározására rugalmas elektronszórás alkalmazásával (Nobel-díj, 1961). A módszer lényege (5. ábra): gyors ( $\sim 100$  MeV) elektronokat szórattak a vizsgált atommagokon.

A kísérletileg mért  $\sigma(\theta)$  differenciális szórás hatáskeresztmetszet, és az elméleti úton, pontszerű mag feltételezésével számított Mott-féle hatáskeresztmetszet aránya a mag véges töltéseloszlására jellemző mennyiséget, az úgynevezett *alak tényezőt* (formafaktort) határozza meg:

$$\frac{\sigma(\theta)}{\sigma_M(\theta)} = \left| \int \rho(r) e^{iqr} d^3r \right|^2 = |F(q)|^2,$$

ahol  $q$  a szóródás során átadott  $\Delta p$  impulzussal arányos mennyiség:  $q \equiv \Delta p/\hbar$ . Gömbszimmetrikus  $\rho(r)$  töltéseloszlásra az alak tényező az

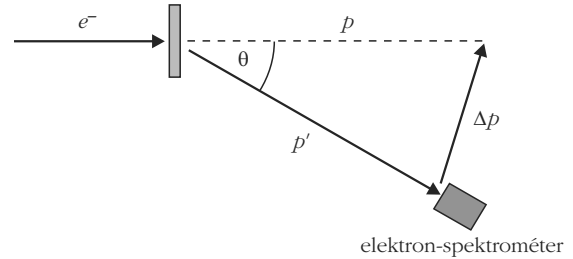
$$F(q) = \int \rho(r) \frac{\sin qr}{qr} dv$$

egyszerűbb alakba írható, amely kis  $q$  értékek esetén a

$$F(q) = 1 - \frac{\langle r^2 \rangle}{3!} q^2 + \frac{\langle r^4 \rangle}{5!} q^4 - \dots \quad (1)$$

hatványsorral közelíthető.

A Mott-hatáskeresztmetszet feltételezi, hogy a szóró mag spinje és mágneses momentuma zérus. Közepes és nehéz atommagok, valamint a páros neutron- és páros protonszámmal rendelkező magok esetében ez a feltételezés jogos. Könnyű magoknál, és különösen a nukleonoknál azonban figyelembe kell venni a mágneses dipólmomentum hatását is. Ennek következtében nem egy, hanem két alak tényező függvény, egy  $G_E(Q)$  elektromos és egy  $G_M(Q)$  mágneses alak tényező függvény származtatható a mért szórás ha-



5. ábra. A Hofstadter-féle elektronszórás-mérés elve.

táskeresztmetszetekből; ezek a  $Q$  négyesimpulzus függvényei. A proton elektromos töltéseloszlását tartalmazó  $G_E(Q)$  függvényt az (1) alakba írva, a közepes négyzetes sugár:

$$\langle r^2 \rangle_p \approx -6 \left[ \frac{dG_E(Q^2)}{dQ^2} \right]_{Q^2=0}.$$

Tehát a  $Q = 0$  ponthoz tartozó irántangenset kell meghatározni. A 6. ábra alapján látható, hogy a gyakorlati meghatározás milyen buktatókkal, hibaforrásokkal járhat: ha sok adatot, tehát széles  $Q$ -tartományt kívánunk figyelembe venni, akkor fel kell tételezni valamilyen konkrét  $G_E(Q^2)$  függvényalakot – modellt, amelyet a kísérleti pontokhoz illesztve az irántangens meghatározható. Ilyen modell lehet például az gyakran használatos *dipólfüggvény*:

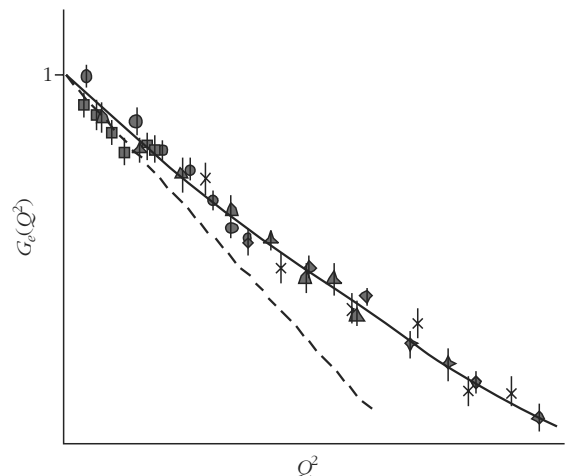
$$\frac{1}{(1 + c Q^2)^2}.$$

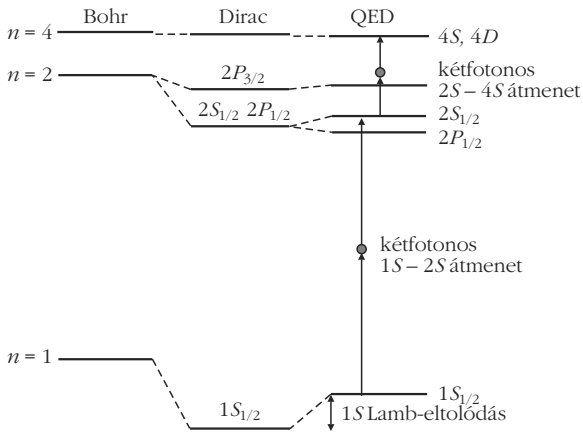
A modellválasztással járó szisztematikus hiba elkerülhető, ha csak a nagyon kis  $Q$ -jú adatokra szorítkoznak; ekkor viszont a mért  $\sigma(\theta)$  hatáskeresztmetszet, tehát  $G_E(Q)$  kis hibája is jelentékeny eltérést okozhat az irántangensben.

A kezdeti, nagyrészt stanfordi mérések együttes kiértékeléséből 1963-ban a  $Q^2 = 0,28 - 45 \text{ fm}^{-2}$  tartomány adatai alapján Hand és munkatársai az

$$r_p \equiv \langle r^2 \rangle^{1/2} = 0,805(11) \text{ fm}$$

6. ábra. A proton  $G_E(Q)$  alak tényezőjének  $Q^2$ -függése.





7. ábra. Az  $n = 1 \rightarrow 2$  és  $2 \rightarrow 4$  kétfotonos gerjesztésekben részt vevő hidrogénívók.

értéket kapták [13]. Később több európai laboratóriumban is megindultak az elektronszórás vizsgálatok. A mainzi egyetemen 1980-ban *Simon* [14] javított technikával, és lényegesen kisebb  $Q^2 = 0,13 - 1,4 \text{ fm}^{-2}$  impulzusátadásoknál végzett mérésekből  $r_p = 0,862(12) \text{ fm}$  töltéssugárra következtetett, ami nem fér össze a Hand-féle analízis eredményével. 2003-ban *Sick* a  $Q^2 = 0 - 16 \text{ fm}^{-2}$  tartományba eső méréseket újra-analizálta [15]. Ennek során figyelembe vette a korábban elhanyagolt Coulomb-torzítást, valamint az (1) hatványsor helyett a jobb közelítést biztosító folytonos tört formában írta fel az alaktegyezőt:

$$G_E(Q^2) = \frac{1}{1 + \frac{b_1 Q^2}{1 + \frac{b_2 Q^2}{1 + \dots}}}$$

A kísérleti adatokhoz történő illesztésből  $b_1$  és  $b_2$  értékét meghatározva, a

$$b_1 = \frac{\langle r^2 \rangle}{3!} \quad \text{és} \quad b_1^2 + b_1 b_2 = \frac{\langle r^4 \rangle}{5!}$$

összefüggések alapján  $r_p = 0,895(18) \text{ fm}$  értéket kaptott. A helyzet nem megnyugtató; új, az elektronszórástól független módszerre lenne szükség.

## A proton sugar szerepe a QED-ben

Az új módszer a QED felől jött. A Lamb-féle kísérlet fontos kezdeti lépés volt a QED igazolásában, a későbbi, egyre pontosabb elméleti számítások ellenőrzésére azonban nem volt alkalmas, mert a nagy bomlási valószínűségű  $2P$  állapotok természetes szélessége ( $\sim 100 \text{ MHz}$ ) elvi korlátot szabott az eltolódás pontosabb meghatározásának. Az 1990-es években, a kvantumoptika fejlődésével reális lehetőség mutatkozott arra, hogy megmérjék az  $1S$  állapot  $L_1$  Lamb-eltolódását. Ez azért fontos, mert az eltolódás a főkvantumszámtól  $L_n \sim 1/n^3$  szerint függ, tehát  $n = 1$  esetében csaknem egy nagyságrenddel nagyobbak várható, mint a Lamb által mért  $L_2$ . A mérést Garchingban *Hänsch*, „a pontosság megszállottja” csoportja végezte (Nobel-díj, 2005). A módszer alapelvét megérthetjük, ha felidézzük az  $n$  főkvantumszámú hidrogénatom-állapot energiakifejezését:

$$E_n = \frac{k}{n^2} + L_n + \text{rel. korr.},$$

ahol az első a jól ismert Coulomb-tag, ez adja a legnagyobb járulékot;  $L_n$  a Lamb-eltolódás, a kis relativisztikus korrekciók pedig számíthatók, ezeket a továbbiakban elhagyjuk, mert a módszer szemléltetésében nincs szerepük. Képezzük a következő különbségeket:

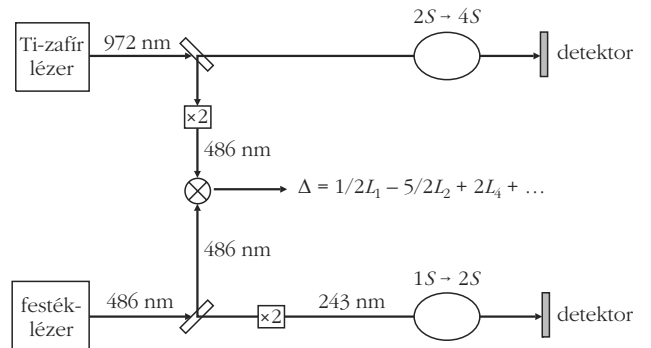
$$E_4 - E_2 = \frac{k}{16} + L_4 - \frac{k}{4} - L_2 + \dots,$$

$$E_2 - E_1 = \frac{k}{4} + L_2 - k - L_1 + \dots$$

Létrehozva az  $n = 1 \rightarrow 2$  és  $2 \rightarrow 4$  átmeneteket, és ezek megfelelő lineárokombinációját képezve, a nagy Coulomb-tagok kiesnek:

$$\Delta = 2(E_4 - E_2) - \frac{E_2 - E_1}{2} = \frac{L_1}{2} - 5 \frac{L_2}{2} + 2 L_4,$$

$L_4$  olyan kicsi, hogy egy közelítő elméleti becslés is elegendő,  $L_2$  (ami a meghatározandó  $L_1$ -nél körülbelül egy nagyságrenddel kisebb) a – mára kissé javított – Lamb-típusú mérésből vehető. Így végeredményben  $\Delta$  méréséből az  $L_1$  meghatározható. A 7. és 8. ábra alapján a kísérlet gondolatmenete a következő [16]. A jelenlegi intenzív lézerterekkel megvalósítható az  $1S \rightarrow 2S$  és a  $2S \rightarrow 4S(4D)$  kétfotonos átmenet. A berendezés alsó ágában a nominálisan  $486 \text{ nm}$  hullámhosszú lézernyaláb egy félig áteresztő tükrön áthaladó része frekvenciakétszerezés után ( $243 \text{ nm}$ ) olyan berendezésbe jut, amely akkor ad jelet a detektorra, ha az  $1S \rightarrow 2S$  átmenet létrejött. A metastabil  $2S$  állapot élettartama hosszú, így szélessége nagyon kicsi, tehát a rezonanciafrekvencia meghatározása nagyon pontos lehet. A felső ágban a  $972 \text{ nm}$ -es nyaláb félig áteresztő tükrön áthaladva olyan rendszerbe jut,



8. ábra. Az  $n = 1 \rightarrow 2$  és  $2 \rightarrow 4$  kétfotonos gerjesztések vizsgálatának kísérleti elrendezése.

1. táblázat	
Az elméleti, QED-számítással kapott 1S Lamb-eltolódás összetevői hidrogénre [16]	
energiajárulék	MHz
sajátenergia	8396,456(1)
vákuumpolarizáció	-215,168(1)
magasabb rendű QED	0,724(24)
sugárzásos meglökési korrekció	-12,778(6)
nem-sugárzásos meglökési korrekció	2,402(1)
magmért	1,167(32)
elméleti energiajárulékok összesen	8172,802(40)
kísérleti érték	8172,874(60)

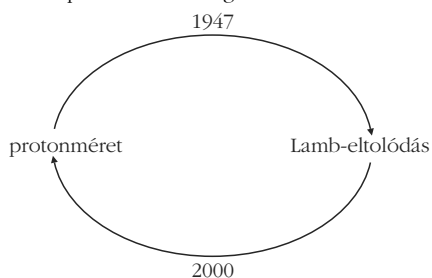
amely a  $2S \rightarrow 4S$  átmenetet jelzi. Mindkét ágban behangolva az átmeneteket létrehozó frekvenciákat, a félig áteresztő tükrökről visszavert nyalábok – a felső frekvencia kétszeresítése után – egy összehasonlító berendezésbe érkeznek, amelynek kimenetén a  $\Delta$ -nak megfelelő lebegési frekvencia jelenik meg.

Az így meghatározott kísérleti  $L_1$  eltolódással összehasonlítható elméleti érték legfontosabb összetevőit, és azok bizonytalanságait az 1. táblázat mutatja: az első hat szám az elméleti számítással kapott egyes energiajárulékok értéke (és azok bizonytalansága). Ezek összege alkotja a hetedik sorban feltüntetett teljes elméleti 1S eltolódásértéket (és annak bizonytalanságát). Az utolsó sorban a mért kísérleti eltolódás (és annak bizonytalansága) van feltüntetve.

Látható, hogy az adott hibahatárokon belül a kísérlet és elmélet eredménye megegyezik. A további ellenőrzéshez mind az elmélet, mind a kísérlet pontosságát javítani kellene. Az elméleti érték pontosabb meghatározását a magasabbrendű QED-járulékok becslésének és a proton méretének bizonytalansága korlátozza, lásd a dőlt számokkal jelzett hibaértékeket. (A kísérleti pontosság javítására is vannak elképzelések, de erre most nem térünk ki).

Az elméleti értékhez a legnagyobb hibajárulékot a proton méretének bizonytalansága okozza; a kövérítés erre hívja fel a figyelmet. Felvetődött a gondolat: ha feltételezzük, hogy a QED igaz, és hogy a számítások jók, akkor a protonsugár értékét szabad paraméternek tekintve, megkereshető az az  $r_p$  érték, amely mellett  $L_{1,elm} = L_{1,kis}$ . Ezt az eljárást végrehajtva, az  $r_p = 0,883(14)$  fm eredményt kapták [17]. Kiemelendő az a

9. ábra. A protonméret vizsgálatának történeti vázlata.



körülmény, hogy ez az eljárás a *kötött* elektronállapotok energiájának mérésén alapul, az elektron-szórástól független! Ez utóbbinak – esetleg eddig fel nem fedett – szisztematikus kísérleti vagy kiértékelési hibái ezt az eredményt nem befolyásolhatják.

Egy utólagos „tartalomjegyzék” szemlélteti eddigi utunkat, 9. ábra: Lamb a Dirac-proton körüli mezonfelhő kiterjedését kereste, és az elektromágneses sugárzási tér hatását találta az  $n = 2$  hidrogén nívóra:  $L_2$ . Hänsch viszont az  $L_1$ -et kereste, és abból – mintegy melléktermékként – kapta  $r_p$ -re az elektronszórástól független értéket.

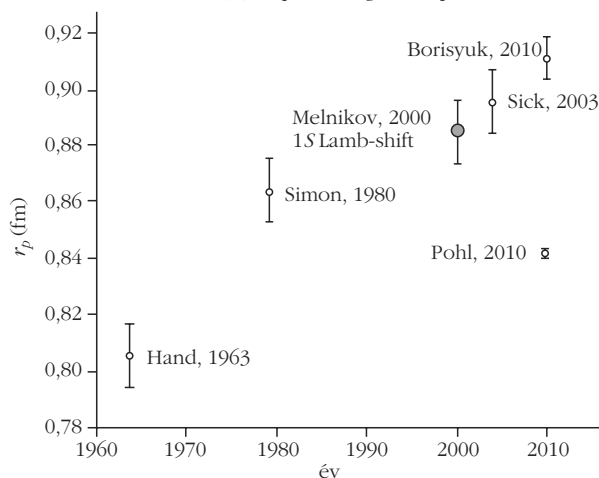
## Mit hoz a jövő?

A 2010. évben további fejleményeknek lehettünk tanúi: *Borisyuk* az elektronszórási mérések analizálásánál alkalmazott új, a Sick-félettől eltérő és – a szerző szerint – pontosabb eljárást, melynek eredménye:  $r_p = 0,912(9)$  fm, a korábban kapott értékeknél még valamivel nagyobb [18].

