

# fizikai szemle



2013/6

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

Főszerkesztő:

Szatmáry Zoltán

Szerkesztőbizottság:

Bencze Gyula, Czitrovszky 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:

A Föld, lásd Völgyesi Lajos írását.  
(©NASA és EVASION, Eric Bruneton)

## TARTALOM

<i>Egri Ádám, Blabó Miklós, Horváth Gábor, Barta András, Antoni Györgyi, Kriska György:</i> Hogyan fogható napelemmel bögöly? – II. rész	181
<i>Völgyesi Lajos:</i> A Föld nutációs mozgása	187
<i>Serényi Miklós, Csik Attila:</i> Hidrogéntartalmú amorf szilícium/germánium multiréteg strukturális stabilitása – I. rész	194
<i>Csillag László:</i> Ötven éves az első magyar lézer	197
Alázatra nevel, ha egy lapon említenek a félistenekkel – <i>Edwin F. Taylorral Bokor Nándor</i> beszélget	200

### VÉLEMÉNYEK

<i>Bencze Gyula:</i> Lesznek-e még marslakók?	204
-----------------------------------------------	-----

### A FIZIKA TANÍTÁSA

<i>Csörgő Tamás:</i> Hogyan csinálhatunk kvarkanyagból Higgs-bozont? – I. rész	205
<i>Riedel Miklós, Ágoston Istvánné, Fekete Pál Péter, Gulácsy Géza:</i> Légnyomás magasságfüggésének mérése a CERN-i tanulmányúton	210

### HÍREK – ESEMÉNYEK

<i>Á. Egri, M. Blabó, G. Horváth, A. Barta, G. Antoni, G. Kriska:</i> How to catch tabanic flies with solar panels – part II	
<i>L. Völgyesi:</i> The nutation movement of the Earth	
<i>M. Serényi, A. Csik:</i> The structural stability of a multilayer system of amorphous silicon/germanium paired elements – part I	
<i>L. Csillag:</i> Half a century ago: the first Hungarian laser	
<i>N. Bokor's</i> interview with <i>Edwin F. Taylor</i> on his famous books	

### OPINIONS

<i>G. Bencze:</i> Will there be any more Hungarian "martians" doing appreciated work in famous laboratories and institutions?	
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

### TEACHING PHYSICS

<i>T. Csörgő:</i> How to "make" a Higgs-boson using quark matter – part I	
<i>M. Riedel, I. Ágoston, P. P. Fekete, G. Gulácsy:</i> Barometric measurements carried out by a group of Hungarian teachers visiting CERN	

### EVENTS

<i>Á. Egri, M. Blabó, G. Horváth, A. Barta, G. Antoni, G. Kriska:</i> Wie fängt man Bremsen mit ebenen Sonnenelementen – Teil II.	
<i>L. Völgyesi:</i> Die Nutationsbewegung der Erde	
<i>M. Serényi, A. Csik:</i> Die strukturelle Stabilität eines Vielplattensystems aus Elementen mit den zwei Schichten amorphes Si und Ge – Teil I.	
<i>L. Csillag:</i> Vor 50 Jahren: Der erste ungarische Laser	
<i>N. Bokor:</i> Interview mit <i>E. F. Taylor</i> über seine berühmten Büchern	

### MEINUNGSÄUSSERUNGEN

<i>G. Bencze:</i> Wird es wieder „Marsbewohner“ geben, die in amerikanischen Instituten und Labors geschätzte Arbeit leisten?	
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

### PHYSIKUNTERRICHT

<i>T. Csörgő:</i> Wie man ein Higgs-Boson aus Quarkmaterial erhält – Teil I.	
<i>M. Riedel, I. Ágoston, P. P. Fekete, G. Gulácsy:</i> Barometrische Messungen einer Gruppe von ungarischen Lehrern auf ihrem Besuch im CERN	

### EREIGNISSE

<i>A. Эгри, М. Благо, Г. Хорват, А. Барта, Д. Антони, Д. Крышка:</i> Как ловить мухи на плоских детекторах солнечного света – часть вторая	
<i>Л. Велдеш:</i> Нутация Земли	
<i>М. Шерени, А. Чик:</i> Стабильность строя многоплитной системы из двойных элементов аморфный Si/Ge – часть первая	
<i>Л. Чиллаг:</i> Первому венгерскому лазеру полвека	
<i>Н. Бокор:</i> Интервью с Э. Ф. Тэйлором о знаменитой его книге	

### ЛИЧНЫЕ МНЕНИЯ

<i>Д. Бенце:</i> Будут ли опять работать «марсиане» в институтах и лабораториях США?	
--------------------------------------------------------------------------------------	--

### ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

<i>Т. Чёржэ:</i> Как «создать» Хиггс-бозон из кварково материала? – часть первая	
<i>М. Ридел, И. Агостон, П. П. Фекете, Г. Гулачи:</i> Барометрические измерения венгерских учителей в CERN	

### ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ

**Fizikai Szemle**  
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:



# Fizikai Szemle

## MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

LXIII. évfolyam

6. szám

2013. június

## HOGYAN FOGHATÓ NAPELEMMEL BÖGÖLY? – II. RÉSZ Fénypolarizációra és fotoelektromosságra épülő új rovarcsapda, avagy alapkutatásból gyakorlati haszon

Egri Ádám, Blahó Miklós, Horváth Gábor  
Környezetoptika Laboratórium, ELTE Biológiai Fizika Tanszék, Budapest  
Barta András  
Estrato Kutató és Fejlesztő Kft., Budapest  
Antoni Györgyi  
ELTE Pályázati és Innovációs Központ, Budapest  
Kriska György  
ELTE Biológiai Intézet, Biológiai Módszertani Csoport, Budapest és  
Duna-kutató Intézet, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Vácrátót

*Cikkünk I. részében egy fénypolarizációs elven működő új napelemes bögölycsapdát és a vele folytatott terepkísérleteinket írtuk le. E II. részben a rovarcsapda terepen igazolt hatékonyságát mutatjuk meg, valamint tárgyaljuk a csapda előnyeit és hátrányait. Képzőképes polarimetriával mértük a csapda csalifelületének polarizációs mintázatait, amelyek magyarázzák a csapdafelület polarotaktikus bögölyökre ható erős optikai vonzásának okait. Írásunkban egy példát adunk arra, miként lesz egy biofizikai alapú kutatási eredményből (a bögölyök polarotaxisának felfedezéséből) konkrét gyakorlati alkalmazás (rovarcsapda).*

### Terepkísérleti eredmények: a napelemes bögölycsapda hatékonysága

A drót adott  $\omega$  szögsebességgel való forgatásához szükséges napelem felületének nagysága a cikkünk I. részében [16] levezetett

$$P = \frac{k \rho a \omega^3 R^4}{4}$$

(5) kifejezés alapján tervezhető meg, ahol  $k$  a drót alaktényezője,  $\rho$  a levegő sűrűsége,  $a$  a drót vastag-

sága,  $\omega$  a drótforgás szögsebessége és  $R$  a drót félhossza. E képletből következik, hogy: (i) Ha a drót a vastagságát például megkétszerezzük, a drót azonos  $\omega$  szögsebességgel való forgatásához kétszeres  $P$  teljesítményre (napelemfelületre) van szükség. (ii) A drót kétszeres  $\omega$  szögsebességgel való forgatásához  $2^3 = 8$ -szoros napelemfelületre van szükség. (iii) Ha a drót hosszát megkétszerezzük, az azonos  $\omega$  szögsebességgel való forgatáshoz  $2^4 = 16$ -szoros napelemfelület kell.