És ekkor jött a derült égből villámcsapás! Pohl és munkatársai [19] müonikus H-atomok Lamb-eltolódását mérték, a fentieknél jelentősen kisebb és pontosabb értéket  $r_p = 0,84184(67)$  fm kaptak, 10. ábra. Ez a teljesen váratlan fejlemény, a nagy eltérés megdöbbentő, hiszen az elektronos eredmények nem egyetlen módszeren és nem egyetlen laboratórium munkáján alapulnak. Ha valóban nincs valami fatális, közös kísérleti vagy kiértékelési, esetleg QED számítási hiba, akkor fel kellene tételezni, hogy a müon mégsem egyszerűen egy „kövér elektron”. Ez különösen újdonság lenne, és nagyon messzemenő következményekkel járna: a részecskefizikai Standard Modell érvényessége is kérdésessé válna [20].

Nem csoda, hogy e meghökkentő eredmény azonnal nagy érdeklődést keltett. *De Rúyula* [21] szerint a nagy eltérést az okozza, hogy a kiértékeléshez alkalmazott modell (dipól alaktényező függvény) által feltelezett exponenciális töltéssűrűség-eloszlás a valóságban nem teljesül; helyesebb lenne egy központi

10. ábra. Az rms  $\langle r^2 \rangle^{1/2}$  protonsugárra kapott értékek.





törzs (core) és egy ezt körülvevő mezonfelbőltéssel-  
oszlásával számolni [22]. Jelen cikk írásának idején  
(2011. január) a kérdés teljesen nyitott, érdemes figye-  
lemmel kísérni a további fejleményeket. A téma iránt  
érelklődő olvasó figyelmébe ajánlhatjuk a legutóbbi  
időben megjelent [23–26] közleményeket.

#### Irodalom

1. Pasternack, S., *Phys. Rev.* 54 (1938) 1113.
2. Lamb, W. E., Jr., Schiff, L. I., *Phys. Rev.* 53 (1938) 651.
3. Lamb, W. E., Jr., *Rep. Prog. Phys.* 14 (1951) 19.
4. Lamb, W. E., Jr., Retherford, R. C., *Phys. Rev.* 72 (1947) 241.
5. Brentano von, P., et al., *Physica Scripta T46* (1993) 162.
6. Lamb, W. E., Jr., *Phys. Rev.* 85 (1952) 259.
7. Bethe, H. A., *Phys. Rev.* 72 (1947) 339.
8. Nafe, J. E., Nelson, E. B., Rabi, I. I., *Phys. Rev.* 71 (1947) 914.
9. Breit, G., *Phys. Rev.* 72 (1947) 984.

10. Kusch, P., Foley, H. M., *Phys. Rev.* 74 (1948) 250.
11. Schwinger, J., *Phys. Rev.* 73 (1948) 416.
12. Hofstadter, R. et al., *Phys. Rev.* 91 (1953) 422.
13. Hand, L. N., et al., *Rev. Mod. Phys.* 35 (1963) 335.
14. Simon, G. G., et al., *Nucl. Phys.* A333 (1980) 381.
15. Sick, I., *Physics Letters B576* (2003) 62.
16. Weitz, M., et al., *Phys. Rev.* A52 (1995) 2664.
17. Melnikov, K., Ritbergen, T. van, *Phys. Rev. Letters* 84 (2000) 1673.
18. Borisyuk, D., *Nucl. Phys.* A843 (2010) 59.
19. Pohl, R., et al., *Nature* 466/7303 (2010) 213.
20. Flowers, J., *Nature* 466 (2010) 195.
21. De Rújula, *Physics Letters B693* (2010) 555.
22. Islam, M., Luddy, R., *Cern Courier* 49/10 (2009) 35.
23. Distler, M. O. et al., *Physics Letters B696* (2011) 343.
24. Jentschura, U. D., *Annals of Physics* 326 (2011) 500.
25. Jentschura, U. D., *Annals of Physics* 326 (2011) 516.
26. Miller, G. A. et al., arXiv:1101.4073v1 [physics.atom-ph] 21 Jan 2011.

## A MIKROVILÁG ELSŐ FELFEDEZŐI – I.

Radnai Gyula  
ELTE Anyagfizikai Tanszék

A történeti kutatás előnye, hogy folyamatában, fejlődésében vizsgálhatjuk meg a kiválasztott témát. Hátránya, hogy gyakran elveszünk a részletekben, nem látjuk a fától az erdőt. Akadálya pedig – és erről talán kevesebb szó esik – a tisztánlátáshoz szükséges dokumentumok hiánya. Ennek két leggyakoribb oka a dokumentumok titkosítása, illetve megsemmisülése. Az alábbiakban mindegyikre találunk példát.

### A fénymikroszkóp első feltalálói

Üveglencsét egyszerű nagyításra már régóta használtak, de csak a 16. században jelent meg kétagú lencserendszer erre a célra, mégpedig Németalföldön. Ugyanakkor, amikor a távolbalátás elősegítésére is megjelentek az első távcsövek. A világot körülhajózó hollandusok számára a távcső, a sextáns és a kronométer a nyílt óceánon való tájékozódáshoz nélkülözhetetlenné vált. Kézenfekvő volt, hogy az apró tárgyak, részletek felnagyítására is kipróbáljanak ilyen szerkezeteket.

A mikroszkóp első feltalálói között találjuk a két szemüvegkészítő Jansent, apát és fiát, akik 1595-ben készítették el az első ilyen nagyító csövet. Maga a mikroszkóp elnevezés Johann Fabertől, VIII. Orbán pápa orvosától származik, legalábbis az ő egyik levele a legelső írásos dokumentum, amelyben ez a szó megjelenik, mégpedig 1625-ben. A fiú, Zacharias Jansen (1580–1638) fokozatosan javította a nagyító csövet: mindkét lencsét külön cső végébe illesztette, és ezek a csövek egy harmadik, a kísérletező kezében tartott csőben voltak tologathatók (1. ábra). Még dia-

fragmákat is alkalmazott, hogy csökkentse a lencsék szférikus aberrációja és színi hibája miatt fellépő leképezési hibákat.

Ugyanilyen módon készített távcsöveket is, amelyekben szemlencseként szórólencsét alkalmazott, hogy egyenes állású kép keletkezzék. Ez a „hollandi” távcső jutott el Galileihez, aki – mint tudjuk – az ég felé fordította és felfedezte vele a Hold hegyeit és a Jupiter holdjait. Newton viszont az objektív színi hibájának kiküszöbölésére a tárgylencse helyett tükröt alkalmazott – nem véletlen, hogy róla nevezték el a tükrös távcsövet.

Zacharias Jansen nem mindennapi ember lehetett. Életéről sok dokumentum maradt fenn, egészen a második világháborúig. Szülővárosa, Middelburg már a 16–17. században is fontos kereskedelmi központ volt Zeeland tartományban (Új Zeeland innen kapta nevét), Hollandia délnyugati részén. Itt volt a Holland

1. ábra. Zacharias Jansen (1580–1638) lovak és feltaláló, mellette 3 tubusból álló mikroszkópja.



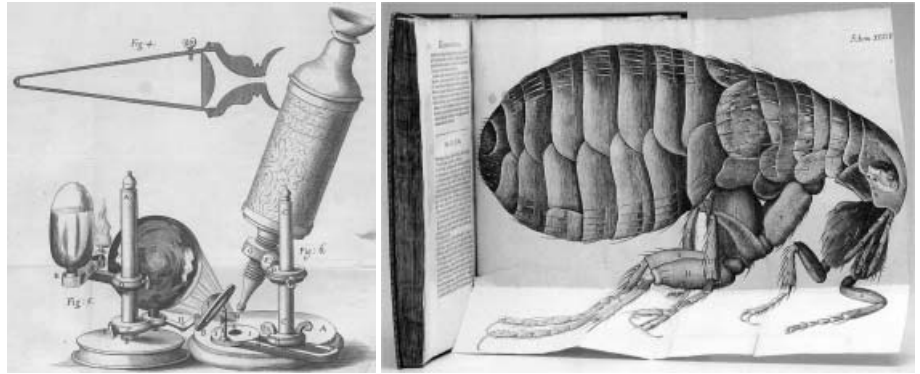
A tanulmány az Európai Unió támogatásával és az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával készült, a támogatási szerződés száma TÁMOP 4.2.1./B-09/1/KMR-2010-0003.

Kelet-Indiai Társaság központja. 1940-ben Middelburgban holland csapatösszevonást tartottak, amit azután a Luftwaffe 1940. május 17-én szétbombázott. A háború után a városközpontot újjáépítették, de a megsemmisült múzeumi tárgyakat, dokumentumokat nem lehetett pótolni. Szerencsére már addig is megjelent Jansenről néhány írásmű, ami túlélte a bombázást. Mai tudásunk ezekből az írásokból ered.

Tudjuk, hogy Middelburgban pénzverde is működött, itt dolgozott Zacharias Jansen sógora. A harmincas éveiben járó ügyes optikus – Johannita lovag és feltaláló – ekkor saját, illegális pénzverdét létesített. Amikor felfedezték, gyorsan egy másik városba költözött át. Azonban ott se hagyta nyugodni a könnyű pénzkeresés lehetősége, újra beindította a titkos műhelyt. Újra felfedezték, bíróság elé állították, és csak azért menekült meg a halálos ítélettől, mert egy bírósági tisztviselő is érintett volt a csalásban, s ezért elfektették az ügyet. Sikerült újra megszöknie, visszament Middelburgba, s még vagy húsz éven keresztül gyártotta a távcsöveket és a mikroszkópokat.

E kezdetleges készülékek nagyítását állítólag 3-szostól 9-szeresig lehetett változtatni. Nem is lett volna érdemes erősebb nagyításra törekedni, amíg ki nem találta valaki, hogy az eszközt nem kézben kell tartani, hanem állványra kell erősíteni. Az egyik ilyen valaki Robert Hooke (1635–1703) volt Angliában. Az általa használt mintegy fél méter magas mikroszkópot ma Washingtonban az ottani Orvostörténeti Múzeumban őrzik, rajza Hooke 1665-ben kiadott *Micrographia* című könyvében látható (2. ábra). Nemcsak állványa és tárgyasztala volt már mikroszkópjának, de megvilágító fényforrása is: egy olajlámpa lángját hatalmas gömbkondenzor fókuszálta a tárgyra. Hooke fedezte fel a parafa üreges, sejtes szerkezetét, még az elnevezés (a sejt latinul cellula) is tőle származik. A sejtes szerkezetet megállapította más növényi metszetek esetén is, és még azt is megfigyelte, hogy a fiatal növényrészek sejtjeit folyadék tölti ki. (Ezt nevezték el sokkal később protoplazmának.)

Hooke két kortársáról érdemes még említést tenni, akik értékes felismerésekkel járultak hozzá a mikrovilág felfedezéséhez. Mindketten a londoni Royal Society hivatalos folyóiratában publikáltak, így vált nevük és munkásságuk ismertté a tudományos világban. *Marcello Malpighi* (1628–1694) itáliai orvosprofesszor fedezte fel az emberi artériákat és vénákat összekötő hajszálereket, kapillárisokat, megalapozta az emberi sejtek és szövetek vizsgálatára kialakult histológia tudományát. *Anton(i) van Leeuwenhoek* (1632–1723) holland amatőr zoológus valószínűleg Hooke *Micrographia* könyvének hatására kezdett tudományos megfigyelésekre negyven éves korában, s folytatta ezt hosszú élete végéig. Az igazság kedvéért el kell árulni, hogy ő nem



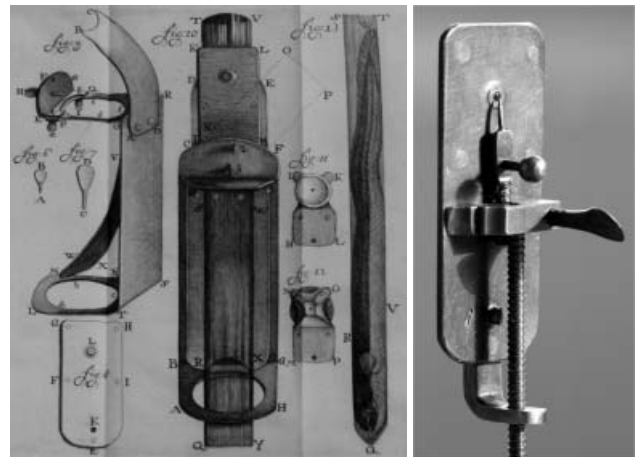
2. ábra. Robert Hooke (1635–1703) mikroszkópjának magyarázó ábrája *Micrographia* című könyvében, és egy bolha képe ugyanebből a műből.

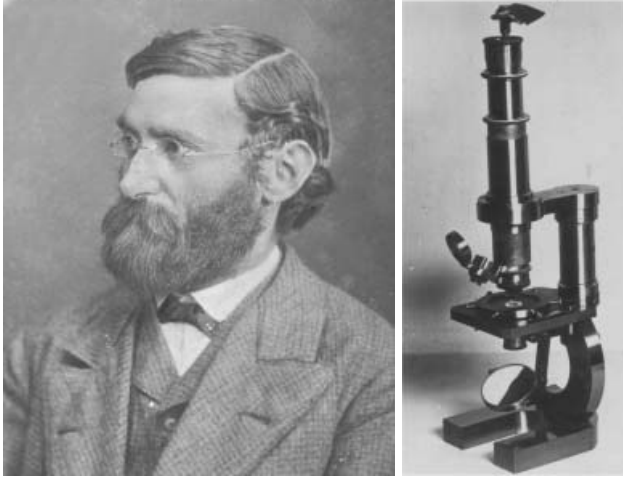
kétlencsés mikroszkóppal dolgozott, hanem mindig csak egyetlen, szerencsésen kiválasztott üvegcséppet használt a nagyításra, de a vizsgált tárgyat két merőlegesen álló csavarral tudta a lencse előtt finoman mozgatni, beállítani (3. ábra). Sok ilyen eszköze maradt fenn, egyiknek másolatát a budapesti Orvostörténeti Múzeumban is megcsodálhatjuk. Leeuwenhoek írta le először a szabad szemmel láthatatlan mikroorganizmusokat, mint „apró mozgó lényeket”, megalapozva ezzel a mikrobiológia tudományát.

A fénymikroszkóp sikertörténetének ezután számos állomása és elágazása volt, még 1925-ben, sőt még 1953-ban is adtak Nobel-díjat újfajta fénymikroszkóp feltalálásáért, vagy új mikroszkópi vizsgálati módszer kidolgozásáért. 1925-ben *Zsigmondy Richárd* (1865–1929) magyar származású osztrák–német vegyész, a kolloidkémia kiemelkedő alakja kapott Nobel-díjat az ultramikroszkóp feltalálásáért, 1953-ban pedig *Frits Zernike* (1888–1966) holland természettudós a fáziskontraszt-eljárás kidolgozásáért.

Van még egy tudós, akiről semmiképp sem lehet megfeledkezni a fénymikroszkóp több száz éves történetében: ő *Ernst Abbe* (1840–1905) német fizikus, akinek optikai munkássága virágoztatta fel Jénában a Carl Zeiss Műveket. Számos találmánnyal járult hozzá a mik-

3. ábra. Antoni van Leeuwenhoek (1632–1723) egyik egylencsés mikroszkópjának magyarázó ábrája Henry Baker rajza a 18. század közepéről. Jobbra a mikroszkóp – amely egy tenyérben elfér – demonstrációs példánya.





4. ábra. Ernst Abbe (1840–1905) és egy 1875-ös Zeiss-mikroszkóp.

roszkóp fejlesztéséhez (4. ábra). Megmutatta, hogy nem egyedül a nagyítástól függ a mikroszkóp teljesítő képessége. Bevezette a mikroszkóp felbontóképességének fogalmát, amellyel kijelölte a továbbfejlesztés irányát. A fény hullámelmélete alapján levezetett formulában ugyanis a mikroszkóp felbontási határa egyenesen arányosnak adódott a fény hullámhosszával.

A 20. században ez azt jelentette, hogy ha olyan mikroszkópot lehetne összeállítani, amely nem fényvel, hanem elektronokkal képezi le a tárgyat, akkor e mikroszkóp felbontási határa 2–3 nagyságrenddel is kisebb lehetne, mint a fénymikroszkópoké.

## A transzmissziós elektronmikroszkóp feltalálói

Mindenek előtt az izzókatódos katódsugárcső kifejlesztőjéről, *Karl Ferdinand Braun* (1850–1918) német feltalálóról kell megemlékeznünk, aki a 19. és 20. század fordulóján számos találmánnyal hívta fel magára a figyelmet, az iskolai fizikaórákról ma is ismert elektroszkópoktól kezdve a rádiótechnika számos eszközének (kristálydióda, az antennához induktív módon csatolt rezgőkör) kifejlesztésén át a katódsugár-oscilloszkópig. A katódsugárcsővet német nyelvterületen, sőt Ja-

5. ábra. Karl Ferdinand Braun (1850–1918) és első katódsugárcsőve.



pánban még ma is Braun-csőnek hívják (5. ábra). *Marconi*val együtt kapott fizikai Nobel-díjat 1909-ben „a drót nélküli távíró kifejlesztésében való érdemei elismeréséül”. Több német egyetemen volt megbecsült professzor, szabadalmait főleg a német Telefunken cég használta fel rádióhálózatának kiépítésekor. Ennek kapcsán keveredett a Telefunken és a brit Marconi cég szabadalmi vitába New Yorkban, ebben a perben idézték meg Braun professzort 1914-ben tanúnak. Ő 1915 elején kiment, tanúskodott, de már nem tudott visszatérni a háborút viselő Németországba. Közben az Egyesült Államok is hadba lépett Németország ellen. Braun Brooklinban halt meg 1918. április 20-án, néhány hónappal a háború befejeződése előtt.