Az 1. kísérletben használt 1. csapda felületének vörös, zöld és kék színtartományban képzőképes polarimetriával mért fénypolarizációs mintázatait a 4. ábra mutatja. A vízszintes csapdafelületről visszavert fény  $d$  polarizációfoka közel 100% volt (a  $d$ -mintázatokon feketével jelölve), mivel a műanyagfelület sima és fekete volt, és a mérés a függőlegeshez képest  $\theta_{\text{Brewster}} = \arctan(n) = 56,3^\circ$  szögben (a vízszinteshez képest  $33,7^\circ$  szögben) történt, ahol  $n = 1,5$  a műanyag törésmutatója. A visszavert fény polarizációiránya a függőlegeshez képest  $\alpha \approx 90^\circ$  volt, ami vízszintes polarizációnak felel meg (a polarizációirány mintázatain világos zöld és kék színárnyalatok jelölik). Az 1. csapda vízszintes, sima, fekete felülete tehát erősen (nagy  $d$ -értékű) és vízszintesen ( $\alpha \approx 90^\circ$ ) poláros fényt vert vissza, ami a polarotaktikus bögölyö-

1. táblázat

**Az 1. kísérletben a bögölyök különféle (T, L, H) reakcióinak  $N_T^{\text{álló}}, N_L^{\text{álló}}, N_H^{\text{forgó}}, N_T^{\text{forgó}}, N_L^{\text{forgó}}$  száma és az 1. csapda drótjának forgása miatt bekövetkező  $Q_{\text{zavarás}} = 1 - (N_H^{\text{forgó}} + N_T^{\text{forgó}} + N_L^{\text{forgó}}) / (N_T^{\text{álló}} + N_L^{\text{álló}})$  zavarás mértéke. T: az 1. csapda vízszintes, sima, fekete felületének érintése. L: a csapdafelszínre történő leszállás (és esetenként mászkálás). H: a csapdafelszínhez közelítő bögöly forgó drót általi lecsapása**

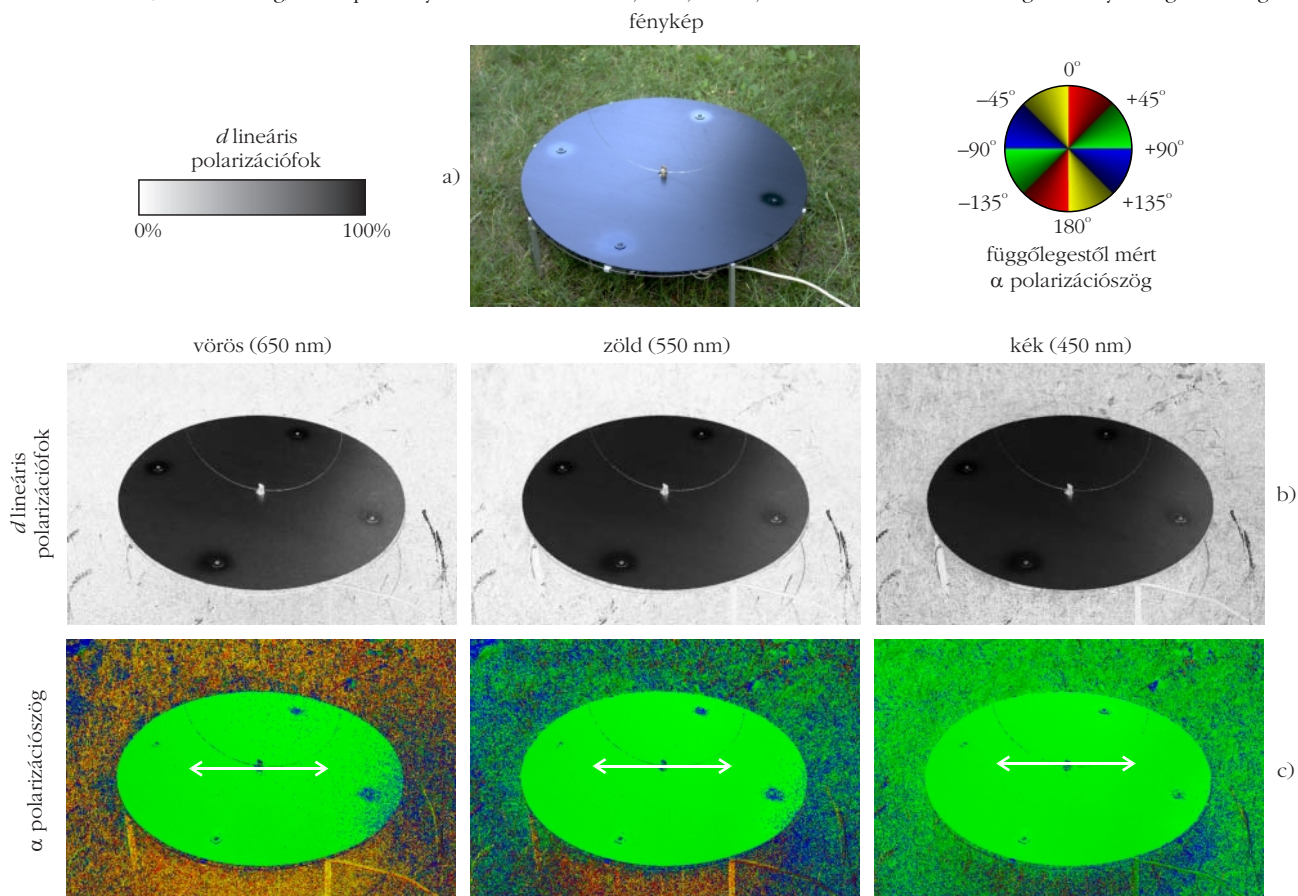
álló drót (idő: 10:00–15:00 = UTC + 2 ó)	forgó drót (10:30–15:30 ó)
2009. július 12., $Q_{\text{zavarás}} = 4,8\%$ 86 T + 60 L	6 T + 3 L + 130 H
2009. július 17., $Q_{\text{zavarás}} = 8,5\%$ 61 T + 45 L	5 T + 2 L + 90 H
2009. július 21., $Q_{\text{zavarás}} = 9,1\%$ 93 T + 39 L	5 T + 4 L + 111 H
2009. július 23., $Q_{\text{zavarás}} = 6,4\%$ 64 T + 46 L	6 T + 4 L + 93 H
2009. július 30., $Q_{\text{zavarás}} = 6,2\%$ 172 T + 149 L	10 T + 3 L + 288 H
összes: 476 T + 339 L $Q_{\text{zavarás}}$ átlaga = 6,7%	összes: 32 T + 16 L + 712 H

ket erősen vonzza. E polarizációs tulajdonságok a fény hullámhosszától lényegében függetlenek voltak, mivel a csapdafelület szintelen (fekete) volt.