1926-ban *Hans Busch* (1884–1973) német fizikus az elektronok mágneses térben befutott pályáiról publikált egy elméleti dolgozatot. Rámutatott, hogy alkalmasan kialakított mágneses lencsékkel az elektronnyaláb fókuszálható lenne. Ennek gyakorlati megvalósítása megragadta a fiatal kutatók képzeletét. 1927-ben például *Gábor Dénes* (1900–1979), aki a katódsugár-oscilloszkópot választotta doktori disszertációja témájául Berlinben, a nagyfeszültségű hálózatokban fellépő tranzien impulzusok vizsgálatára növelte meg az oscilloszkóp érzékenységét, időbeli felbontó képességét. Eközben kikísérletezett egy vassal körülvelt rövid tekercset az elektronsugár fókuszálására, és amikor utána a Siemens alkalmazásába állt, tovább dolgozott a témán.

Hasonlóképp az elektronnyalábok fókuszálásán dolgozott 1928-tól kezdve *Ernst Ruska* (1906–1988) német műegyetemi hallgató Berlinben. Hamar felismerte, hogy az elektronnyaláb nem homogén, benne az elektronok sebessége széles határok között változik, így pedig se határozott fókuszpontot, se éles képet nem lehet kapni. A műegyetem nagyfeszültségű laboratóriumának elektronsugarakkal foglalkozó kutatócsoportjában jól együtt tudott dolgozni *Max Knoll* (1897–1969) elektromérnökkel (a kutatócsoport vezetőjével), és ketten együtt kikísérleteztek egy olyan megfelelő mágneses lencséből és diafragmákból álló elektronoptikai rendszert, amellyel kis nyílásszögű nyalábbal néhány tizedmilliméter átmérőjű fókuszfoltot tudtak előállítani (6. ábra). 1931. április

6. ábra. Max Knoll (1897–1969), balra és Ernst Ruska (1906–1988), jobbra 1931-ben az első elektronmikroszkóppal.



7-én bemutathatták kollégáiknak a világ első elektronmikroszkópját. Ez a 16-szoros nagyítású mikroszkóp még messze nem érte el az akkori fénymikroszkópok teljesítőképességét, de utat nyitott a fejlődés előtt.

Az igazat megvallva Ruska sem és Knoll sem az anyaghullámok elvéből kapta az indítást munkájához, ők csupán egy jópofa fizikai analógiára támaszkodtak, ami a fénysugarakkal és az elektronsugarakkal történő képalkotás hasonlóságára épült. Gábor Dénes, aki viszont Berlinben a tudományegyetemen a Laue-kollokviumokat is látogatta és követte az elméleti fizika rohamos fejlődését, már világosan meg tudta fogalmazni az elektronmikroszkóp elvi problémáját: minél jobban csökkentjük a diafragmák szűkítésével a „lencsehibákat”, annál jobban előkerül az elektronok hullámtermészetéből adódó diffrakció, és ez fogja növelni az élettenséget. Ezért Gábor Dénes egészen új módon próbálta meg javítani az elektronmikroszkópot: célul tűzte ki olyan leképezés megvalósítását, amely a tárgyról érkező hullámnak nemcsak az amplitúdóját, hanem a fázisát is figyelembe veszi. Elég érdekes, hogy ezt az elvet végül is nem az elektronmikroszkópnál, hanem a fényképezésnél lehetett igazán alkalmazni, így született meg a holográfia. A megoldásra az akkor már Angliában dolgozó Gábor Dénes 1948-ban jött rá. Így is a lézer feltalálásáig kellett várni, hogy a holográfia a gyakorlatban is alkalmazható legyen, majd 1971-ben Gábor Dénes fizikai Nobel-díjat kapjon. (Még a „holográfia” elnevezés is Gábor Dénes leleménye.)

Először 1935-ben érte el az elektronmikroszkóp felbontóképessége a fénymikroszkópét. Újabb probléma lett, hogy az elektronnaláb olykor túlmelegített, be is égette a tárgyat, a „mintát”, amint áthaladt rajta. Először 1937-ben, a torontói egyetemen készült el egy olyan elektronmikroszkóp, ami már külső felhasználók számára is megfelelőnek látszott, de csak 1942-től kezdődött meg a kereskedelmi forgalmazás az RCA (Radio Corporation of America) jóvoltából.

## A pásztázó (scanning) elektronmikroszkóphoz vezető út

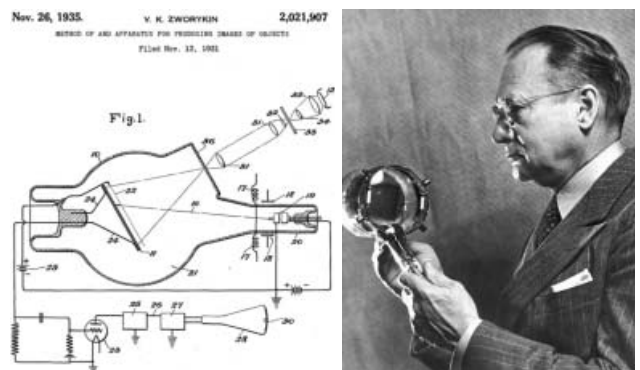
A „szkennelés” a mai számítógépes másolás mindennapi gyakorlata, a kifejezés már szinte köznyelvi szóvá vált. A felhasználó a legritkább esetben gondolkodik el a szó jelentésén, még kevésbé a berendezés működésén. Meglepődik, ha megtudja, hogy az itteni képrögzítési elv mennyire hasonlít a televízióéhoz és még az elektronmikroszkópok jelentős csoportja is hasonló elven működik. Ez az elv a következő: a leképezendő tárgy pontjairól nem egyszerre, hanem gyors egymásutánban, meghatározott rend szerint gyűjtjük és továbbítjuk az információt. A 20. század közepére kialakult gyakorlat szerint a televíziós felvételnél egy elektronsugár pásztázta végig a fényérzékeny ernyőre vetített képet, amelyről az információt gyűjtöttük és továbbítottuk. Sok közvetítő lépés után a tv vevőkészülékben egy modulált elektronsugár pásztázta végig a készülék képernyőjét, szinkronban a felvevővel, így alakult ki a kép, amit láttunk.

A televízió és az elektronmikroszkóp fejlesztése egymással párhuzamosan történt a 20. században, a két világháború között. Sokszor ugyanazok a mérnökök dolgoztak mindkét területen. A már említett Max Knoll az elektronmikroszkóp 1931-es elkészítése után az egyetemről a Telefunkenhez igazolt át, ahol a televíziós képcső fejlesztésén dolgozott. Magántanárként továbbra is besegített a műegyetemi kutatásokba: 1935-ben sikeresen kísérletezett azzal, hogy a televíziónál alkalmazott pásztázás elvét az elektronmikroszkópnál is érvényesítse. Ernst Ruska ugyanakkor a Siemens munkatársa lett, ahol fő feladata volt az elektronmikroszkóp fejlesztése.

Az ikonoszópnál *Vladimir Kozmich Zworykin* (1888–1982) orosz származású amerikai mérnök találmánya. Még ezt a „képnéző” nevet is ő adta neki. Lényege az, hogy egy katódsugárcsőben lévő, fényérzékeny mozaikkal bevont lemezre kell vetíteni az optikai képet, amelyet a katódsugár végigpásztáz, egyenként kisütve a mozaik elemeit alkotó pici kondenzátorokat. A keletkező elektromos jeleket az ikonoszópon kívüli elektromosan felerősítették, ezzel modulálták a vívő elektromágneses hullámot. Vevő oldalon a demodulált elektromágneses hullám vezérelte egy másik katódsugárcsőben az ikonoszópnál katódsugarával szinkronban pásztázó elektronsugár erősségét. Kezdetleges formában Zworykin már az 1920-as években szabadalmaztatta televíziós rendszerét, azután folyamatosan továbbfejlesztette, más szabadalmakkal kibővítette, és a működő ikonoszópot 1933-ban mutatta be – akkor már az RCA képviselőjében – a sajtó és az érdeklődő nagyközönség számára (7. ábra). A német Telefunken cég ekkor vásárolta meg a szabadalmat, és erre a találmányra építve valósította meg az 1936-os berlini olimpia televíziós közvetítését.

Zworykin hosszú élete bővelkedett az izgalmas fordulatokban. A szeptérvári műszaki főiskolán diplomázott 1912-ben, majd európai körútra indult, különböző fizikai intézeteket látogatott meg. Párizsban például *Paul Langevin* (1872–1946) ismertette meg a misztikus X-sugárral. Utána az első világháború alatt az oroszországi Marconi cégnél tesztelte a hadsereg számára készülő rádiókat. 1918-ban egy sarkkutató expedíció tagjaként lépett először amerikai földre, majd hazatérve az omszki Kolcsak-kormány megbízásából ment ki újra, tárgyalni az amerikai kormányval. A fehérek bukása, *Kolcsak* ha-

7. ábra. V. K. Zworykin (1888–1982) az ikonoszóppal és a szabadalmi leírás egyik magyarázó ábrája.





8. ábra. L. A. Kubetsky (1906–1959) és a világ első fotoelektron-sokszorozója.

lála után Zworykin végleg az Egyesült Államokban maradt. PhD dolgozatát Pittsburgh-ben adta be és védte meg a fényelektronos cellák működéséből 1926-ban. Amikor egy régebbi orosz emigráns, az 1900 óta Amerikában élő *David Sarnoff* (1891–1971) 1928-ban áthívta Zworykint a Westinghouse-tól az RCA-hez és kutatórészleget szervezett számára a televíziós rendszer fejlesztéséhez, felgyorsult a kutatás. 1930-tól kezdve Sarnoff már az RCA és az NBC (National Broadcasting Company) elnökeként küldhette Zworykint európai körútra ötleteket gyűjteni, és ha szükséges, szabadalmakat vásárolni az amerikai cég számára.

A szabadalmak adás-vétele megszokott, bevett gyakorlat volt egy olyan ígéretes, az egész fejlett technikájú világra kiterjedő iparágban, mint a televízió. Példaként említhetjük egy magyar feltaláló, *Tihanyi Kálmán* (1897–1947) esetét. Ő is távolbalátó elektronos rendszer kifejlesztésén dolgozott Magyarországon. Első szabadalmi bejelentése 1926-ból származik, ebben már kifejtette a töltéstárolás ötletét. Képfelbontó készülékének a radioszkóp nevet adta. A készülék megépítését *Rybár István* (1886–1971) és *Kornfeld Móric* (1882–1967) is támogatta. Tárgyalásokat kezdett olyan külföldi cégekkel, mint a Telefunken és a Siemens, de nem tudtak megegyezni. Berlinben saját laboratóriumot rendezett be, ahol 1929-ben elkészült első kísérleti képfelvető csöve, ezt Angliában és Franciaországban is szabadalmaztatta. Az általa kifejlesztett televízió katonai alkalmazása iránt az angol légügyi minisztérium és az amerikai RCA mutatott érdeklődést. Az RCA-vel megkezdett tárgyalásokon megemlítette az általa szabadalmaztatott töltéstárolási elvet. Zworykinék 1931 májusában sikeresen próbálták ki a Tihanyi-szabadalmakban alkalmazott megoldást és októberre elkészült az új képbontó cső első példánya, amelyet Zworykin ikonoszkópnak nevezett el... Semmi kétség, Zworykin felhasználta Tihanyi találmányát az ikonoszkóp kialakításához. Csak éppen elfelejtette ezt megemlíteni a későbbiekben, szívesebben hivatkozott saját korábbi próbálkozásaira.

1934-ben Zworykin a Szovjetunióba látogatott, ahol előadásokat tartott, bemutatta az RCA legújabb termékeit. Leningrádban találkozott egy tehetséges fiatal

mérnökkel, aki egy új, rendkívül érzékeny fényérzékelő eszközt fejlesztett ki, s ezt meg is mutatta a tekintélyes vendégnek. *L. A. Kubetsky* (1906–1959) találmánya sokelektrodás kisülési cső volt, amit 24 éves korában talált fel és azóta olyan fokra tökéletesítette, hogy elkápráztatta vele Zworykint (8. ábra). Ez az 1930-ban feltalált készülék volt az első fotoelektron-sokszorozó a világon. Még nem volt neve, a Szovjetunióban csak Kubetsky-csőnek hívták. Hazafelé utaztában Zworykin berlini szállodai szobájában felvázolta (a jegyzetlap ma is megvan) és Amerikában megvalósította ezt a találmányt. Nem lehet tudni, hogy létrejött-e valamilyen titkos megállapodás az RCA és Kubetsky között, ennek nem maradt írásos nyoma. Tény az, hogy 1935-ben az amerikai *Electronics* címlapján szerepelt Zworykin fényképe, amint az RCA legújabb produktumát, a fotomultiplier prototípusát tartja kezében.

Zworykin Magyarországra is ellátogatott, az Egyesült Izzóban *Aschner Lipót* (1872–1952) kérte fel, hogy véleményezze a gyár újdonságait. Meglehetősen lekezelően nyilatkozott *Selényi Pál* (1884–1954) elektrosztatikus képmásolójáról, nem is lett belőle Tungsram-gyártmány. 1936. februárban – még az olimpia előtt – Berlinben meglátogatta egy tehetséges fiatal német mérnök, *Manfred von Ardenne* (1907–1997) lichterfeldi laboratóriumát, aki bemutatta neki az általa kifejlesztett képfelvető csövet. „Megállapítottuk, hogy egymás munkájáról semmit sem tudva, majdnem egyszerre mindkettőnknek ugyanaz a gondolata támadt, vagyis ugyanazt találtuk fel.” – emlékezett vissza von Ardenne később.

Ez a fiatal német mérnök egy év múlva feltalálta a pásztázó transzmissziós elektronmikroszkópot (9. ábra). *Egy boldog élet a technika és a tudomány szolgálatában* című önéletrajzi könyvében így írta le találmányának 1937-es megszületését:

9. ábra. Az idős Manfred von Ardenne (1907–1997) modulokból összeállítható elektronmikroszkópjával.



„Egyik találmányom, amelynek születése minden részletére még ma is pontosan emlékszem, az elektronrasztarmikroszkóp (electron scanning microscope). Amikor egy csendes órában eltöprengtem a különféle képhibákon, amelyek összhatásukban korlátozzák a normál transzmissziós elektronmikroszkóp képfelbontó képességét, felmerült bennem az az alapgondolat, hogy többlépcsős elektronoptikai kicsinyítéssel előállított rendkívül finom elektronfolttal ugyanúgy letapogassuk soronként a mikroszkopikus tárgyat, mint egy televíziós felvételnél, és a tárgyból kiinduló (szekunder) elektronsugárzást felhasználjuk egy szinkronban vezérelt elektronikus kép modulálására. Azon töprengtem, hogyan lehetne elkertülni az elektronmikroszkóp-nál fellépő úgynevezett »kromatikus képhibákat«, amelyek abból származnak, hogy a tárgy különféleképpen eresztí át a primer elektronsugárzást...”

A feladat megoldásának konkrét módja, a teremtő gondolat szikrája azután egy idegen és egy általam kigondolt elektronoptikai elrendezés kombinációjából összegződött: a Max Knoll által leírt tesztképadóból, amely még viszonylag durva, néhány tizedmilliméter átmérőjű elektronsugárral tapogat le egy klisé, és az általam röviddel előbb kigondolt elrendezésből, hogy kis fókusz távolságú elektronikus lencsékkel egy- vagy többlépcsős lekicsinyítés révén szubmikroszkopikus finom katódfolttal állítsak elő (a sugárnyaláb visszafordítása az elektronmikroszkópban). Ehhez a felvázolt megoldásötlethez néhány perc múlva még egy gondolat járult: a tárgy felszínén kiváltott szekunder elektronsugárzást felerősítem több nagyságrenddel egy »szekunderelektron-sokszorozóval«, és felhasználom a képcső szinkronban eltérített elektronsugárzásának modulációjára...”

A transzmissziós elektronmikroszkóp optikai megfelelője a transzmissziós fénymikroszkóp, mindkét

esetben valamilyen vékony (elektronmikroszkóp esetén nagyon vékony) metszet átvilágítása során keletkezik a kép. A pásztázó elektronmikroszkóp mai felhasználása inkább a fémmikroszkópéra emlékeztet, amelynél nincs lehetőség a minta átvilágítására, csupán a minta felületéről, vagy annak mikrokozmoszától nyerhetünk vele információt. Ugyanakkor a pásztázó elektronmikroszkóp „mélységelessége” meglepően nagy, eltérően minden fajta fénymikroszkóptól. Ezért olyan szemléletesek, „térhatásúak” a pásztázó elektronmikroszkóp által elővarázsolt képek.