Az 1. kísérletben az 1. csapda forgó drótja által elpusztított bögölyök néhány tetemének fényképeit az 5. ábra felső fele mutatja. E fényképekből és a helyszíni megfigyeléseinkből nyilvánvaló, hogy a forgó drót által eltalált bögölyök olyan súlyos sérüléseket szenvedtek, hogy hamarosan elpusztultak. A tetemek elemzéséből kiderült, hogy az 1. csapda a bögölyök mindkét nemét (hímeket és nőstényeket) egyaránt vonzotta és elpusztította. Ez jól mutatja az új technológiánk bögölyirtási hatékonyságát.

Az 1. táblázat alapján az 1. csapda drótjának forgása által távol tartott, elijesztett bögölyök aránya 4,8% és 9,1% között változott, és átlagosan 6,7% volt. Fontos megjegyezni, hogy a drót forgásának  $Q_{\text{zavarás}}$  zavaró hatásának számítását befolyásolta az 1. csapda közelében a levegőben lévő bögölyök számának elkerülhetetlen időbeli változása, mivel a csapdát megközelítő bögölyök számolása álló és forgó drót mellett egymás után történt. Emiatt a forgó drót bögölyzavaró hatásának számított értéke csupán becslés jellegű. A  $Q_{\text{zavarás}}$  zavaró hatás definícióját és képletét (lásd 1. és 2. táblázat szövege) cikkünk I. részének (6) kifejezése adja.

4. ábra. Az 1. kísérletben alkalmazott 1. bögölycsapda fényképe (a), valamint a róla visszaverődő fény  $d$  polarizációfokának (b) és  $\alpha$  polarizációs szögének (c) a spektrum vörös (650 nm), zöld (550 nm) és kék (450 nm) tartományában képalkotó polarimetriával mért mintázatai. A kettősfejű nyílak a vízszintes csalifelszínről visszavert fény vízszintes polarizációját jelzik. A polariméter optikai tengelye  $-34^\circ$ -ot zárt be a vízszintessel (Brewster-szög). A csapda árnyékban lévő vízszintes, sima, fekete, kör alakú felszínét a tiszta égbolt fénye világította meg.





5. ábra. Az 1. és 2. kísérletekben a forgó drót által lecsapott bögölyök tetemeinek fényképei.

Az 1. kísérletből az a következtetés vonható le, hogy (i) az 1. csapda forgó drótjának mozgása és/vagy zaja és/vagy a drót által keltett légmozgás a vízszintes, poláros csapdafelület által odavonzott bögölyök kevesebb, mint 7%-át zavarta el, valamint, hogy (ii) a forgó drót képes volt olyan ütést mérni a bögölyökre, hogy azok elpusztultak. Következésképpen, érdemes volt az 1. csapda egy továbbfejlesztett változatát megépíteni. Így készült el a 2. csapda, amelyben a drótot forgató elektromotort napelem táplálta, aminek vízszintes, sima, fekete felülete a bögölyöket vonzó, vízszintesen fénypolarizáló csalifelületként is működött.

A 2. kísérletben a 2. csapda forgó drótja által elpusztított bögölyök néhány tetemének fényképei az 5. ábra alsó felén láthatók. Ez esetben is az eltalált bögölyök (*Tabanus bovinus*, *T. tergestinus*, *T. quatuornotatus*, *T. bromius*, *T. miki*, *Haematopota pluvialis*, *H. pluvialis*, *Silvius vituli*) olyan súlyos sérüléseket szenvedtek, hogy elpusztultak. A 2. táblázat szerint a 2. kísérletben a 2. csapda forgó drótja által távol tartott, elzavart bögölyök  $Q_{zavarás}$  hányada 4,2% és 7,3% között változott, átlagosan pedig 5,6% volt.

A 2. kísérletből arra következtettünk, hogy (i) a 2. csapda forgó drótjának mozgása és/vagy zaja és/vagy a

2. táblázat

**A 2. kísérletben a bögölyök különféle (T, L, H) reakcióinak  $N_T^{álló}$ ,  $N_L^{álló}$ ,  $N_H^{forgó}$ ,  $N_T^{forgó}$ ,  $N_L^{forgó}$  száma és a 2. csapda drótjának forgása miatt bekövetkező  $Q_{zavarás} = 1 - (N_H^{forgó} + N_T^{forgó} + N_L^{forgó}) / (N_T^{álló} + N_L^{álló})$  zavarás mértéke. T: a 2. csapda vízszintes, sima, fekete felületének érintése. L: a csapdafelületre történő leszállás (és esetenként mászkálás). H: a csapdafelülethez közelítő bögöly forgó drót általi lecsapása**

álló drót (idő: 10:00–15:00 = UTC + 2 ó)	forgó drót (10:30–15:30 ó)
2010. július 11., $Q_{zavarás} = 4,2\%$	
89 T + 53 L	7 T + 5 L + 124 H
2010. július 12., $Q_{zavarás} = 7,3\%$	
70 T + 40 L	6 T + 3 L + 93 H
összes: 159 T + 93 L	összes: 13 T + 8 L + 217 H
$Q_{zavarás}$ átlaga = 5,6%	

drót által keltett szellő a vízszintes, poláros csalifelület által odavonzott bögölyök kevesebb, mint 6%-át zavarta el, valamint, hogy (ii) a forgó drót képes volt olyan ütést mérni a bögölyökre, hogy azok elpusztultak.

Az 2–4. kísérletekben használt 2. csapda vízszintes napelemfelületének, valamint a kiegészítő napelemek vörös, zöld és kék színtartományban képalkotó polarimetriával két különböző irányból mért fénypolarizációs mintázatait a 6. és 7. ábra mutatja. A vízszintes csapdafelületről visszavert fény  $d$  polarizációfoka közel 100% volt, míg polarizációjának iránya vízszintes (a függőlegeshez képest  $\alpha \approx 90^\circ$ ) volt Brewsterszögéből mérve. A 2. csapda vízszintes, sima, fekete napelemfelülete tehát erősen és vízszintesen poláros fényt vert vissza, ami a polarotaktikus bögölyöket nagymértékben vonzotta. Ugyanakkor, a ferde síkú kiegészítő napelem tábla az azimut iránytól függően kevésbé ( $d < 25\%$ ), és nem mindig vízszintesen poláros fényt tükrözött. Ebből következően e kiegészítő napelem a polarotaktikus bögölyök számára nem volt vonzó. E kedvező tulajdonságot tovább erősítette, hogy a kiegészítő napelem tábla kerete világos volt, ami taszította a polarotaktikus rovarokat. E polarizációs tulajdonságok a fény hullámhosszától lényegében függetlenek voltak, mivel a csalifelület fekete (színtelen) volt.

A 3. kísérletben a drót folyamatosan forgott kiegészítő napelem nélkül. A 2. csapda használatával a 3. kísérlet során tapasztalt bögölyviselkedési mintákat és a bögölycsapdázás  $Q_{fogás}$  hatékonyságát a 3. táblázat foglalja össze. A  $Q_{fogás}$  csapdázási hatékonyság definícióját és képletét (lásd: 3. és 4. táblázat szövege) cikkünk I. részének (7) kifejezése adja. Tapasztalataink szerint a 2. csapda teljes napsütésben kiválóan működött: 10:00 és 17:30 óra között (mikor a napmagasság a 3. táblázatban megadott maximum és minimum között változott) a drót a vízszintes napelemfelszínre érintő vagy arra leszállni akaró bögölyök nagy részének elpusztításához elegendően nagy sebességgel folyamatosan forgott. A 2. csapda  $Q_{fogás}$  csapdázási hatékonysága 89,4% és

94,3% között változott, átlagosan pedig 91,5% volt. A csapdázási hatékonyság azért nem volt 100%, mert a forgó drót ellenére néhány bögölynek sikerült a napelemfelszínre értenie vagy arra leszállnia.

A 3. kísérletről arra következtettünk, hogy a 2. csapda teljes napsütésben jól működött, és a vízszintes napelemfelszín által odavonzott bögölyöket 92%-os hatékonysággal csapdázta, ha a napmagasság nem volt kisebb 29°-nál (3. táblázat). Azon bögölyöket, amelyek sérülés nélkül tudták érinteni a napelemfelszín, vagy tudtak leszállni rá és elrepültek, a forgó drót később elpusztíthatta. Megfigyeltük, hogy némelyik bögölyt, amelyeknek sikerült a napelemfelszínre sértetlenül leszállnia, a forgó drót akkor pusztította el, amikor megpróbált elrepülni. Mindezek miatt a 92%-os fogási hatékonyság alsó becslésnek számít.

A 4. kísérletben azt vizsgáltuk, hogy a vízszinteshez képest 45°-ban döntött kiegészítő napelemtábla miként növeli azt az időtartamot, amiben a 2. csapda hatékonyan működik. A 2. csapda használatával a 4. kísérletben tapasztalt bögölyviselkedési mintákat és a bögölycsapdázás  $Q_{fogás}$  hatékonyságát a 4. táblázat

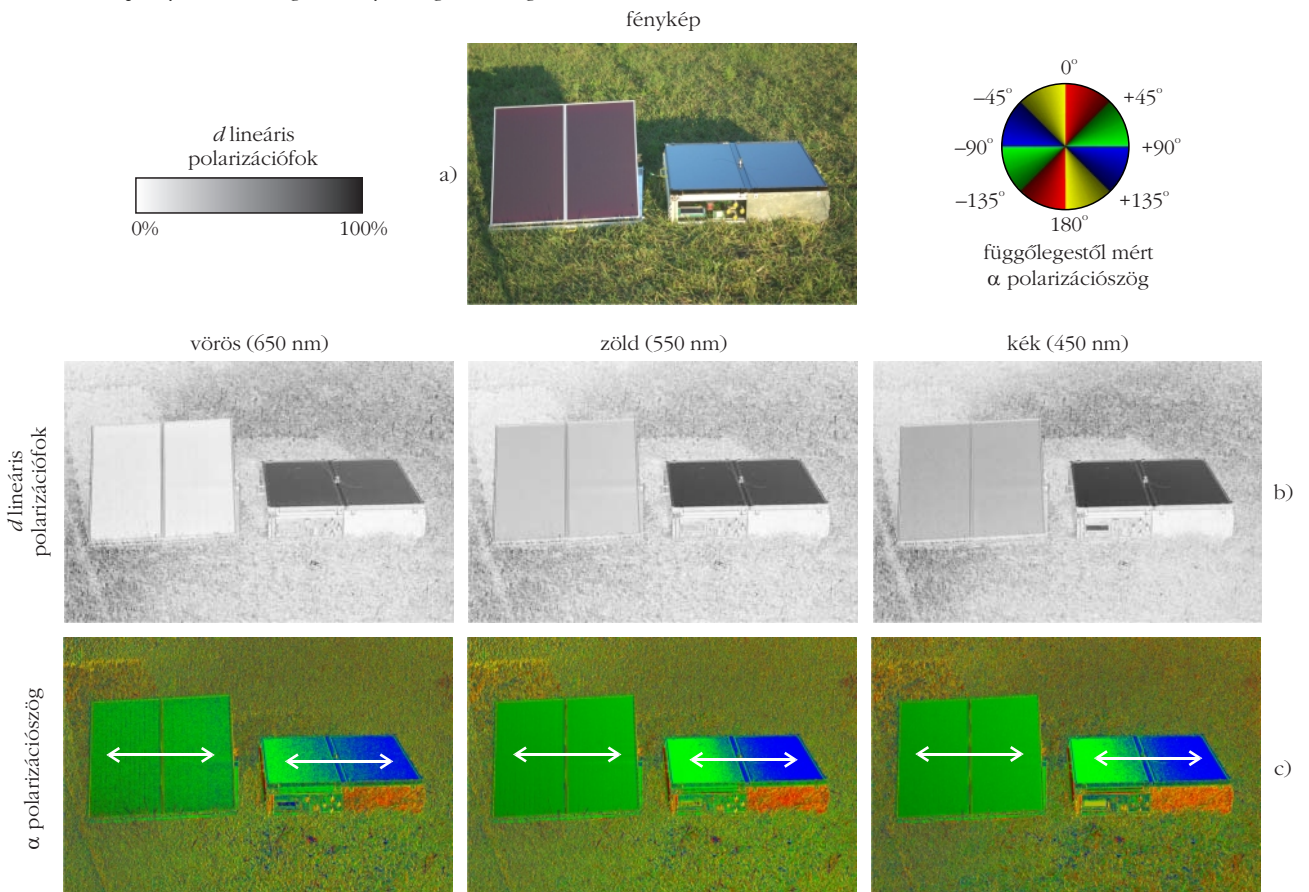
3. táblázat

**A 3. kísérletben a bögölyök különféle (T, L, H) reakcióinak  $N_H^{forgó}$ ,  $N_T^{forgó}$ ,  $N_L^{forgó}$  száma és a 2. csapda  $Q_{fogás} = N_H^{forgó} / (N_H^{forgó} + N_T^{forgó} + N_L^{forgó})$  bögölyfogó hatékonysága, amikor a drót folyamatosan forgott kiegészítő napelem alkalmazása nélkül. T: a 2. csapda vízszintes, síma, fekete felületének érintése. L: a csapdafelzínre történő leszállás (és esetenként mászkálás). H: a csapdafelzínhez közelítő bögöly forgó drót általi lecsapása. A Nap horizont fölötti  $\theta$  elevációs szögeit a <http://ephemeris.com> alapján számítottuk a 3. kísérlet időpontjának és helyszínének földrajzi koordinátái figyelembevételével.**