1937 után Manfred von Ardenne nem a pásztázó elektronmikroszkópot fejlesztette tovább, hanem a felbontóképesség növelése érdekében egyre nagyobb feszültségű transzmissziós elektronmikroszkópokat tervezett. 1939 végére elkészült az a 200 kV-os „univerzális” elektronmikroszkópja, amellyel a feloldási határt 3 nm-re tudta csökkenteni és még sztereófelvételekre is alkalmassá tette. Osztódó baktériumok képeit csodálta meg a laboratóriumba látogató *Max von Laue* (1879–1960) és *Max Planck* (1858–1947) is. A háború alatt – a Laue kérésére felvett *Fritz Houtermans* (1903–1966) javaslatára – azonban ciklotron építésébe fogott és magfizikai kutatásokra tért át.

Berlin eleste után a megszálló szovjet csapatokkal bevonuló, katonai egyenruhába öltöztetett szovjet fizikusok örömmel fedezték fel a lichterfeldi, betonbunkerbe menekített laboratóriumot. *Abram P. Zavenjagin*nak, *Berija* első helyettesének parancsára és irányításával von Ardenne egész megmenekült családját a viszonylag sértetlenül megmaradt laboratóriummal és a kutatói személyzettel együtt kiszállították a Szovjetunióba, ahol Berijával való egyezkedés után von Ardenne az izotópszétválasztásban való közreműködést vállalta a szovjet atombomba előállításában. Dehát ez már egy másik történet.

## A FIZIKA TANÍTÁSA

# ÜTKÖZÉSEK ELEMZÉSE ENERGIA-IMPULZUS DIAGRAMOKKAL II. – A RELATIVISZTIKUS RAKÉTA

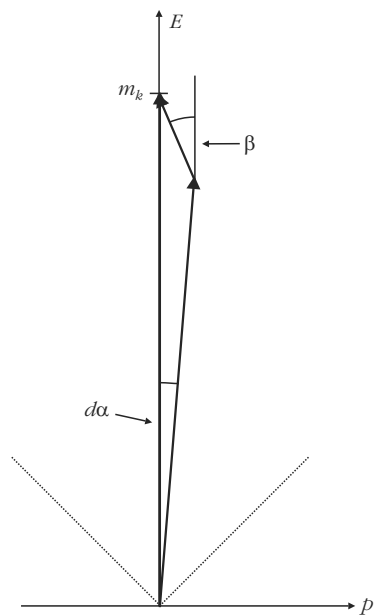
Bokor Nándor  
BME Fizika Tanszék

Ebben a cikkben olyan járművet nevezek rakétának, amely állandó ütemben, magához képest állandó  $u$  sebességgel hajtógázt bocsát ki hátrafelé, és így hajtja magát előre. Egy rakéta akkor relativisztikus, ha a sebességek – a hajtógázé vagy a rakétáé vagy mindkettőé – a fénysebességgel összemérhetőek. (A cikk-

ben végig  $c = 1$  egységeket használok [1]. A sebességek ennek megfelelően dimenzió nélküli számok, amelyek csak  $(-1)$  és  $1$  közötti értékeket vehetnek fel; a tömeg, impulzus és energia pedig ugyanabban az egységben mérendő.)

A gyorsítási folyamat során a rakéta tömege folytonos ütemben csökken (hiszen hajtógáz formájában tömeget lövell ki). Az alapprobléma: meghatározni a

Köszönetemet fejezem ki *Hraskó Péter*nek hasznos javaslataiért.



1. ábra

rakéta végsebességét adott kezdeti/végső tömegarány mellett. A probléma szokásos tárgyalásmódjában a gyorsítási folyamatot „időben visszafelé lejátszott rugalmatlan ütközések sorozataként” fogjuk fel. Minden kis „rugalmatlan ütközési” fázisban a rakéta kis sebességnövekményre tesz szert. Gondosan végzett összegzéssel – azaz integrálással – kapható meg a végsebesség [2].

Szemléltető erejénél fogva egy jó ábra gyakran sokkal jobban fejleszti fizikai intuíciónkat, mint egy hosszadalmas, tisztán algebrai számolás. Milyen szemléltetőeszközt nyújthat a rakéta-probléma tárgyalásához az ütközések elemzésénél már hasznosnak bizonyult energia-impulzus diagram [1]? Hogyan lehet a rakéta gyorsuló mozgását ábrázolni egy ilyen diagramon?

Nézzük az 1. ábrát! Az  $m_k$  kezdeti tömeggel rendelkező, nyugalomban levő rakéta éppen elindul. Az első kis adag hajtógáz (amelynek energia-impulzus vektora a kis felső vektor) kilövellése által a rakéta tömege kicsit csökken (energia-impulzus vektora egy kisebb  $m$  értékű hiperbolára illeszkedik, ahogy az ábrán látható), és kis sebességnövekményre tesz szert (energia-impulzus vektora kicsit bedől az  $E$ -tengelyhez képest).

A 2. ábra a folyamat egy későbbi lépését ábrázolja. A rakéta ekkor már jóval kisebb tömegű (ezt megint abból lehet látni, hogy energia-impulzus vektora egyre kisebb  $m$  értékű hiperbolára illeszkedik), de már nagy sebességgel rendelkezik. Az ábráról le is olvasható ez a pillanatnyi sebesség:

$$V = \tan \alpha. \quad (1)$$

Kérdés: Mi a 2. ábrára felvázolt szaggatott görbe egyenlete? Azaz: milyen görbét ír le a gyorsítási folyamat közben a (csökkenő tömegű, növekvő sebességű) rakéta energia-impulzus vektorának csúcsa az  $E$ - $p$  diagramon?

A fizikai elvek, amelyeket a kérdés megválaszolásához felhasználunk, a következők:

1. az energia- és impulzus-megmaradás minden kis hajtógázadag kilövellésekor (ezt már ki is használtuk az 1. és 2. ábrák konstruálásakor, hiszen két vektor összegeként szerkesztettük meg a hajtógázadag kilövellése előtti teljes energia-impulzus vektort).

2. a hajtógáz a rakétához képest állandó sebességgel távozik; a külső megfigyelő (akinek nézőpontját az  $E$ - $p$  diagram tükrözi) a relativisztikus sebesség-transzformációt kell hogy használja a hajtógáz sebességének megállapításához.

A 2. pontban leírtak szerint az éppen kilövelt kis hajtógázadag  $u = \tan \beta$  sebességét a relativisztikus sebesség-transzformációs képlet adja meg:

$$\tan \beta = \frac{u' - V}{1 - u' V} = \frac{u' - \tan \alpha}{1 - u' \tan \alpha}, \quad (2)$$

ahol  $u'$  (= konstans) a hajtógáz rakétához képest mért – másképpen: a rakétával éppen együttmozgó inerciarendszerben mért – sebessége.

(Az egyszerűbb geometriai áttekinthetőség kedvéért mind  $\alpha$ -t, mind  $\beta$ -t pozitív számértékűnek választottam. Ennek megfelelően  $u'$ -t is pozitív számnak vettem. E választásnak csak annyi következménye lesz, hogy az alább szereplő (4) differenciálegyenletben megjelenik egy negatív előjel.)

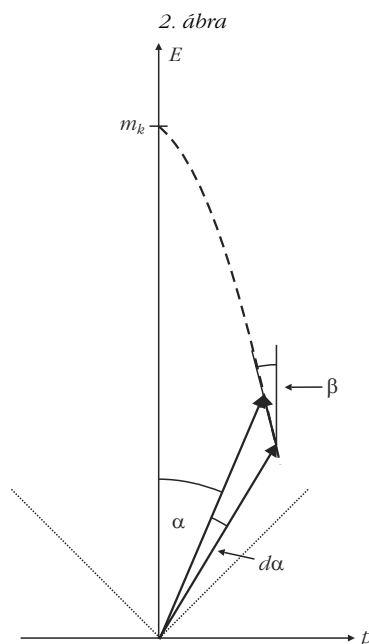
A 2. ábra szaggatott görbéjére teljesül, hogy

$$\tan \alpha = \frac{p}{E}, \quad (3)$$

valamint

$$\tan \beta = - \frac{dp}{dE}. \quad (4)$$

A (3) és (4) összefüggéseket (2)-be behelyettesítve explicit alakban megkapjuk a keresett  $E(p)$  görbe differenciálegyenletét:



$$-\frac{dp}{dE} = \frac{u - \frac{p}{E}}{1 - u \frac{p}{E}}. \quad (5)$$

A görbe analitikus alakja az (5) differenciálegyenlet  $E(p=0) = m_k$  kezdőfeltétel melletti megoldásával lenne megkapható, azonban, sajnos az (5) differenciálegyenletnek nincs analitikus megoldása.

Próbálkozzunk másképp: térjünk át  $(R, \alpha)$  polárkoordinátákra, a 2. ábra jelölései szerint:

$$\begin{aligned} E &= R \cos \alpha, \\ p &= R \sin \alpha. \end{aligned} \quad (6)$$

(A polárkoordinátákra való áttérés azért is kézenfekvő gondolat, mert a végsebesség csak az  $\alpha$  szögtől függ.)

Két megjegyzés:

a) Az  $R$  mennyiségnek – és a (6) transzformációs összefüggéseknek – *nincs* fizikai tartalmuk, csupán matematikai segédeszközt nyújtanak a 2. ábra szaggatott görbéjének analitikus felírásához.

b) Bár az energia-impulzus diagramok szokásosan nem az euklideszi, hanem a Minkowski-féle hiperbolikus geometriának engedelmeskednek (ez fontos eltéréseket eredményez például „szakaszosság” kiszámításánál, a „Pithagorasz-tétel” felírásánál stb.), a fenti (6) koordináta-transzformációnál nyugodtan alkalmazhatjuk az euklideszi geometriát (így például  $R$  az ábrán euklideszi értelemben mérhető távolságot jelöl!), hiszen célunk a szaggatott görbe egyenletének megtalálása az ábra (euklideszi) síkján.

A (6) koordináta-transzformáció segítségével könnyen megkapható az (5) differenciálegyenlet polárkoordinátás alakja:

$$\frac{\frac{dR}{d\alpha} \tan \alpha + R}{R \tan \alpha - \frac{dR}{d\alpha}} = \frac{u' - \tan \alpha}{1 - u' \tan \alpha}. \quad (7)$$

Ez egyszerű átalakítással az

$$R(1 - 2u' \tan \alpha + \tan^2 \alpha) = \frac{dR}{d\alpha} (u' \tan^2 \alpha - u') \quad (8)$$

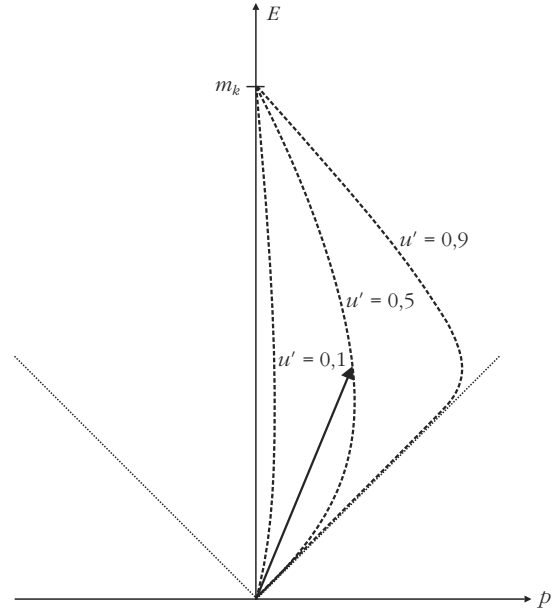
alakra hozható. A (8) differenciálegyenlet (a kezdőfeltételeket az integrálási határokbá foglalva) közvetlen integrálással megoldható:

$$\int_{m_k}^R \frac{1}{R} dR = \int_0^\alpha \frac{1 - 2u' \tan \alpha + \tan^2 \alpha}{u' (\tan^2 \alpha - 1)} d\alpha, \quad (9)$$

amelyből az

$$R(\alpha) = m_k \frac{(1 - \tan \alpha)^{\frac{1-u'}{2u'}}}{(1 + \tan \alpha)^{\frac{1+u'}{2u'}}} (1 + \tan^2 \alpha)^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

analitikus megoldást kapjuk.



3. ábra

A (10) egyenlettel felírt görbéket nevezhetjük „rakétagörbéknek”: egy  $m_k$  kezdeti tömegű rakéta energia-impulzus vektora a gyorsítási szakasz során egy-egy ilyen görbén fut végig az  $E-p$  diagramon. (Hogy melyiken, az az  $u'$  hajtógázsebességtől függ.) A 3. ábrán három ilyen rakétagörbét tüntettem fel, amelyek háromféle hajtógázsebességnek felelnek meg ( $u' = 0,1, 0,5$ , illetve  $0,9$ ).

A rakéta pillanatnyi energia-impulzus vektorát úgy kapjuk, hogy az origót összekötjük a rakétagörbe megfelelő pontjával (a 3. ábra illusztrálásképpen mutat egy ilyen energia-impulzus vektort, az  $u' = 0,5$  esetre). A rakéta pillanatnyi sebessége ezután közvetlenül leolvasható, mint az energia-impulzus vektor ( $E$ -tengelyhez képesti) meredeksége.

Az ábrából látszik az az (intuíciónkkal is egyező) eredmény, hogy nagy rakétasebességek úgy érhetők el, ha a hajtógázsebességet nagyra választjuk, illetve ha a rakéta minél több hajtógázt bocsát ki. Az ábra azt is szemléletesen mutatja, hogy a rakéta sebessége minden körülmények között a fénysebességnél kisebb marad.

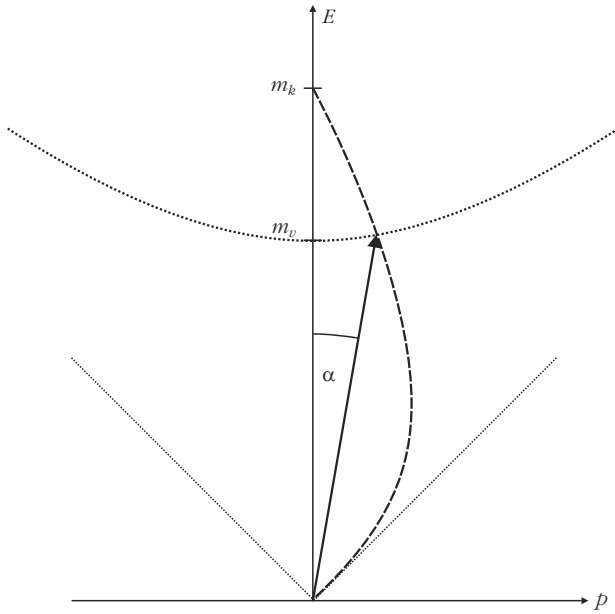
A rakéta  $m_k$  kezdeti tömege a gyorsítási szakasz folyamán csökken, végső értéke  $m_v$ . Mekkora az elért végsebesség? Nincs más dolgunk, mint meghatározni a rakétagörbe és az  $m_v$  végső tömeghez tartozó hiperbola metszéspontját [1]: ez a pont adja meg a rakéta energia-impulzus vektorát a gyorsítási szakasz végén. A 4. ábra illusztrálja a geometriai eljárást ( $m_v/m_k = 0,7$  és  $u' = 0,5$  mellett).

Most nézzük a számolást! Az  $m_v$ -hez tartozó hiperbola egyenlete:

$$E^2 - p^2 = m_v^2. \quad (11)$$

A hiperbola egyenletét azonban szintén polárkoordinátás alakban keressük. Felhasználva a (6) koordináta-transzformációs képleteket, valamint a





$$\cos^2 \alpha = \frac{1}{1 + \tan^2 \alpha}, \quad \sin^2 \alpha = \frac{\tan^2 \alpha}{1 + \tan^2 \alpha} \quad (12)$$

trigonometrikus azonosságokat, a hiperbola polárkoordinátás egyenletére

$$R(\alpha) = m_v \frac{(1 + \tan^2 \alpha)^{\frac{1}{2}}}{(1 - \tan^2 \alpha)^{\frac{1}{2}}} \quad (13)$$

adódik. Mivel  $\tan \alpha$  éppen a rakéta  $V$  pillanatnyi sebessége, mind a rakétagörbe (10) egyenlete, mind a hiperbola (13) egyenlete közvetlenül átírható a rakétabesség függvényére:

$m_k$ -ből induló rakétagörbe:

$$R(V) = m_k \frac{(1 - V)^{\frac{1 - u'}{2u'}}}{(1 + V)^{\frac{1 + u'}{2u'}}} (1 + V^2)^{\frac{1}{2}}, \quad (14)$$

$m_v$ -hez tartozó hiperbola:

$$R(V) = m_v \frac{(1 + V^2)^{\frac{1}{2}}}{(1 - V^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (15)$$

(14) és (15) jobb oldalát egyenlővé téve a következő kifejezés adódik a két görbe metszéspontjára:

$$m_k (1 - V)^{\frac{1}{2u'}} = m_v (1 + V)^{\frac{1}{2u'}}, \quad (16)$$

amiből a rakéta  $V$  végsebességére a jól ismert

$$V = \frac{\exp \left[ u' \ln \left( \frac{m_k}{m_v} \right) \right] - \exp \left[ -u' \ln \left( \frac{m_k}{m_v} \right) \right]}{\exp \left[ u' \ln \left( \frac{m_k}{m_v} \right) \right] + \exp \left[ -u' \ln \left( \frac{m_k}{m_v} \right) \right]} = \tanh \left[ u' \ln \left( \frac{m_k}{m_v} \right) \right] \quad (17)$$

képletet kapjuk.