dátum (2010)	idő (UTC + 2 ó)	$\theta$ (min – max)	bögölyreakciók	$Q_{fogás}$ (%)
július 13.	10:00 – 17:30	29,21° – 63,92°	11 T + 6 L + 143 H	89,4
július 14.	10:00 – 17:30	29,13° – 63,77°	8 T + 7 L + 150 H	90,9
július 15.	10:00 – 17:30	29,04° – 63,61°	9 T + 4 L + 148 H	91,9
július 16.	10:00 – 17:30	28,94° – 63,45°	7 T + 3 L + 164 H	94,3
július 17.	10:00 – 17:30	28,84° – 63,28°	13 T + 3 L + 155 H	90,6
összesen, illetve átlagosan:			48 T + 23 L + 760 H	91,5

tartalmazza. Tapasztalatunk szerint a 2. csapda teljes napsütésben kiválóan működött: 9:00 és 19:00 óra között (mikor a napmagasság a 4. táblázatban megadott maximum és minimum között változott) a drót a vízszintes napelemfelszínre érintő vagy arra leszállni akaró bögölyök nagy részének elpusztításához ele-

6. ábra. Mint a 4. ábra a 2. kísérletben alkalmazott 2. bögölycsapda és a ferde felszínű kiegészítő napelemtáblák esetén. A napelemeket közvetlen napfény és a tiszta égbolt fénye világította meg.



4. táblázat

A 4. kísérletben a bögölyök különféle (T, L, H) reakcióinak  $N_H^{\text{forgó}}$ ,  $N_T^{\text{forgó}}$ ,  $N_L^{\text{forgó}}$  száma és a 2. csapda  $Q_{\text{fogás}} = N_H^{\text{forgó}} / (N_H^{\text{forgó}} + N_T^{\text{forgó}} + N_L^{\text{forgó}})$  bögölyfogó hatékonysága, amikor a drót folyamatosan forgott kiegészítő napelem alkalmazásával. T: a 2. csapda vízszintes, sima, fekete felületének érintése. L: a csapdafelszínre történő leszállás (és esetenként mászkálás). H: a csapdafelszínhez közelítő bögöly forgó drót általi lecsapása. A Nap horizont fölötti  $\theta$  elevációs szögeit a <http://ephemeris.com> alapján számítottuk a 3. kísérlet időpontjának és helyszínének földrajzi koordinátái figyelembevételével.

dátum (2010)	idő (UTC + 2 ó)	$\theta$ (min – max)	bögölyreakciók	$Q_{\text{fogás}}$ (%)
augusztus 2.	09:00 – 19:00	11,49° – 59,84°	10 T + 5 L + 205 H	93,2
augusztus 3.	09:00 – 19:00	11,29° – 59,58°	8 T + 4 L + 198 H	94,3
augusztus 4.	09:00 – 19:00	11,08° – 59,32°	9 T + 3 L + 188 H	94,0
augusztus 5.	09:00 – 19:00	10,87° – 59,05°	7 T + 6 L + 219 H	94,4
augusztus 6.	09:00 – 19:00	10,65° – 58,78°	11 T + 1 L + 215 H	94,7
összesen, illetve átlagosan:			45 T + 19 L + 1025 H	94,1

gendően nagy sebességgel, folyamatosan forgott. A 2. csapda  $Q_{\text{fogás}}$  csapdázási hatékonysága a kiegészítő napelemmel 93,2% és 94,7% között változott 94,1% átlagértékkel.

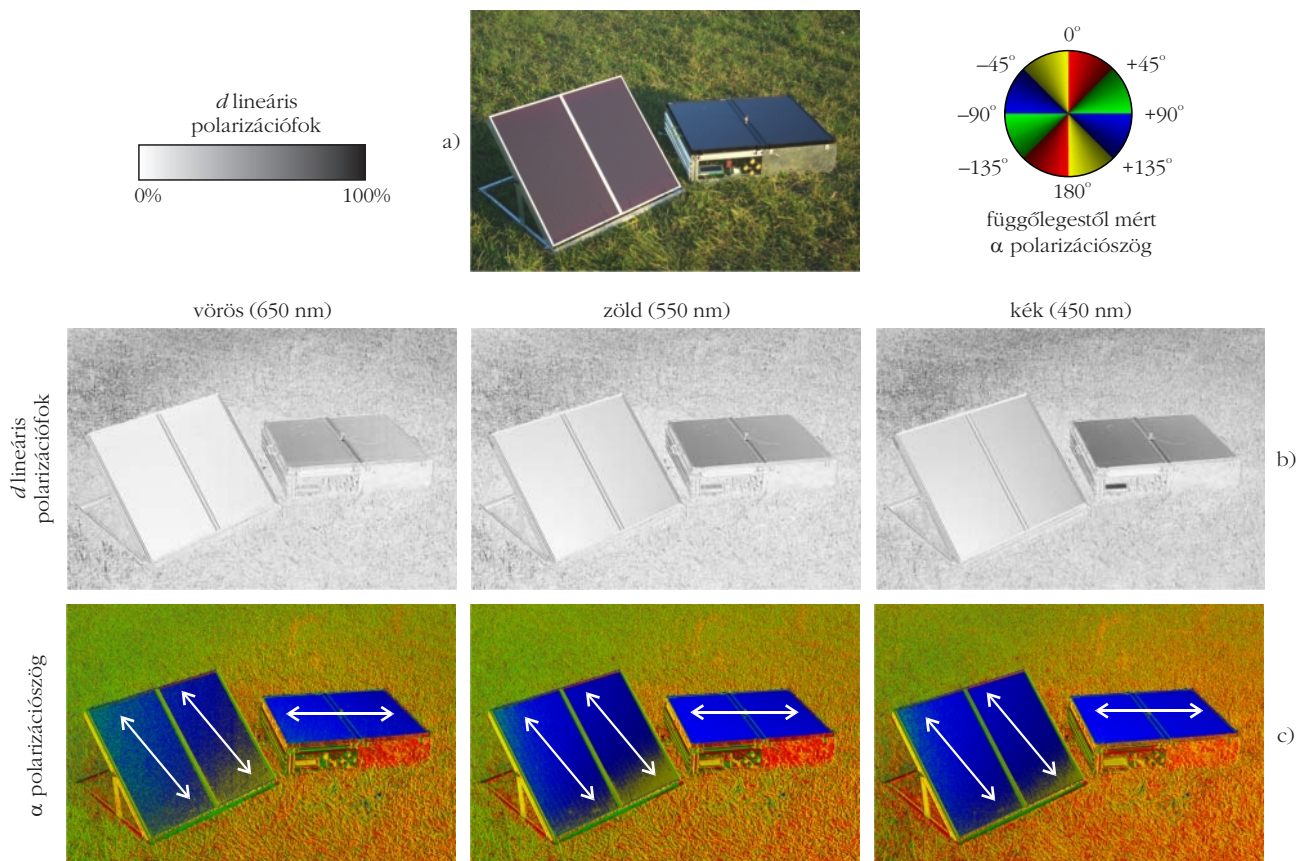
A 4. kísérletből arra következtettünk, hogy a 2. csapda a kiegészítő napelemmel teljes napsütésben jól működött, és a vízszintes napelemfelszín által odavonzott

bögölyöket 94%-os hatékonysággal csapdázta, ha a napmagasság nem volt kisebb 10°-nál (4. táblázat). Ha a kiegészítő napelemet nem forgattuk folyamatosan a Nap felé, akkor a csapdázási hatékonyság lecsökkent. Mivel a bögölyök gyakorisága általában kora délután a legnagyobb, célszerű a kiegészítő napelemet Dél-Dél-Nyugat irányban tájolni az északi féltekén.

## Elemzés: a csapda előnye és hátrányai

Terepkísérleteink során kimutattuk, hogy a vizet kereső, polarotaktikus hím és nőstény bögölyök vonzódnak az erősen és vízszintesen poláros fényt tükröző napelemfelszínhez, ahol elpusztulnak a napelemmel táplált elektromotor által megfelelően nagy szögsebességgel forgatott drót mechanikai ütése által. E terepi tapasztalat az alapja az új bögölycsapdánk koncepciójának, amiben a napelem kettős szereppel bír: (i) a felszínéről tükröződő vízszintesen poláros fény vonzza a vizet kereső polarotaktikus bögölyöket, és (ii) elektromos áramot termel a bögölyöket elpusztító drót forgatásához. Az új csapda napsütésben 92%-os hatékonysággal képes

7. ábra. Mint a 6. ábra, de oldalról nézve.  
fénykép



befogni (lecsapni és elpusztítani) a bögölyöket, ha a Nap elevációs szöge nem kisebb, mint közel  $30^\circ$ . Egy ferde kiegészítő napelemmel e hatékonyság 94%-ra nőhet és a csapdázási időszak is meghosszabbodhat néhány órával, amennyiben a Nap elevációs szöge nem kisebb  $10^\circ$ -nál.

Ha a kiegészítő napelem nem követi a Nap azimutirányát, akkor célszerű déli vagy dél-nyugati irányba fordítani, mert délután – részben a magasabb légkörmérséklet miatt – több bögöly repül, mint délelőtt. Ha a kiegészítő napelem irányultsága állandó, akkor az irányától függően azon időintervallum, amíg a csapda működőképes, néhány órával lerövidülhet ahhoz képest, amikor a kiegészítő napelemtábla követi a Nap mozgását. A kiegészítő napelem nélkül a csapda csak vízszintes napelemet tartalmazza, ezért néhány órával rövidebb ideig képes elpusztítani a bögölyöket, mint a ferde síkú kiegészítő napelemmel ellátott csapda.

Amikor a Napot felhők takarják, vagy a csapda napelemfelszínére a környező fák vagy épületek árnyéka vetül, a napelem kevesebb áramot termel, ami nem képes kellően nagy szögsebességgel forgatni a drótot, amely a napelemfelszínre érintő vagy az arra leszálló bögölyöket hivatott elpusztítani. Eképpen az új bögölycsapda hatékony működésének egyik előfeltétele, hogy a csapda napelemfelszíne teljes napsütésnek legyen kitéve. Meg kell jegyeznünk azonban, hogy az égbolt befelhősödése miatt bekövetkező csapdahatékonyság-csökkenés mégsem jelent akkora problémát, ugyanis a bögölyök általában nem repülnek borult időben [17].

Az új típusú bögölycsapdának természetesen vízállónak kell lennie, hogy eső után is működőképes maradjon. A vízmentes szerkezet kialakítása, ha nem is egyszerű, de megoldható problémát jelent a konstrukciónak.

Tapasztalataink szerint a forgó drót rátekeredhet az elektromotor forgástengelyére, ha egy nagyobb rovar, levél vagy faág kerül a csapda vízszintes napelemtáblájára. Ekkor a forgó drót spirálalakban föltekeredik és működésképtelenné válik. Ilyenkor a föltekeredett drótot újra kell cserélni. Emiatt lényeges, hogy az elektromotor forgó tengelyének alumínium feje úgy legyen kialakítva, hogy a drót könnyen cserélhető legyen. Másrészt pedig, ha lehetőség van rá, akkor a csapdát nem célszerű fák alá helyezni.

A napelemes bögölycsapda egyik hátránya, hogy a bögölyökön kívül elvileg magához vonzhat és elpusztíthat más polarotaktikus rovarokat, például vízibogarakat, vízipoloskákat vagy szitakötőket is. Másrésztől viszont fontos megjegyezni, hogy a vízirovarok nagy része tömeges megjelenésű, fajaik közül csak néhány védett. A vízszintes napelem felszíne mindössze  $60 \times 60 \text{ cm}^2$ , ami túl kicsi ahhoz, hogy számottevő mértékben vonzzon magához vízirovarokat. Az egyes vízirovarfajok számára meghatározható a vízfelszín egy minimális, kritikus kiterjedése, amely képes még kiváltani a vízbe való petézésüket és olyan víztesthez tartozik, amiben reális esélye van a lárvák kifejlődésének [18].

A napelemes rovarcsapda másik hátránya a hagyományos bögölycsapdákhoz képesti viszonylagos bonyolultsága. Továbbá, e csapda elektromos és forgó alkatrészei meghibásodhatnak, ára pedig – a napelem és a vízálló elektronika miatt – magasabb a hagyományos csapdákénál.

A napelemes bögölycsapda működése során a forgó drót sérülést okozhat az állatoknak és embernek. Ahhoz, hogy elkerüljük e sérülés lehetőségét, a csapdát célszerű olyan helyre kihelyezni, ahol az állatok és az emberek nem tudják megközelíteni. A problémára megoldást jelenthet az is, ha a csapdát megfelelő módon elkerítjük.