A tangens-hiperbolikus függvény a  $\pm\infty$ -ben  $\pm 1$ -hez tart, az ilyen (1-hez közelire választott  $u'$  és nagyra választott  $m_k/m_v$  tömegarány mellett megközelíthető) esetet nevezhetjük ultrarelativisztikusnak.

A jól ismert nemrelativisztikus formulát akkor kapjuk vissza, ha a tangens-hiperbolikus argumentumában szereplő kifejezés kicsi: ilyenkor a tangens-hiperbolikus függvény magával az argumentummal közelíthető, ezért

$$V \approx u' \ln \left( \frac{m_k}{m_v} \right) \quad (18)$$

klasszikus kifejezést kapjuk.

Irodalom

1. Bokor N.: Ütközések elemzése energia-impulzus diagramokkal. *Fizikai Szemle* 61 (2011) 54.
2. E. F. Taylor, J. A. Wheeler: *Téridőfizika*. Typotex 2006.

## »ELSZÁNT OROSZLÁNOK« ÉS AZ »UTOLSÓ DÍNÓ« MISKOLCON – avagy beszámoló az 53. Középiskolai Fizikatanári Ankét és Eszközbemutatóról

Csiszár Imre  
SZTE, Ságvári Endre Gyakorló Gimnázium

A 2010. évben a korábban megszokott tavaszi időszakhoz képest rendhagyó módon, nyáron (június 26–29.) került megrendezésre – a középiskolai fizikatanárok nagy hagyományokra visszatekintő, rangos eseménye – az Ankét. Az időpontváltozás oka az akkreditációs folyamat érthetetlen elhúzódása volt. A rendezvénynek ebben az évben nemcsak helyszíne, hanem való-

ban otthont adó intézménye volt a Ferenczi Sándor Egészségügyi Szakközépiskola. A monumentális intézmény – amint azt megtudtuk – valójában a Miskolcon működő két egészségügyi szakközépiskola összevonásával jött létre. Miskolc város, önkormányzatának döntése alapján 2002 szeptemberétől a Ferenczi Sándor Egészségügyi szakközépiskolához integrálta a másik

egészségügyi szakközépiskolát, és az összevont intézmény igazgatója is *Zsúdel Lászlóné* maradt. Az iskola az összevonás után évekig a város két végén, két telephellyel működött, míg az új intézmény pályázatot nyert a Szigethy Mihály úti épület jelentős kibővítésére, hogy mindkét korábbi iskola egy épületben működhessen. A megújult létesítményt 2007 februárjában vették birtokba. Az igazgató asszony már akkor felajánlotta, hogy a legközelebbi Középiskolai Fizikatanári Ankétot ott rendezzük meg. Sajnos, ez akkor nem sikerült, ám a meghívás folyamatosan élt az igazgató asszony nyugdíjba vonulása után is. *Ficsór Józsefné*, az új igazgató is megadott minden segítséget, hogy az ankét sikeres legyen. Ezen a helyen is szeretnénk köszönetünket kifejezni a volt és a jelenlegi igazgató asszonyoknak, hogy ennyire a szívügyüknek tekintették ankétunkat, és mindent elkövettek a rendezvény sikeres lebonyolítása érdekében.

A résztvevők június 26-án, szombaton délelőtt érkeztek meg a városba. A regisztráció során az ismerős nevek után kutatva a résztvevők számára kiderült, ami talán sejtető volt: a szokásos létszám kétharmada lesz csak az idei ankéton. Az időpont módosítása miatt csak egy-két fő mondta vissza a részvételt, ám sok kollégának az iskolák szűkös anyagi kerete, a továbbképzésre szánt pénzek jelentős csökkenése tette lehetetlenné, hogy eljöhessenek a rendezvényre. A regisztráció a város és az iskola által felajánlott tárgyakból összeállított ajándécsomag átvételével járt együtt. Ezek után megtörtént a szálláshelyek elfoglalása az iskola szomszédságában található Szemere Bertalan Szakközépiskola kollégiumában vagy a szintén közeli Lévay Hotelben.

Az ankét hivatalos programja ebéd után kezdődött az iskola csodaszép aulájában. Ezen a délutánon a szakcsoporthoz elnöke, *Mester András* látta el az üléselelnöki teendőket. A megjelent résztvevőket *Kádár György*, az ELFT főtitkára, majd a város nevében *Kormos Vilmos* főosztályvezető úr (Közoktatási és Kulturális Főosztály, Miskolc Megyei Jogú Város Polgármesteri Hivatala), az iskola nevében *Ficsór Józsefné* igazgatónő köszöntötte. Ezután a díjak átadása következett. Először a Társulat Középiskolai Oktatási Szakcsoporthoz által alapított Mikola-díjat adta át a főtitkár úr *Honyek Gyula* tanár úrnak, az ELTE Radnóti Miklós Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium tanárának (1. kép). A Marx György által 1995-ben útnak indított Vándor-díjat az előző évi díjazott, *Dudics Pál* adta tovább az általa arra legérdemesebbnek talált kollégának, *Petróczi Gábornak* (2. kép), aki Kazincbarcikán a Ságvári Endre Gimnázium igazgatója.

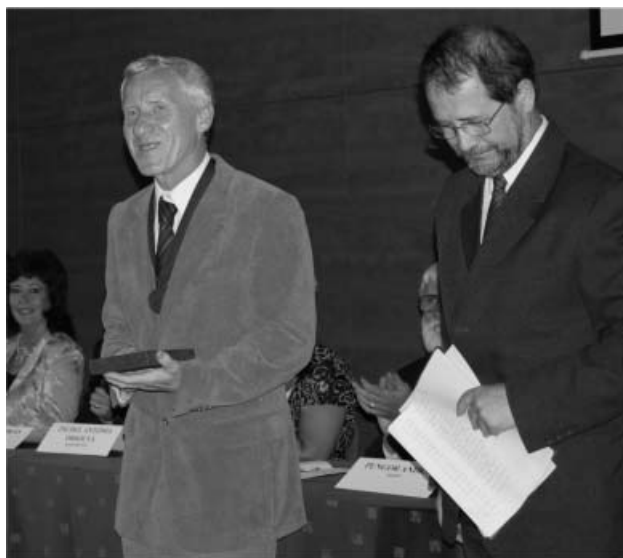
Az első nap témája a nanofizika volt, az előadók a KFKI Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet munkatársai voltak. Elsőként *Bársony István* igazgató úr áttekintő előadását hallgathattuk meg arról, hogy mit takar az előadásának címéül szolgáló fogalom, a nanotechnológia. Ez talán így foglalható össze röviden: a nanométeres tartományban markánsan megnyilvánuló kvantumfizikai jelenségekkel, kérdésekkel foglalkozó kutatások eredményeinek a gyakorlatba történő átülte-



1. kép. Zsúdel László gratulál a Mikola-díj átvételét követően *Honyek Gyula* tanár úrnak.

tésére tett erőfeszítés. Előadása hasznos információkkal szolgált arról, hogy milyen törekvések vannak ezek felhasználására az optikában, a félvezetők világában, illetve a kémiai és biológiai folyamatokban. A következő előadáson *Horváth Zsolt Endre* tudományos tanácsadó a nanofizika anyagszerkezeti alkalmazási lehetőségein túl, a szén nanoszerkezetek (grafén) pásztázószondás módszerekkel történő vizsgálatáról (vagy ahogyan ő fogalmazta „szelidítéséről”) beszélt. Befejező szakmai előadásként *Kádár György* főtitkár úr a Casimir-effektus ismertetésére vállalkozott, azaz hogyan nyerhetünk a vákuumból energiát. Megvilágítva a jelenség lényegét, kimutatta, hogy nem gyakorlatban hasznosítható energiaforrásról van szó, megadva számunkra a diákjainknak való közvetítés lehetőségét. Végezetül *Kormos Vilmos* főosztályvezető úr tekintette át röviden a város történetét, majd bemutatta azokat az erőfeszítéseket, amelyek a város arculatának megváltoztatására irányulnak, hogy élhetőbbé tegyék és nagyobb idegenforgalmi vonzerőt jelentsen.

2. kép. *Petróczi Gábor* tanár úr kezében a Vándor-díjjal, mellette *Dudics Pál*.





3. kép. Mester András köszöntő szavai az esti fogadáson.

A nap utolsó szervezett programja a fogadás volt. Étel, ital és jó társaság hosszan az iskola kis aulájában marasztalták a résztvevőket (3. kép). Asztalunknál régmúlt ankétok, legendás tanárok emléke elevenedett meg, illetve telefonon próbáltunk néhány percre bevonni az ankét hangulatába otthonmaradt kollégákat.

Mindezek után a résztvevők egy részének még maradt energiája egy kis szabadidős programra is, jellemzően a labdarugó VB egyidejű mérkőzéseire. A kollégiumban, közeli vendéglőkben lehetett követni az eseményeket.

Vasárnap délelőtt *Csiszár Imre* volt az üléseelnök, és a lézerekről hallgathattak a résztvevők magas szintű előadásokat. Elsőként az ankétok egyik legnépszerűbb előadója, *Szabó Gábor* akadémikus, a Szegedi Tudományegyetem rektora tartott áttekinthető előadást a lézerek fél évszázados történetéről. Ezután *Dombi Péter*, a KFKI Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézetének tudományos munkatársa foglalta össze a legfontosabb információkat az ELI (Extreme Light Infrastructure) terveivel kapcsolatban. *Ignác Ferenc*, az SZTE Optikai és

4. kép. A kollégák nagy érdeklődéssel figyelik az egyik műhelyfoglalkozást.



Kvantumelektronikai Tanszékének tudományos munkatársa látványosan illusztrált előadásban a lézerek orvosi alkalmazásának különböző területeibe nyújtott bepillantást.

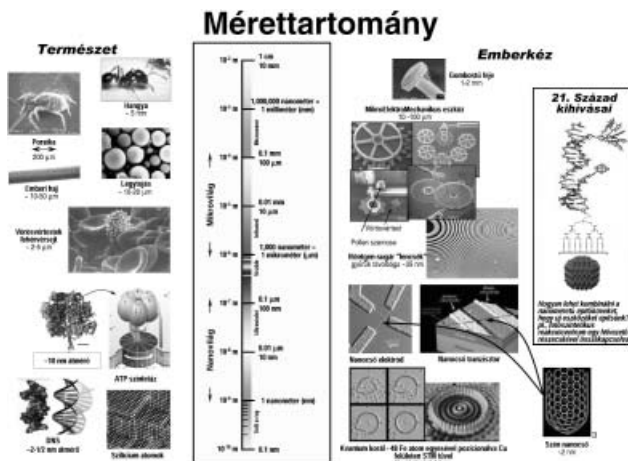
Az előadások után a program szerint az eszközbemutatók megnyitása következett. A programban használt többes szám sajnos csupán a szervezők optimizmusát tükrözi, hiszen a reklámcéllal megjelent két kiállító (Meló-Diák Tanszékcentrum Kft., Sátoraljaújhely; illetve 3B Scientific Europe Tanszékgyártó és Forgalmazó Kft., Budapest) mellett az „Utolsó Dínó”, *Piláth Károly* bemutatkozó mon-

datait hallgathatta csak az érdeklődő közönség. Kiállításában azt mutatta be, hogy ő milyen módon tudja felhasználni fizikai mérésekre a számítógépes játékok használói körében egyébként jól ismert játékeztételt. (Érdeklődő kollégák figyelmébe ajánlom azt a weboldalt, ahol az eszköz használatának leírása megtalálható: [www.freeweb.hu/pilath/lapok/efiz.php?LF=k21.htm](http://www.freeweb.hu/pilath/lapok/efiz.php?LF=k21.htm).)

Ebéd után kezdődtek a műhelyfoglalkozások. Sajnos, itt is kisebb volt a kínálat a megszokottnál, aminek annyi előnye azért volt, hogy kevésbé éreztük, mi mindenről maradtunk le: ezen a napon a résztvevők két műhelyről kényszerültek lemondani (4. kép).

A programban gazdag, farsztó vasárnap után várt ránk a busz és mi is vártunk kicsit a buszra, csak más térkoordinátákkal jellemezhető helyen. Végeredményben egy csodálatos esti-éjszakai fürdőzésben lehetett részünk a Miskolc-tapolcai Barlangfürdőben. Hálásan köszönjük a helyi szervezőknek ezt a nagyszerű élményt!

Hétfő délelőtt *Ujvári Sándor* üléseelnök vezetésével folyt a munka, és a BAY-NANO intézet munkatársainak előadásaiból nyerhettünk bepillantást a nanokutatásokba. Elsőként *Pungor András* igazgató úr mesélte el a „BAY-NANO sztorit” és röviden ismertette az intézetben folyó kutatási irányokat. Ezután *Hegman Norbert* vezetésével „barangoltunk a nanoméreték világában”, majd ismét *Pungor András* következett, aki a „félreértett kísérletek” oldaláról mutatta be az atomerő-mikroszkóp (AFM – Atomic Force Microscope) történetét. Ezek után *Kőhidai Lászlótól* hallhattunk a sejtélettani paraméterek vizsgálatáról és ezek méréseiről. Őt



5. kép. Egy dia Krállics György előadásából.

Demeter Béla követte, aki a nanotechnológiának az idegsebészetben megjelenő lehetőségeiről beszélt. Krállics György azzal a módszerrel ismertette meg a résztvevőket, amelynek segítségével makroszkopikus méretben van lehetőség nanoszerkezetű fémek anyagok előállítására (5. kép). Végezetül Beke Dezső, a Debreceni Egyetem professzora, a nanodiffúziós eljárásokkal kapcsolatos ismeretekbe vezette be a hallgatóságot.

Ezután következett az ankét egyik leglátványosabb programja, a BAY-NANO Kutatóintézetben tett laborlátogatás (6. kép). Itt több csoportban tekinthettük meg az intézet egyes osztályait, és bepillantást nyerhettünk az itt folyó kutatásokba. A laborokban jelenlévő munkatársak készségesen válaszoltak a résztvevők kérdéseire. Ebéd után ismét műhelyfoglalkozások következtek, amikor is az előző naphoz hasonlóan, párhuzamosan zajlottak a kollégák előadásai. Ismét fejtörést okozott a hallgatóságnak, hogy az előadók közül ki legyen az a három, akit nem tudnak meghallgatni.

Vacsora után az autóbusz a Lézerpont látványtár nevű intézményhez vitt minket, ahol hamarosan kiderült, hogy a fenti név nem valamiféle optikai kutatóintézetet, hanem egy rendkívüli magánygyűjteményt rejt, amely egy család három évtizedes gondos gyűjtőmunkájának eredménye. A földszinten egyedülálló népviseleti kiállítást csodálhattunk meg. Több száz, vitrinben elhelyezett ember nagyságú bábut öltöztettek a Kárpát-medence tájegységeinek népviseleti ruháiba. Az emeleten hatvanas évek beli használati tárgyak, járművek, plakátok és egyéb emléktárgyak gyűjteményének segítségével elevenedett meg a múlt. A harmadik kiállítás fényképezőgépek, illetve mikroszkópok több száz darabos kollekciónak tartalmazta (7. kép), kiegészítve egy gyönyörű ásványgyűjteménnyel. A negyedik helyiségben pedig régi, hagyományos mesterségek műhelyei elevenedtek meg olyan életszerűen, mintha csak egy pillanatra kiszaladt volna a műhelyéből a mester, és oda visszatérve folytatná majd a munkáját. Csak megismételni tudom az előző esti program után írtakat: köszönjük a helyi szervezőknek ezt a nagyszerű élményt is!



6. kép. Pungor András igazgató úr kalauzolta az érdeklődőket a BAY-NANO Kutatóintézetben tett látogatás során.

Az előző napok fárasztó programjai ellenére frissen ébredtünk az ankét utolsó reggelén. Ezen a délelőttön az üléselelnöki teendőket a helyi szervezők vezetője, házigazdánk: Zsúdel László látta el. Itt szeretném – a résztvevők nevében is – kifejezni köszönetünket Zsúdel tanár úrnak, az ankét főszervezőjének, áldozatkész, lelkes munkájáért, amellyel nagyban hozzájárult ahhoz, hogy a rendezvény családiasabb legyen, és maradandó emlékül szolgáljon.

Az utolsó délelőtt témája az oktatás volt. Az első előadást Jubász András, az ELTE docense tartotta, aki bevezetőjében felidézte első részvételét a több száz résztvevő és számtalan kiállító jelenlétével zajló fizikatanári ankéton, majd végignézve a hallgatóság szerény létszámú, de rendkívül lelkes táboraán, elszánt oroszlánoknak nevezte őket. Előadásában (számítá-sos) feladatokat illusztráló érdekes kísérleteket mutatott be, és ezek segítségével tette élményszerűbbé azok megoldását.

A második előadásban Honyek Gyula és Juhász András ismertették elképzeléseiket a fizikatanítás jö-

7. kép. Részlet a Lézerpont látványtár egyik kiállításából.





8. kép. „A szakma csúcsa” Honyek Gyula előadásából.

vőjével kapcsolatban. Szerteágazó témáról lévén szó csak azt az egy dolgot emelem ki, amelyben a legnagyobb ellentét mutatkozott a két előadó jövőről alkotott elképzelésében. Honyek Gyula prognózisa szerint a fizikatanárok száma néhány évtized múlva meg egyezik a manapság hivatásszerűen mosónőként tevékenykedő honfitársnőink számával, aminek eredményét a talányos 8. képen látható eseménysorozattal illusztrálta. Ezzel szemben Juhász András szerint fizikatanárookra a jövőben is szükség lesz.

A nap utolsó előadásában *Radnóti Katalin* nem tudott újdonságokról beszámolni a felsőoktatásba belépő hallgatók tudásszintjét illetően.

Az ankét zárása előtt a jövő évi tisztújítás előkészítésére került sor, majd Ujvári Sándor, a műhelybíráló bizottság vezetője értékelte röviden a műhelyfoglalkozásokat, és átadta a díjakat. Az első díjat *Jendrék Miklós*, a Váci Boronkai György Műszaki Középiskola tanára kapta (9. kép), *Szabad Ferenc* (Veszprém) és *Cserháti András* (Paks) megosztott második díjban

9. kép. Jendrék Miklós átveszi a műhelyvezetők I. díját Ujvári Sándortól, a bírálóbizottság vezetőjétől.



részesültek, *Jaloveczki József* (Baja) pedig a harmadik díjat vehette át. Ezt követően *Farkas László* az eszközképzéssel kapcsolatban reményét fejezte ki, hogy a jövőben nagyobb létszámban lesznek jelen a kiállítók, és átadta a díjat Piláth Károly kollégának (10. kép). Ezek után a szakcsoport elnöke, Mester András megköszönte a rendezvényünknek otthont adó város önkormányzata támogatását, illetve az iskola vezetése, a helyi kollégák és a technikai személyzet munkáját. Ezen a helyen szeretnénk köszönetet mondani *Zsúdel Antónia Orsolyának*, a Ferenczi Sándor szakközépiskola igazgatóhelyettesének is, aki – mint otthon lévő házigazda – minden segítséget megadott ahhoz, hogy az ankét sikeres legyen, és a résztvevők szép emlékekkel távozzanak. A helyi szakmai közösség nevében Pungor András fejezte ki köszönetét a résztvevőknek az érdeklődésért, és ezúttal is hívta az érdeklődő kollégákat, diákokat a BAY-NANO intézetbe.

Utolsóként Kádár György emelkedett szólásra, aki örömét fejezte ki, hogy itt ismét együtt lehettünk, illetve megköszönte a MOL és Knorr-Bremse cégek nagylelkű támogatását, amely jelentős mértékben hozzájárult az ankét költségeinek fedezéséhez. Bejelentette, hogy következő évi ankét tervezett helyszíne Sárospatak lesz. Amire ez a beszámoló elkészült, nagy örömmel egészíthetjük ki ezt azzal, hogy 2011-ben – a két érintett szakcsoport vezetőségének döntése alapján – az általános iskolai és a középiskolai fizikatanárok számára a két szakcsoport közösen szervezi meg az ankétot Sárospatakon. Szeretném felhívni az érdeklődők figyelmét, hogy az ankéton elhangzott előadások anyagai megtalálhatóak a szakcsoport weboldalán az alábbi címen: [www.kfki.hu/elftkisk/53/anket/53/Anket.htm](http://www.kfki.hu/elftkisk/53/anket/53/Anket.htm).

Végezetül a szerző ezúton szeretné kifejezni köszönetét *Gál Gabriella* ifjú miskolci kolléganőnek és *Erős Márton* rendszeresen „ankétra járó” esztergomi kollégának a hozzá eljuttatott jegyzeteikért, amelyekkel nagyban segítették e beszámoló elkészítését.

10. kép. Piláth Károly átveszi az eszközképzés kiállítók I. díját Farkas Lászlótól, a bírálóbizottság vezetőjétől.



# TERMÉSZETTUDOMÁNYI ALAPÚ ÓRIÁSPROJEKTEK TERVEZÉSE

– a Fizika Napja a győri Krúdy Gyula Középiskolában

Mészáros Péter

A győri Krúdy Gyula Középiskolában immár hagyománnyá vált, hogy mindegyik tanévben megszervezzük a *Fizika Napja* elnevezésű rendezvényt. Az egy vagy két napos, Csodák Palotája-jellegű esemény egy-egy fogalom vagy jelenségkör köré fűz fel kísérleteket, eszközöket, amelyeket hatvan-hetven helyszínen, tetszőleges sorrendben tekinthetnek meg a látogatók. A rendezvény különleges értékét az adja, hogy az egyes kísérleteket diákjaink készítik elő és mutatják be, magyarázzák az érdeklődőknek, sok ötletet és eszközt ők maguk fejlesztenek ki. A legtöbb helyszínen látogatói aktivitást is igényel.

Elsődleges célunk az volt, hogy a fizikát közelebb hozzuk az emberekhez.

Egy magyarországi felmérés szerint [2] a diákok többsége nagyon ritkán kísérletezik, és nem egészen 5 százalékuk találkozik rendszeresen, minden fizikaórán kísérletekkel (ezek jelentős része is tanári demonstráció). A „krétafizika” módszerrel oktató diákok kevésbé tekintik fontosnak a fizikát, tartanak tőle, és ha lehet, elkerülik.

Rendezvényeink jelentősége mérhető a szakmát és a közéletet képviselő vendégek jelenlétével (tanárok, tudósok, műszaki szakemberek, önkormányzati tisztviselők), de mérhető a növekvő látogatószámmal, valamint a médiában való egyre hangsúlyosabb megjelenéssel is.

A *Fizika Napja* hatására több látogatónk adott hangot annak a nézetének, hogy Győrben is szükség lenne egy állandó, interaktív, tudományos intézményre. Ez lehetőséget adhat a fiataloknak a szabadidő hasznos eltöltésére és segíthetné az értelmesen kíváncsi, kreatív, gondolkodó felnőtté válást.

Reményt keltőnek tűnik, hogy Győr Önkormányzata a Széchenyi Egyetem területén, vele együttműködésben hozza létre a MOBILIS nevű központot, amely főleg a közlekedés témakörére alapozná tudományos interaktív kiállítását.

## Az eddig bemutatott témák

És mégis forog a Föld!

Az első *Fizika Napja* (2005. szeptember 30. – október 1.) apropóját az adta, hogy a 2005-ös évet az ENSZ a *Fizika Nemzetközi Évének* nyilvánította.

A csaknem harminchárom órán át működő Foucault-ingával bemutattuk, hogy forog a Föld. Eközben

---

A szerző az elmúlt 10 tanévben a győri Krúdy Középiskola fizikatanára volt, jelenleg a MOBILIS Interaktív Kiállítási Központ létrehozásán dolgozik.

körülötte az aulában 42 helyszínen 53 diákunk kísérleteket mutatott be a forgómozgás, körmozgás, ingamozgás témaköréből. Mivel az inga folyamatosan működött, éjszakára is az iskolában maradtunk.

A szervezést, lebonyolítást végző három tanár (*Mészáros Péter, Lévai Tiborné, Kurcsics Rafaella*) és a diákok meglepődéssel fogadták a látogatók és a sajtó intenzív érdeklődését. Ez a tény, illetve az, hogy a kísérleti nap dokumentációjával a Magyar Nukleáris Társaság országos pályázatán 100 000 Ft-os különdíjat nyertünk, folytatásra ösztönzött minket.

Itt az idő!

A következő tanév *Fizika Napjának* (2007. január 19–20.) fő témájaként az *időt* jelöltük meg. Innen számítva a *Fizika Napja* léptékeiben változott meg. A bevont egyéb tudományterületek miatt már 70 fölötti helyszínnel, 120 diákkal, 20 fölötti tanárlétszámmal, jóval nagyobb költségvetéssel, több szponzorral, és az egyik kisaulával is kibővülve, már több mint kétszer annyi (3000 fölötti) látogatót fogadtunk.

A klasszikus értelemben vett fizika csaknem háttérbe szorult, és olyan helyszínek is vonzották az érdeklődőket, mint a filmtrükkök, az időérzék-ritmusérzékreakcióidő-bioritmus mérés, öregítés, oszcilláló kémiai reakciók, a „kitalált középkor” problémája, más időzónák webkamerával meglesett eseményei, művészi-iparművészeti alkotások, néprajzi, zenei, történelmi, gasztronómiai vonatkozások, és az időkapszula-ként működő digitális homokóra. A 15 km-es(!) idő-





szalag a Nagy Bummtól napjainkig jelölte a főbb fizikai és földtörténeti eseményeket, a vége felé léptéket váltva az utóbbi néhány ezer év történelme érdekében. Egy órásmester a különböző működési elvű, különleges óraszerkezeteit hozta el hozzánk.

Merülj el a tudományban!

A harmadik tanév témakörének a víz fogalmát jelöltük ki. Sajnos a hidrosztatikát és áramlástant központilag kihúzták a tantervből, így a fizika egyik leglátványosabb, könnyen megérthető jelenség- és problémakörét „tömbösítve”, „nosztalgia rendezvény”-ként mutattuk be (2007. november 30. – december 1.).

Elértük a 3500-as látogatói számot, szponzoraink és segítőkink 60-nál többen voltak, költségvetésünk százezres nagyságrendre rúgott.

A szponzorok komolyabb eszközöket kölcsönöztek, sőt teljes kísérleti helyszíneket is berendeztek nekünk, ahol diákjaink mutatták be és magyarázták el a működést. Ilyen volt a tűzoltók segítségével elvégzett létrás Torricelli-kísérlet és a zárt téri vízagyúzás, a Győri Búvár Egyesület búvár felszerelése, a Pisztráng Kör

természetvédelmi óriásjátékai, a Pannon-Víz műszerei, makettjei, a Vízügyi Igazgatóság homokzsákjai, tablói, az esztergomi Duna Múzeum vízgépei, a szentendrei Skanzen kipróbálható muzeális eszközei, az evezős klub ergométerei, és szakácstanulóink halétel-készítési bemutatója.

A klasszikus fizikai kísérletek, mint például az örvények, vizes rakéta, folyékony nitrogénes, szárazjeges és kémiai kísérletek, kólaszökőkút, jégzobrárszat, szappanbuborékok, ismét az alaphangulatot adták a tudományok sokszínűségének összhangjához. A Duna méretarányosan, 300 méteres tekergett fölöttünk a Fekete-erdőtől a Fekete-tengerig, megjelölve a főbb nevezetességekkel. A győri kapcsolódású *Jedlik Ányos*ról a szódásüveg kiállítás keretében emlékeztünk meg. Az összeállítható aquaduct, a három méteres viza-puzzle, a felpróbálható hajóskapitányi egyenruha még maradandóbb élményekről gondoskodtak.

Tiszta égés!

A tűz és a hőtani jelenségek természettudományi alapjait, valamint szerteágazó hatásait mutattuk be 54 helyszínen 110 diákkal (2009. január 30.).

A flambírozás, a működő vulkán, a vitorlázó repülőgép, az éghetetlen papír, a mini hőlégballon, a gertyaöntés, belsőégésű motorok, a látványos kémiai kísérletek és szabadtéri robbantások mind élményszerűvé, kézzelfoghatóvá tették a tudományos alapokat.

Költségvetésünk ismét százezres nagyságrendű volt és 2200 látogatót fogadtunk.

Nézz, láss, szárnyalj, gondolkozz!

Mivel 2009–10-ben a *Csillagászat Nemzetközi Évét* (Galilei-évforduló), illetve a Holdra-lépés 40. és *Farkas Bertalan* űrutazásának 30. évfordulóját ünnepel-





tük, az ötödik *Fizika Napja* (2010. január 29.) témájú a *csillagászatot* választottuk.

Kiemelt díszvendégünk, Farkas Bertalan egy előadással is megtisztelt minket, illetve autogramokat osztott a látogatóknak. A Foucault-ingát öt év múltán újra elindítottuk a megnyitón. Az Magyar Csillagászati Egyesület győri csoportja is kitelepült különleges eszközeikkel: volt mini planetárium csillagászati mesékkel fűszerezve, naprendszer méretarányos bolygókkal, Stonehenge teljes makettje, csillagászati témájú szobrok és fotók, meteorit-becsapódás modellezése, űrtechnikai, időmérési és egyéb műszaki problémákat bemutató helyszínek. *Bay Zoltán* egykori kollégája, *Mészáros Sándor* kölcsönözte számunkra a holdradar makettjét. A Star Wars-legendakör nem csak számítógépes kvízben jelent meg, hanem fénykardos párbajt is lehetett vívni. Az otthon is elkészíthető különféle rakétáknak a 6 m magas házi készítésű űrhajó adott különleges háttérrel. A Polaris TV 10 órás élő műsort közvetített a rendezvényről.



## Projektpedagógiai megközelítés

Mindent el kell követni azért, hogy a természettudományi tantárgyak ismét visszanyerjék vonzerejüket. Módszertani oldalról érdemes elkezdni a természettudományok vonzerejének visszaállítását. Ehhez egy lehetséges eszköz a projekt módszerrel megvalósított tanítás-tanulási folyamat.

A science-oktatás hirdetői inkább a „sokról keveset” tudás, a rendszerben gondolkodás mellett érvelnek, és a tantárgyasított oktatás követőit „kevésről sokat” tudóknak, adott szakterületben elmélyülteknek, de beszükülteknek tekintik.

A science-típusú oktatás megítélése nem egységes. *Németh Judit* fizikussal, *Németh László* író lányával készült riportban [3] a professzorasszony kifejti édesapja és a saját véleményét is erről az oktatási formáról. Németh László szerint a gyakorlat azt mutatja, hogy a fizikát nem lehet a többi természettudománnyal együtt tanítani. Fontos a tantárgyak sorrendje. Például a harmonikus rezgőmozgást lehet alkalmazni bizonyos jelenségekre, de semmi értelme a genetikával együtt tanítani. A természettudomány rendszerszerűen az összetett jelenségek magyarázata kapcsán kerül előtérbe.

A projekt módszer két módszertani problémára ad megoldást. Egyrészt az ismeretszerzés csoportos és egyéni tevékenységen, kutatómunkán keresztül, élményszerűen történik, nem tanári kinyilatkoztatás elfogadása által. Másrészt jobb hatásfokú, alkalmazás szintű tudást eredményez. Egy projekt minden tagja hozzá tud járulni a feladat megoldásához a maga rész tudásával, ezáltal a hasznosság, nélkülözhetetlenség, a közös alkotás jóleső érzése révén rögzül minden teljesítményképes tudással. A tudományokra való oktatásban az elmélyült kooperativitásnak kellene megjelennie.

## Motiváció

Projekt munkába csak erős belső motivációval rendelkező diákokat lehet jó hatásfokkal bevonni. Akinek nincs elkötelezettsége akár a konkrét téma, akár a csapatmunka iránt, hamar unalmasnak, értelmetlennek tartja a projektet.

Részfeladatot a diákok önkéntesen vállalnak. Így biztosítani lehet, hogy testhez álló feladatot kapjanak, és annak kidolgozásában kitartóan és szívesen vegyenek részt.

A projektnek akkor van értelme, ha az eredményeket bemutatathatják. Az óriásprojekt prezentációja a *Fizika Napja*. Egy több hónapos előkészítési folyamat csúcspontja az egy vagy két napos bemutató.



A bemutatók pedagógiai tanulsága, hogy értelmes, érdekes célok érdekében a diákok lelkesíthetők, összefoghatók, erre hajlandók szabadidőt, energiát áldozni. Sikeresen elvégezhető feladatokkal szívesen foglalkoznak.

Az előkészítési fázisban kutatómunkát végeznek: modellezéssel, kísérleti próbálkozásokkal, mérésekkel, becslésekkel foglalkoznak. A prezentáció már „csak” ismeretterjesztés.

A csoportkohézió célként és eszközként is megjelenik: közös élményt jelenthet a különleges helyzetek és látogatók kezelése, a kétnapos rendezvények esetében az iskolai bentlvas.

A diákok önkéntesen, nem érdemjegyért, nem elismerésért dolgoznak. Viszont az utólagos értékelés nagyon fontos. A végső szóbeli összegzés, globális értékelés, visszajelzések tolmácsolása erősíti a diákok önbecsülését, a későbbi munkamorálra erősen hat.

### Humán-reál kapcsolat

Megfigyelhető, hogy a *Fizika Napján* nem csak fizikát szerető diákok vesznek részt, sőt általában még nem is csak a természettudományokat kedvelők jelentkezők.

A helyszínnek körülbelül harmada humán és egyéb tudomány, például történelem, irodalom, sport, művészetek, gasztronómia, néprajz, nyelvészet, média, szociológia tartalmú. azaz a természettudományok humán vonatkozásait is a látogatók elé tárjuk.