Tapasztalataink szerint mindenképpen előnyös, ha a forgó drót az indítás előtti állapotban enyhén fölfelé hajlik (lásd: *4.a, b ábra*). A forgás során – a centrifugális erő hatására – az eredetileg enyhén fölfelé hajló drót kiegyenesedik. Ha a drót az indítás előtt egyenes lenne, akkor lefelé hajlana a gravitáció miatt, és érintené a napelem felszínét. Ebben az esetben az elektromotor bekapcsolása után a forgó drót külső részei lemaradnának a belsőkhöz képest a drótvég és a napelemfelszín közti súrlódás miatt. Ekkor a drót könnyen rácsavarodhat a motor forgástengelyére. Ugyanezen okból nem lehet a rugalmas fémdrótot helyettesíteni például egy olyan madzaggal, aminek végéhez egy kis súly van rögzítve (ekkor is a súly súrlódás miatti lemaradása a madzag forgástengelyre való föltekeredését okozza).

A napelemes csapda burkolatán érdemes fényki-bocsátó diódákat (LED-eket) elhelyezni, amelyek este és éjszaka már messziről jelzik a csapda helyét, ami lehetőséget ad az állatoknak és az embereknek a csapda elkerülésére. A LED-ek áramellátását egy, a napsütésben a napelemtábla által feltöltött akkumulátor biztosíthatja. Ekkor persze kiegészítő elektronika is szükséges, ami biztosítja, hogy a napelem által termelt elektromosság egy része az akkumulátort töltse.

A rovarok monitorozásához használt ragacs fölhasználásával, vagy a folyadéktálcák alkalmazásával készített bögölycsapdákhoz összehasonlítva az új napelemes bögölycsapda előnye, hogy az elpusztított bögölyök tetemei nem maradnak a bögölyvonzó vízszintes csalifelszínen, mert a forgó drót ütése a csapda környezetébe repíti azokat. Eképpen az új csapda nem vonzza a közelbe és nem pusztítja el a bögölytetemek által odavonzott rovarvő madarakat, mint ez a ragacsos csapdánál esetenként tapasztalható.

Habár az új bögölycsapdának van egy energiaigényes alkotórésze, a drótot forgató elektromotor, ennek működtetéséhez mégsem kell mesterséges energiaforrás, mert a csapdához szükséges elektromos áramot egy napelemtábla termeli.

A napelemes csapda bögölyvonzó-képessége növelhető különböző, bögölyvonzó kémiai anyagok (például ammónia, szén-dioxid, fenolok) alkalmazásával. Egy ilyen szagcsalival kiegészített napelemes csapda terepi kipróbálása a jövő kutatási feladatai közé tartozik.



Végezetül szeretnénk hangsúlyozni, hogy munkánk fő célja az volt, hogy bemutassunk egy olyan új rovarcsapda-konceptiót, aminek alapját a visszaverődéskor bekövetkező fénypolarizáció, egyes rovarok polarotaktikus viselkedése és a fotoelektromos jelenségen alapuló napelemek által termelt elektromosság képezi. Az új csapda bögölyvonzásának és -elpusztításának elve alapvetően eltér a többi létező bögölycsapda működési elveitől. A napelemes bögölycsapda piaci bevezetésének lehetőségét még tanulmányozni kell, ami az egyéb csapdatípusokkal való összehasonlítással együtt a közeljövő feladata. Habár az előnyökön túl az új csapdának kétségtelenül van néhány kevésbé előnyös sajátossága is, a fentiekben bemutattunk egy olyan konceptiót, ami a gyakorlatban is jól működik. Ily módon a napelemes bögölycsapdát érdemesnek tartjuk további tökéletesítésre a működés és megjelenés tekintetében. E csapda működési elve magyar szabadalom által védett (U-11-00276: Rovarölő szerkezet, különösen bögölyökhöz).

## Köszönetnyilvánítás

Kutatásunkat az OTKA (K-68462) és az Európai Unió (EuFP7, TabanOid-232366) pályázatai támogatták. *Horváth Gábor* köszöni a német Alexander von Humboldt Alapítvány műszeradományát. Köszönjük *Viski Csaba* (Szokolya) hozzájárulását, hogy terepkísérleteinket a lovas farmján végezhetjük. Hálásak vagyunk *Fogl Lászlónak* (ELTE Biológiai Fizika Tanszék) az 1. bögölycsapda megépítéséhez nyújtott segítségével. Köszönjük *Hopp Sándornak* (ELTE Fizikai Intézet, Mechanikai Műhely) a bögölycsapdánk fém vázának elkészítését. Köszönjük *Bodrogai Ferenc* és *Horváth László* (Forest Kft., Lábatlan) anyagi támogatását. Kutatási projektünk a TÁMOP 4.2.1/09/1/KMR-2009-0001 számú *Együttműködés, Lehetőség, Tudásbuzosítás, ELTE Kutatási és Technológiatranszfer Szolgáltatások Fejlesztése az ELTE-n* című pályázat támogatásával valósult meg.

## Irodalom

- Blahó M., Egri Á., Horváth G., Barta A., Antoni Gy., Kriska Gy.: Hogyan fogható napelemmel bögöly? I. rész. *Fizikai Szemle* 63 (2013) 145–149.
- Egri, Á.; Blahó, M.; Kriska, G.; Farkas, R.; Gyurkovszky, M.; Ákesson, S.; Horváth, G.: Polarotactic tabanids find striped patterns with brightness and/or polarization modulation least attractive: an advantage of zebra stripes. *Journal of Experimental Biology* 215 (2012) 736–745. + electronic supplement
- Williams, D. D.; Feltmate, B. W.: *Aquatic Insects*. C.A.B. International, Wallingford, Oxford (1992) p. 358.

# A FÖLD NUTÁCIÓS MOZGÁSA

Völgyesi Lajos

BME Általános- és Felsőegodézia Tanszék

Földünk tengely körüli forgása nehezen átlátható, meglehetősen bonyolult folyamat. Az előző [1] cikkben áttekintettük a legfontosabb fizikai alapfogalmakat, a súlyos és az erőmentes pörgettyű precessziós és nutációs mozgását és részletesen foglalkoztunk a Föld precessziós mozgásával. Ebben az írásban a Föld nutációs mozgásával (pólusmozgás, pólusingadozás, pólusvándorlás, szabadnutáció, kényszernutáció jelenségeivel) foglalkozunk.