### Tanár-diák kapcsolat

A felnőtt jelentősége átalakul a folyamatban. Kiderülhet, hogy ő sem tud mindent. A diáknak is lehetnek jó ötletei, megoldási javaslatok, esetenként jobbak, mint a tanárnak. A tanórai és szabadidős tevékenység fogalma is egyre közelebb kerül egymáshoz.

Komplex hatás fejlődik ki. A diák saját és mások tapasztalatai, sikerei, kudarcai révén olyan információkhoz jut, olyan hatások, élmények érik, amilyenek egy átlagos tanórán elképzelhetetlenek. Az előkészítésben kortársainak, sőt tanárainak kell magyarázni, érvelni, néha őket kell tanítani. A tanítva tanulás, mint módszertani eszköz rendkívüli hatású. A bemutató során pedig lehetőség adódik a fiatalabbaknak, kortársaknak, idősebbeknek, laikusoknak és szakmai érdeklődőknek elmondott magyarázatokra.

A diákok fejlesztik az önállóságukat, kreativitásukat. Megtanulják becsülni az erőfeszítéssel, kitartással elért eredményt, és azonnali visszajelzést kapnak sikereikről, az előkészítés és a bemutató ideje alatt is.



### Diákok és tanárok szervezése

Az érettségi előtt kevésbé terhelhetők. Mindig vannak már végzetek is, akik visszatérve bekapcsolódnak a szervezésbe, lebonyolításba.

A nagy létszámú diák és tanár miatt web 2.0-ás technikákat is kell alkalmazni a folyamatos kapcsolattartásra, információáramlásra: például levelezési listát hozunk létre, msn-en felvesszük egymást, linkmegosztó oldalt működtetünk.

A tanárok 30 körüli létszáma is komoly szervezést igényel. Minden helyszínhez tartozik egy tanár, aki főleg véleményezéssel, módszertani ötletekkel segíti a kidolgozó diákokat. Egy tanár több helyszín segítője is lehet.





### Eszközök szervezése

A felhasznált demonstrációs és kísérleti eszközök beszerzésére több lehetőség is van. Kisebbszertáraink eszközeire alapozunk.

Vannak olyan eszközök, amelyeket szponzor cégek, magánszemélyek kölcsönöznek, esetleg támogatásként adnak.

Egyes cégek, szervezetek külön helyszínt kapnak, hogy kitelephülhessenek hozzánk eszközeikkel. A diákok mindig közreműködnek a bemutatásban. Így megtartjuk az iskolai jelleget, nem válunk szakmai kiállítókká.

Legnagyobb jelentősége az eszközök házilagos készítésének, a meglévő és összegyűjtött eszközök módosítással való felhasználásának van. A diákok kreativitása itt kapja a legnagyobb teret. Sok esetben külső szakember, esetleg karbantartók munkájára is szükség van.

### Helyszínek kialakítása

A tervezés lépcsőfokait minden résztvevőnek végig kell járnia: az első a szinopszis megalkotása, vagyis a bemutatandó főbb fogalmak, problémák, jelenségek felsorolása. A második lépésként el kell képzelni, hogy a látogató konkrétan mit láthat-hallhat-csinálhat. Harmadik lépés a technikai adatok meghatározása: anyag-, eszköz- és pénzigény tervezése.

### Média

A média-megjelenés több szempontból is nélkülözhetetlen. Ezzel lehet a szélesebb közvélemény elé tárni az iskolai életet, és növelni a vonzerőt.

Győr és környéke iskolái, prominens személyiségek és szakmai szervezetek képviselői kapnak meghívót. A rendezvényről szóló hírek a helyi, regionális és országos média írott és elektronikus változataiban mind előfordultak.

Az elmúlt öt rendezvény összesen 127 média-megjelenése között érdemes megemlíteni a következő médiumokat: *Kisalföld*, RTL Klub – *Híradó*, MR1 Kos-

suth Rádió – *180 Perc* és *Mindennapi Tudomány*, MR6 Régió Rádió, *Meteor* folyóirat.

Az utólagos összegző híradások, köszönetek tolmácsolása és az archiválás (fotó, videó, vendégkönyv) is nagy jelentőségű.

### Informatikai háttér

Az előkészítés során a résztvevők egy levelezési listára kerülnek fel, itt áramlanak az aktuális információk, határidők, bárki kérdéseket, problémákat vehet fel, azokra válaszolhat, másoknak adhat ötleteket, segítséget. Az msn a valós idejű kapcsolatokat segíti.

Adatokat, információkat alapvetően a könyvtárban és az interneten lehet gyűjteni. Össze kell állítani .doc, .pps anyagokat, de zenei, videós, animációs, filmes gyűjteményekre is szükség van, illetve a helyszíni kísérleti eszközök egy része is számítógéppel működik. Volt példa rá, hogy kreatív diákok maguk készítettek filmet. A szkennelés, nyomtatás, fénymásolás, logótervezés, feliratkészítés, díszítés, előzetes fotózás, beharangozó cikkek írása-terjesztése, meghívótervezés, egyéb listák összeállítása mind-mind informatikai feladatot ad diáknak és tanárnak.

Az utóbbi négy alkalommal olyan helyszíneket is működtettünk, ahol a látogatók feladatokat hajthattak végre. Az elért eredmények értékelése központi adatbázisba került, és a látogató kilépéskor összesítve, névre szóló tanúsítványon kapta kézbe eredményeit.

A helyszíni informatikai háttér a következőket jelentette. A helyszínek körülbelül felénél volt helyi hálózatba kötött számítógép, így bármelyik képét meg tudtuk jeleníteni egy nagy, központi projektoron, némelyik munkaállomás külső netet is igényelt, illetve adatbázisba küldött adatokat a látogatókról. A regisztrációnál nyomtattuk ki a tanúsítványokat. Webkamerán külföldről is követték az eseményeket. Együttműködésünk a Polaris TV-vel volt az egyik legnagyobb technikai kihívás. A háttérzenék, webes vendégkönyv, kisfilmes bemutatók, interaktív animációk mind előkészítést, helyi tevékenységet igényeltek.

### Összegzés

A *Fizika Napja* már nem pusztán a fizikáról és általában a tudományok jelentőségéről szól, hanem magán túlmutatva megerősíti azt a közvélekedést, miszerint a krúdy diákok – tanáraikkal karöltve – kreatívak, kitartóak, összetartóak, és egy olyan értékeket létrehozó közösséget tudnak alkotni, amely csapatba érdekes és megtisztelő tartozni.

### Irodalom

- Mészáros Péter: A Fizika Napja(i) a Krúdyban (fotógalériával). <http://hyperion.krudy.gyor.hu/www/page/96/>
- Jarosievitz Beáta: Az informatika, multimédia lehetőségei az oktatásban. Tézisfüzet, Budapest, 2005, [www.ady-kozgazd.sulinet.hu/drupal/sites/default/files/tanarok/JB/jarosievitz\\_tezis.pdf](http://www.ady-kozgazd.sulinet.hu/drupal/sites/default/files/tanarok/JB/jarosievitz_tezis.pdf)
- Tóth Teréz: A világ érdekessége és a természettudományos oktatás, beszélgetés Németh Judittal. *Új Pedagógiai Szemle* 2007/02, [www.oki.hu/oldal.php?tipus=cikk&kod=2007-02-np-Toth-Vilag](http://www.oki.hu/oldal.php?tipus=cikk&kod=2007-02-np-Toth-Vilag)

## BUDAPESTI SZKEPTIKUS KONFERENCIA – NYOLCADSZOR

Füstöss László  
BME Fizikai Intézet

Az, hogy a Budapesti Szkeptikus Konferenciát idén nyolcadik alkalommal sikerült megrendezni, elsősorban a rendezők makacosságának és a BME, ezen belül a Fizikai Intézet támogatásának köszönhető. A szkeptikus megmozdulások és általában a szkeptikus mozgalom sehol a világon nem különösebben népszerű. Már az öndefiníció *szkeptikus* szó – legyen főnév vagy melléknév – elidegenít. Talán, mert nem egész világos, hogy mit jelent, és távolságtartást, kívülállást sugall, már-már a cinizmussal rokonítható. Ma, amikor a csapatmunka szépségében, eredményességében illik hinnünk, a *pozitív hozzáállás*ban, jönnek a szkeptikusok és kételkednek. Undok, fölényes értelmiségi göggel kijelentik, hogy az örökmozgók egy idő után megállnak, hogy a hatóanyag nélküli készítmények aligha hatnak, és hogy egészségünk, teljesítményünk nem a bolygók állásától függ. Különböző fórumokon névtelen hozzászólók tömege áll ki az évtizedekig találmányán dolgozó, a visszautasításokba belerokkant feltaláló mellett, miközben gyűlik a jeges düh a szkeptikus ellen, aki lusta ellendrukkerként kijelenti, hogy örökmozgó pedig nincs. Honnan tudja? Még ha beérné azzal, hogy eddig nem volt.

Ez a február végén rendszeresen összeülő konferencia a szkeptikus álláspontot próbálja bemutatni. Azt, hogy vannak széles körben elterjedt elképzelések, amelyek nem a valóságot tükrözik, és alátámasztásukra tudományosan tűnő, a tudományra hivatkozó érvelést használnak. A szkeptikus feladata, hogy ezt leleplezze. Néha nagyon egyszerű dolga van; mondjuk, csak azt kell kimutatnia, hogy azért, mert a vérben van vas, a mágneses karkötő nem fogja felpezsdíteni a vérkeringést. A szkeptikus kivételesen nyert helyzetben van, ám a mágneses karkötők forgalma ettől nem csökken. A forgalom ugyanis nem a tudományos magyarázattól függ. Karkötőt, nyakláncot szívesen vásárolunk, és ha ettől még állítólag tovább is élünk, annál jobb.

Az idei konferencia hívószava a mágnesség volt. A mágnesség, aminek tulajdonságai, jelentése és szerepe valamiért nem akar megmaradni még az érettségizettek fejében sem, számos, ezzel foglalkozó fizikaóra ellenére. Ezért az első előadó elmondott mindent, amit egy művelt embernek a mágnességről tudnia kell, és kiderült, egy jól áttekinthető diszciplínáról van szó. Ennek ellenére a közvélekedés kikötött a *Descartes* előtti magyarázatnál, hogy a mágnesnek lelke van, és noha metaforikusan, de napjainkig valami hasonló elképzelés

érvényesül. Ezt mutatta be és illusztrálta a második előadás, míg a következő már mérnöki alkalmazásokról szólt, elsősorban a Barkhausen-zajon alapuló, roncsolásmentes anyagvizsgáló eljárásról.

A mágikus realizmus alapművében, a *Száz év magányban* José Arcadio Buendiat annyira elbűvölik a mágnesek, hogy segítségükkel aranyat akar találni, hiába próbálja a mágnesek gazdája ettől eltéríteni. A cseppet sem mágikus valóságban nem az eltérés, hanem a mindenre rábeszélés jellemző. Az egészségiparban az ijedtség, tanácstalanság és türelmetlenség jövőtől szinte minden eladható, különösebb tudományos magyarázat nélkül is. Mágneses derékalkak, pokrócok, ékszer a „tudományos vizsgálatok százai igazolják” ráolvasással kelnek el. De nincs hiány tudományos előkészítésben sem, aminek végkövetkeztése: „A permanens mágnesekről ezek alapján azt várhatjuk, hogy az északi pólus gyógyászatiilag serkentően, míg a déli pólus károsan hat a szervezet számára, mert az előbbi adja, az utóbbi pedig elvonja a fent említett hasznos részecskéket a szervezettől.” Ezek a biomonopólusok fényes jövő előtt állnak, miközben a normál tudomány az állatkísérleteknél tart. A konferencián erről, a statikus mágneses tér egerekre gyakorolt fájdalomcsökkentő hatásáról volt szó, olyan óvatosan fogalmazva, hogy vannak tapasztalatok, de hiányoznak a magyarázatok. Az emberekre vonatkozóan az előadó többnyire a mágneses tér hatásának hiányáról számolt be, mindössze a csontritkulásnál, törések-zúzódások gyógyulásánál tapasztalták a mágneses tér előnyös hatását.

Tudományos magyarázatra váró kérdés rengeteg van, ám határozott válasza gyakran csak az áltudomány képes. Ott ugyanis számos univerzális, de legalább holisztikus elmélet várja készen a kérdéseket. Egyik ilyen kérdéskör a környezetünkben található alacsonyfrekvenciás elektromágneses terek hatása. A konferencián az előadó olyan, sokunkat foglalkoztató kérdésekről beszélt, mint a távvezetékek vagy transzformátorházak környezetében végzett mérések, az egészségünket érintő, becsülhető kockázatok. Ebben az esetben sikerült érzékeltetni azt, ami a hasonló témában elérhető nyilatkozatokból majdnem mindig hiányzik – a hatalmas mennyiségű tényfeltáró munkát, a következtetések átlátható indokoltságát.

Egy másik terület, amit ural az áltudomány, a víz. Pi víz, mágneses víz, oxigénnel dúsított víz – ezernyi csapda a pénztárcánknak, legalább annyi magyarázattal, indoklással. Ezért került sor arra az előadásra, amely a vizet, mint az áltudományok éltető forrását

A konferencia részletei a <http://szkeptikus.bme.hu/> címen találhatóak.

mutatta be. Magától értetődően került a vízkezelési eljárások közé a mágnesség, elsősorban a vízkőképződés megakadályozására. Az előadó ezzel kapcsolatban saját munkájáról is beszámolt, amelynek során egy elterjedt mágneses vízkezelési eljárást olyan mértékben talált hatástalannak, hogy kísérleti eredményei alapján az Országos Találmányi Hivatal megsemmisítette a vonatkozó magyar szabadalmat. Megnyugtató volt, hogy a víz szerkezetéről is hallhattunk előadást, amiből az is kiderült, hogy a víz felismert tulajdonságai közé nem tartozik a hosszú távú – nanoszekundumnál tovább ható – memória. Pedig (nem kellően ellenőrzött kísérletekre hivatkozva) valódi tudományos tekintély, *Luc Montagnier*, Nobel-díjas biológus állítja ennek ellenkezőjét, a homeopátiák nagy örömeire.

Ezzel el is érkezünk az áltudomány és a tudomány művelőinek kapcsolatához, amellyel az utolsó két előadás foglalkozott. Az okozza a kisebb, bár nem elhanyagolható gondot, hogy a tudomány eredményes és joggal megbecsült művelői néha távoli tudományterületekre látogatnak és mondanak nem éppen autentikus véleményt. Az áltudomány ujjong: *X Y Nobel-díjas szerint is ... Z professzor kijelentette, hogy ... Minél nagyobb a tudományos sarzsi, annál nagyobb az öröm.*

Az áltudomány a tudományos minősítéssel rendelkező közembereket is jól tudja használni igazának alátámasztására. „A gravomágneses hullámok hasonló-

tanak az elektromágneses hullámokhoz – azonban az elektromos hullámkomponens hiányzik, amit egy más szerkezetű gravitációs hullámkomponens pótol.” Az idézett mondat, mint hétköznapi igazság nem létezik. Ha valaki a fizikai alapjelenségek egy ilyen kombinációját igazolni, megfelelően értelmezni tudja, az hatalmas felfedezést tett és nincs joga a HEU-RÉKA-élménytől megfosztania a tudományos közvéleményt. Ezzel szemben a másik tipikusnak mondható út: lemondunk az elmélet igazolásáról és a Nobel-díjról, és önzetlenül egy falszárító eszköz működésének alátámasztására használjuk leleményünket és minősítésünket. Legújabb fejleményként az eszköz egy internetes bírálóját hitelrontásért perbe fogták. Az eset potenciális kárvallottja a konferencián személyesen adhatta elő félelmeit a jogszolgáltatás kilátásaira vonatkozóan.

A konferencia, amint az eddigiek is, igazolta azt a könnyen kikövetkeztethető tényt, hogy a szkeptikus világszemlélet nem népszerű, természetes szövetségessé, a tudománytól kevés odafigyelésre számíthat, annál több gyanakvásra a jogszolgáltatás oldaláról. Következésképp szkeptikussá az ember akkor lesz, amikor úgy érzi, hogy nem tehet mást.

Ehhez képest szép számmal voltak érdeklődők, akik a következő konferenciáig töprenghetnek rajta, hogy a közönséges csapvízzel lelocsolt, vagy a mágneses vízzel megöntözött falat szárítja meg gyorsabban a gravomágneses hullámokkal operáló eszköz?

## KÖNYVESPOLC

# ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ FIZIKAVERSENY 2005–2010

## Feladatok és megoldások, 185 oldal, 2000 Ft.

Kiváló modern fizika feladatgyűjtemény jelent meg a Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány kiadásában a 2011-ben 14. alkalommal megrendezett verseny döntőjére *Szűcs József* nagyszerű szerkesztésében. Köszönjük áldozatos munkáját!

A könyv az Országos Szilárd Leó Verseny 2005-től 2010-ig terjedő hat évének összes (120 darab) feladatát, és azok részletes megoldásait, a döntők kísérleti és számítógépes feladatát tartalmazza, nagyszerű anyagot biztosítva ezzel a versenyre való felkészüléshez, a tehetséggondozáshoz, hozzájárulva a műszaki-természettudományos szakember-utánpótláshoz. Különösen fontosnak érezzük a versenyt teljesen egyedi és világviszonylatban is egyedülálló

jellege miatt, amely kifejezetten a modern fizika témakörei köré összpontosul.

A könyvhöz *Sükkösd Csaba*, a zsűri elnöke írt bevezetőt, amelyben kitért napjaink oktatáspolitikai vonatkozásaira. Ezt *Csajági Sándor*, a Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány elnöke, a döntő színhelyéül szolgáló paksi Energetikai Szakközépiskola és Kollégium igazgatóhelyettese bevezetője követi. Végül a versenyt 1998-ban, *Szilárd Leó* születésének 100. évfordulóján elindító *Marx György* írása következik *Szilárd Leó gyökerei* címmel.

A bevezető oldalak után található a 8. – 13. versenye feladatai. Az egyes évekhez tartozó fejezetek szerkesztése teljesen egységes. Először a 1. forduló feladatai, utánuk a döntő elméleti, kísérleti és számítógépes feladatai következnek. Majd az 1. forduló és a döntő elméleti feladatainak részletes megoldása, sok

**A könyv megrendelhető** a Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítványtól, Csajági Sándortól, e-mail: csajagi@eszi.hu.

esetben tanulságos kiegészítésekkel. Végezetül az adott évi verseny döntőjének eredménye szerepel, feltüntetve a tanulók nevét, iskoláját és felkészítő tanárait, mind az I. kategória (11–12. évfolyam), mind pedig a II. kategória (9–10. évfolyam) esetében.

Az egyes évek feladatainak ismertetése után mintegy összefoglalásként megtalálható a döntőben szerepelt feladatok kitűzőinek neve, amely már a feladatoknál is fel van tüntetve. Ezt követően Csajági Sándor röviden ismerteti a verseny történetét, szabályait, értékelési rendszerét, a verseny témaköreit és a felkészüléshez felhasználható szakirodalom jegyzékét. Végezetül a verseny során alapított Szilárd Leó Tanári Delfin-díjat és a Marx György Vándordíjat eddig elnyertek neveit olvashatjuk.



A könyv igen szép kiállítású, megfelelő a betűméret, az ábrák kifogástalanok. A kísérleti fordulónál szinte minden esetben megtalálható a kísérleti elrendezés jó minőségű fekete-fehér fényképe is. A könyv közepén 15 oldalnyi színes fényképmelléklet helyezkedik el a verseny fő momentumairól. A színes betétek sorát egy Magyarországot ábrázoló térkép zárja, amelyen jelölve van a verseny résztvevőinek területi megoszlása 1998–2010 között. Nagyon szép a könyv borítója is. Az első oldalon a Marx György Vándordíj, míg a hátsó oldalon a verseny anyagi támogatását biztosító Paksi Atomerőmű Zrt. látogatóközpontja előtt található szoborpark fényképe látható, Szilárd Leó szobrának kiemelésével.

*Radnóti Katalin*

## PÁLYÁZATOK

### PÁLYÁZAT KÍSÉRLETI FIZIKÁBÓL

A Szegedi Tudományegyetem TTIK Kísérleti Fizikai Tanszéke az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Csongrád megyei Csoportja támogatásával 2011 tavaszán rendezte meg kísérletes versenyét

*Kísérletek az elektromosság és mágnesség témaköréből*

címmel, Szegeden. Középiskolás diákok pályázhatnak (1 vagy 2 fő) olyan dolgozattal, amelyben leírják a bemutatandó kísérlet lényegét, az alkalmazott módszereket, méréseik eredményeit.

A dolgozat maximális terjedelme 10 oldal (ábrákkal és referenciákkal együtt).

A beküldési határidő 2011. május 23. (SZTE KFTSZ, 6720 Szeged, Dóm tér 9., *Szatmári Sándor* egyetemi tanár címére).

A legjobb pályamunkák készítői meghívást kapnak az SZTE Kísérleti Fizikai Tanszék júniusi kísérletes bemutatójára. A nyertesek könyvutalványt és könyvjutalmat kapnak.

Érdeklődni *Bobus János* egyetemi tanársegéd címén lehet: e-mail: [jbohus@physx.u-szeged.hu](mailto:jbohus@physx.u-szeged.hu), telefon: 62/544-046, illetve a pályázat részleteiről a <http://titan.physx.u-szeged.hu/opt/physics/expphys/kispaly.htm> honlapon is tájékozódhatnak az érdeklődők.

## HÍREK – ESEMÉNYEK

### SZÉCHENYI-DÍJ

Magyarország köztársasági elnöke – a miniszterelnök előterjesztésére – nemzeti ünnepünk, március 15-e, az 1848–1849-es forradalom és szabadságharc kezdetének, a modern parlamentáris Magyarország megszületésének napja alkalmából Széchenyi-díjat adományozott *Sólyom Jenő*nek, a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagjának, Állami díjas fizikusnak, a Magyar

Tudományos Akadémia Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézete kutatóprofesszorának a szilárdtestek elméletében elért eredményeiért, elsősorban a renormálási csoport sokrétű alkalmazásáért, a több évtizedes oktatói tevékenységét összefoglaló, nemzetközi viszonylatban is jelentős három kötetes *A modern szilárdtestfizika alapjai* című tankönyvéért.

# AZ AKADÉMIAI ÉLET HÍREI

## Rutherford-émléknapi a Magyar Tudományos Akadémián, 2011. május 5.

Az emléknapi szeretettel várunk minden érdeklődőt, elsősorban fizikusokat, mérnököket, fizikatanárokat, középiskolásokat.

Délelőtt: 100 éves a Rutherford-kísérlet

Elnök: *Faigel Gyula*, a Fizikai Osztály elnöke

10:00 *Berényi Dénes*: Rutherford aktualitása

10:30 *Gyulai József*: A Rutherford-visszaszórás és a csatornahatás „kariereje” a mikroelektronikában

11:00 *Kótai Endre*: Magyar innovációk a Rutherford-visszaszórási technikában

11:30 *Kertész Zsófia*: Ionmikroszkópia

12:00 *Veres Gábor*: Az elemi részek Rutherford-kísérlete

Délután: 100 éves a magfizika

Elnök: *Gyulai József*, a Műszaki Osztály elnöke

14:00 *Bencze Gyula*: Rutherford és a százéves magfizika

14:30 *Aszódi Attila*: A Fermi–Szilárd-atommáglyától a IV. generációs atomerőművekig

15:00 *Wolf György*: A magfizika jelene és jövője Európában

15:30 *Molnár József*: Korszerű magfizikai detektorrendszerek

16:00 *Dombrádi Zsolt*, *Nyakó Barna*: Magyarok a világ élvonalában: a proton-neutron párkölcsönhatás

## Az atommag száz éve – XXXII. Fizikusnapok az ATOMKI-ban

Ez évben 32. alkalommal rendezte meg az MTA Atommagkutató Intézete (ATOMKI, Debrecen) a Fizikusnapokat március 7. és 12. között. Az egyhetes program célja, hogy a fizika közelebb kerüljön az emberekhez, elsősorban a fiatal (általános és középiskolás) korosztályhoz, továbbá, hogy felkeltse az érdeklődést és ezzel utánpótlást is biztosítson a fizikus pályához.

A négy előadás felidézte az atommag felfedezésétől napjainkig megtett hosszú út legfontosabb eseményeit, kitért a gyorsított részecskék életünkben betöltött szerepére, a CERN-ben folyó kísérletekre és a mikro- és makrovilágról alkotott mai ismereteinkre.

Az előadások előtt az érkező közönség is részt vehetett *Rutherford* szórás kísérletének eljárásszerűségében, ahol az aranyatomok és az alfa-részecskék „bőrébe” középiskolás diákok bújtak és maga Rutherford és *Geiger* is megszólalt.

Nagy érdeklődést keltettek a kiállított és működtetett magfizikai berendezések: a diffúziós ködkamra és a különböző doziméterek, a kozmikusugárzás-mérő, az alfa-sugárzást detektáló webkamera és egy terepjáró robot, amit akár sugárveszélyes helyekre is be lehet küldeni állapotfelmérés és kisebb szerelések elvégzése céljából.

A hét folyamán délelőttönként középiskolás diákok érkeztek – ezernél is többen – az ATOMKI-ba rendhagyó fizika órákra Debrecenből és más településekről (Biharkeresztes, Hajdúdorog, Létavértes, Mátészalka). Munkatársaink változatos témákban készültek a fogadásukra. Néhány cím a huszonegy választható előadásból

és kísérleti bemutatóból: *Sugárveszélyben a marslakók; Modern mesék, avagy miért vagyunk hiszékenyek?; Állatkerti séta fizikus szemmel; Csillagok – a természet erőművei és vegykonyhái; Atomreaktor a természetben;*

*Olvassok a gondolataidban – orvosi képalkotás PET segítségével; Átlátok rajtad – orvosi képalkotás röntgen és CT segítségével; Kvantumfurcsaságok; Kollektív gerjesztések nanoanyagokban; Radioaktivitás a szemünk előtt; Mit keres egy fizikus az Antarktiszon? Minél inkább havazik, annál inkább differenciálegyenlet; A delfinek hangja; Régészeti minták vizsgálata protonokkal.*

A pénteki nyílt nap alkalmával az ATOMKI kitérte kapuit a nagyközönség előtt: három időpontban indult vezetett látogatás a szép számmal megjelenteknek. Az érdeklődők megismerkedhettek a ciklotron, a Van de Graaff-generátor, az ECR ionforrás és az elektron- és röntgenspektroszkópiai laboratórium működésével és tevékenységével. A leg-

nagyobb sikert most is a hidegfizikai bemutató aratta, ahol a folyékony nitrogénnel végzett kísérletek közben felfedezték az anyag hétköznapi (hőtágulás) és különös (szupravezetés) tulajdonságait, és megismerkedtek a hőmérsékleti skálákkal.

A tanári fórumon a sárospataki fizikatanári ankét előestéjén a fizika tanításának debreceni jövője került megvitatásra.

A hetet, szokásos módon, a szombati kísérleti bemutató zárta, amelyre ezúttal a Fizibusz jött házhöz.

*Király Beáta*, ATOMKI



Hideg, hidegebb, lehidegebb – kísérletek folyékony nitrogénnel

# ELISMERÉSEK AZ EPS-TŐL

2011. április másodikán a Council of the European Physical Society (az Európai Fizikai Társaság Tanácsa)

egyhangúlag a társulat tiszteletbeli tagjává választotta *Kroó Norbertet*, *Fodor Zoltán* az EPS tagja (fellow) lett.

## RIEGER ÉVA, 1930–2011

Sok szenvedés, megpróbáltatásokkal teli élet után ez év január 8-án megpihent *Rieger Éva*, a *Fizikai Szemle* egyik legrégebbi, de végig lelkes olvasója. Élete tragikusan indult, családjával együtt 1944-ben elhurcolták, szülei és nővére odaveszett, ő maga 15 évesen betegen, egyedül tért haza Buchenwaldból. Először Pozsonyban élő nagybátyja, *Rieger Imre* vette pártfogásába, majd később Budapesten *Rieger Richárd*, a Zsidó Gimnázium tanára pártfogolta.

Fizikusnak készült, de végülis 1949-től az ELTE-n vegyésznek tanult. Vegyész létére a fizika szerelmese, a neves magyar fizikusok őszinte tiszteelője, életének kutatója volt. Rengeteget olvasott róluk, különösen *Békésy György*ért rajongott.

*Cornides István* demonstrátora volt, és egész életében tisztelettel ápolta mestere emlékét. Szívügye volt emléktáblájának megvalósítása, de ezt már nem érthette meg.

Még hallgató korában a Távközlési Kutató Intézetben dolgozott. *Váradai Péter* munkatársaként részt vett egy rádiófrekvenciás tömegspektrométer megvalósításában. Erről a jelentős fejlesztésről az ő társszerzőségével 1958-ban két közlemény is megjelent a *Vakuum-Technik*ben. Végzése után még néhány évig a Távközlési Kutató Intézetnek az Egyesült Izzó területén működő részlegénél, az elektroncsövek oxidkatódjának fizikai vizsgálatával foglalkozott.

Később a Műszaki Fizikai Kutató Intézet munkatársa lett, ahol *Szigeti György* munkáiban segédkezett és tudományos titkári feladatokat is ellátott. Ennek kapcsán fontos szerepe volt két világkongresszus megszervezésében is. Szigeti ajánlására az 1960-as években fél évet Londonban töltött *Gábor Dénes*nél, ahol



megismerkedett az akkor újdonságnak számító ion-implantációval. Az 1970-es években Hollandiában a FOM Intézetben *J. Kistemaker*nél dolgozott az IUVSTA Welch-ösztöndíjával. Itt proporcionális számláló készítésével, kiértékelési algoritmusával foglalkozott és részt vett a szilárd-gáz kölcsönhatások SXAPS vizsgálatában is. E munkákról két közleménye is megjelent, az egyik Hollandiában.

Szívügye volt az ELFT Vákuumfizikai Szakcsoportja, egy időben ennek titkári teendőit is ellátta, és aktív tagja volt az IUVSTA Magyar Nemzeti Bizottságnak is.

Utolsó munkahelye az MTA Kémiai Kutatóintézete volt, innen ment nyugdíjba, de kapcsolatát a tudománnyal élete végéig megtartotta. Együtt élt a szakmával, ismerte annak szinte minden friss mozzanatát. Rendszeres látogatója volt a KFKI könyvtárának. Mindig talált valami érdekeset, amire nyomban felhívta mások figyelmét is. Éva tudományos közvetítő szerepet játszott, afféle – barokkos szóval élve – szakmai venticsellő volt, aki önzetlenül juttatta el a tudományos híreket nagyon sok ismerőse, kollégája, pályatársa számára. Tette ezt nagy betegen telefonon keresztül is évekig a lakásához, az ágyhoz kötve.

Rendkívüli nyelvtudással rendelkező, nagy műveltségű, jó képességű és szakmailag nagyon tájékozott szakember volt. Mindig szolgálatban lévő segítőtársa volt szűkebb és távolabbi környezetének.

Nagyon sokunknak – a régi jó barátoknak, a pályatársaknak, a munkatársaknak, a kedves ismerősöknek – hiányozni fog érdekes, közvetlen és mindig nyitott személyisége. E sorok írója személy szerint is tisztelettel adózik Éva emlékének, aki soha nem mulasztotta el, hogy – a tudományos hírek átadása mellett – gyermekeimről is érdeklődjön.

Sírjánál egyházi búcsúztatója így jellemezte: „Csak élt, csak élt, csak élt.”

Most már csak emlékezetünkben...

*Riedel Miklós*

Az emlékezés adatait szolgáltatták: *Ádám János, Andrási Andor, Barna Péter, Fehér István, Gergely György, Grománé Nagy Judit, Turiné Frank Zsuzsa.*

Szerkesztőség: 1121 Budapest, Konkoly Thege Miklós út 29–33., 31. épület, II. emelet, 315. szoba, Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Telefon/fax: (1) 201-8682

A Társulat Internet honlapja <http://www.elft.hu>, e-postacíme: [mail.elft@gmail.com](mailto:mail.elft@gmail.com)

Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős: Szatmáry Zoltán főszerkesztő.

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

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

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

Megjelenik havonta, egyes szám ára: 800.- Ft + postaköltség.

HU ISSN 0015–3257 (nyomtatott) és HU ISSN 1588–0540 (online)

# LASER World of PHOTONICS

LIGHT APPLIED

TERMELÉKENYSÉG

## A LEGKEDVEZŐBB FÉNYBEN:

LÉZEREK ÉS LÉZERRENDSZEREK

## A GYÁRTÁSBAN

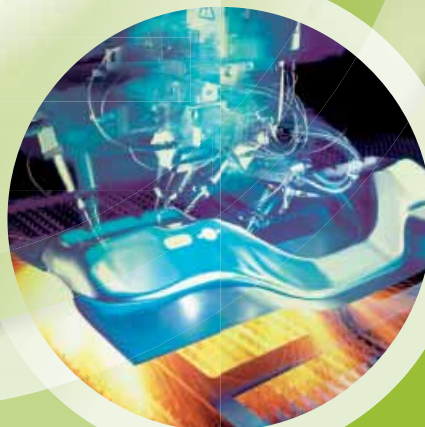
A **LASER World of PHOTONICS**, mint a lézerek és lézerrendszerek gyártásának Nr. 1 világvására, a piac összes fontos szereplőjét egy helyre tömöríti. A kutatás és az ipar összekapcsolásával biztosítja, hogy a gyártás során jó termelékenységgel, új, piacképes, kiváló minőségű termékek készüljenek. A napi üzletmenet számára konkrét megoldásokat nyújt. Innováció és trend? Itt mutatják be elsőként. Gyakorlati felhasználás? Itt megtekintheti a szektororientált alkalmazási módokat. Használja ki az online-regisztráció előnyeit a [www.world-of-photonics.net](http://www.world-of-photonics.net) honlapon!

**Információ: Promo Kft.**

1015 Budapest, Széna tér 1/a. Tel.: 224-7764  
messe-munchen@promo.hu

EBBEN AZ ÉVBEN MÁJUSBAN!

2011. MÁJUS 23–26.



[www.world-of-photonics.net](http://www.world-of-photonics.net)

ÚJ MÜNCHENI  
VÁSÁR