## Az Euler-egyenletek

Ha forgó merev testre külső erők hatnak, akkor az impulzusnyomaték megváltozása a külső erők  $\mathbf{M}$  forgatónyomatékával egyenlő, így az  $\boldsymbol{\omega}$  szögsebességgel forgó merev test kinetikai egyensúlyának feltétele külső (a testtel nem együttforgó)  $K'(x', y', z')$  inerciarendszerből szemlélve:

$$\frac{d'\mathbf{N}}{dt} = \mathbf{M}. \quad (1)$$

Térjünk át az 1. ábrán látható  $K'(x', y', z')$  inerciarendszerről a merev testtel együtt forgó  $K(x, y, z)$  koordináta-rendszerre. Ha a forgó  $K$  koordináta-rendszeren belül az  $\mathbf{N}$  vektor nem változna, akkor a  $K'$  inerciarendszerből szemlélve az  $\mathbf{N}$  vektor változása csak a forgásból állna:

$$\frac{d'\mathbf{N}}{dt} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{N}. \quad (2)$$

Ha  $\mathbf{N}$  a  $K$  rendszerből szemlélve is változik, akkor:

$$\frac{d'\mathbf{N}}{dt} = \frac{d\mathbf{N}}{dt} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{N}. \quad (3)$$

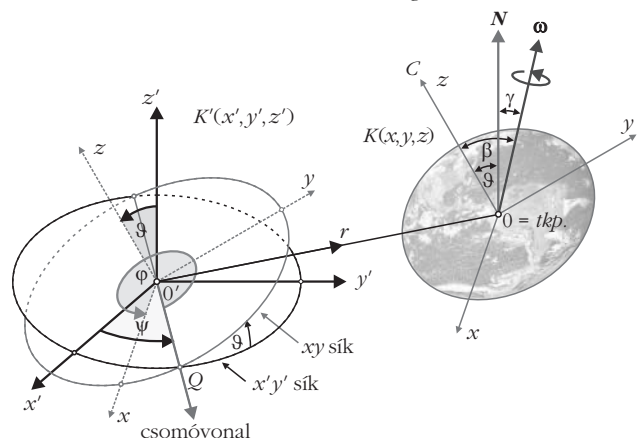
A (3) vektor-transzformációból az (1) felhasználásával:

$$\frac{d\mathbf{N}}{dt} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{N} = \mathbf{M}, \quad (4)$$

ami a merev testtel együtt forgó megfigyelő számára a forgási egyensúly feltétele (az Euler-féle egyenlet vektoralakban).

Kifejtve a (4) összefüggésben szereplő vektoriális szorzatot az  $x, y, z$  koordináta-irányokban az alábbi skaláregyenletekre jutunk:

1. ábra. Koordináták merev testek forgásának leírásához.



$$\begin{aligned}\frac{dN_x}{dt} + \omega_y N_z - \omega_z N_y &= M_x, \\ \frac{dN_y}{dt} + \omega_z N_x - \omega_x N_z &= M_y, \\ \frac{dN_z}{dt} + \omega_x N_y - \omega_y N_x &= M_z.\end{aligned}\quad (5)$$

Ha a  $K$  koordináta-rendszert a test tömegközéppontjában úgy vesszük fel, hogy az  $x, y, z$  tengelye egybeessen a test tehetetlenségi főirányaival, akkor a főátlón kívüli centrifugális nyomatékok zérusok, és a tehetetlenségi nyomaték tenzora

$$I = \begin{bmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & B & 0 \\ 0 & 0 & C \end{bmatrix}\quad (6)$$

formában írható. Ekkor:

$$N_x = A \omega_x, \quad N_y = B \omega_y, \quad N_z = C \omega_z.\quad (7)$$

Behelyettesítve az impulzusnyomaték (7) szerinti összetevőit az (5) egyenletekbe, a merev testek forgását leíró *Euler-féle mozgásegyenleteket* (az úgynevezett pörgettyűegyenleteket) kapjuk, a merev testtel együtt forgó  $K$  koordináta-rendszerben:

$$\begin{aligned}A \frac{d\omega_x}{dt} + (C - B) \omega_y \omega_z &= M_x, \\ B \frac{d\omega_y}{dt} + (A - C) \omega_z \omega_x &= M_y, \\ C \frac{d\omega_z}{dt} + (B - A) \omega_x \omega_y &= M_z.\end{aligned}\quad (8)$$

A (8) Euler-féle pörgettyű egyenletek integrálásával meghatározható a forgó testek mozgása, vagyis az  $\omega$  forgási szögsebességvektor összetevőinek  $\omega_x(t), \omega_y(t), \omega_z(t)$  időbeli változása a testtel együtt forgó koordináta-rendszerben.

További feladat külső szemlélő számára a vizsgált forgó test térbeli helyzetének meghatározása az idő függvényében. Azaz, meg kell adni a merev testtel együtt forgó  $K(x, y, z)$  koordináta-rendszer helyzetét a térben rögzített  $K'(x', y', z')$  inerciarendszerhez viszonyítva.

A  $K$  rendszer  $K'$ -höz viszonyított helyzete leegyszerűbben az 1. ábrán szemléltetett  $\vartheta, \psi, \varphi$  Euler-féle szögekkel adható meg [2, 3]. A testtel együtt forgó  $K$  koordináta-rendszerben az  $\omega$  szögsebességvektor összetevői az Euler-féle szögekkel a

$$\begin{aligned}\omega_x &= \frac{d\psi}{dt} \sin\vartheta \sin\varphi + \frac{d\vartheta}{dt} \cos\varphi, \\ \omega_y &= \frac{d\psi}{dt} \sin\vartheta \cos\varphi - \frac{d\vartheta}{dt} \sin\varphi, \\ \omega_z &= \frac{d\psi}{dt} \cos\vartheta + \frac{d\varphi}{dt}\end{aligned}\quad (9)$$

összefüggésekkel fejezhetők ki [4]. Amennyiben a (8) Euler-féle egyenletekből ismertek az  $\omega_x(t), \omega_y(t), \omega_z(t)$  megoldások, akkor a (9) elsőrendű differenciálegyenletekből meghatározhatók a  $\vartheta(t), \psi(t), \varphi(t)$  Euler-féle szögek időbeli változásai. A  $\vartheta, \psi, \varphi$  szögekre közvetlenül is nyerhető megoldás ha a (9) összefüggéseket a (8) Euler-féle egyenletekbe írjuk. Ekkor három másodrendű differenciálegyenlet adódik, amiből a  $\vartheta, \psi, \varphi$  szögek közvetlenül meghatározhatók.

## A Föld, mint erőmentes szimmetrikus pörgettyű

Amennyiben a (8) Euler-féle egyenleteket erőmentes szimmetrikus pörgettyűnek feltételezett merev Földre alkalmazzuk, az alábbi egyszerűsítő feltevéseket tehetjük:

1. a Föld alakváltozásra képtelen *merev* test, azaz eltekintünk a rugalmasságától,

2.  $M_x = M_y = M_z = 0$ , azaz a Földre semmiféle külső forgatónyomaték nem hat (ez az erőmentes pörgettyű esete),

3.  $A = B$ , vagyis az egyenlítő síkjába eső tehetetlenségi nyomatékok megegyeznek (szimmetrikus pörgettyű esete),

4. a Földhöz rögzített és vele együtt forgó  $K$  koordináta-rendszer kezdőpontja a Föld tömegközéppontjában van ( $0 \equiv tkp.$ ),

5. a forgástengely átmegegyezik a tömegközépponton,

6. a Földhöz rögzített koordináta-rendszer  $z$  tengelyének iránya egybeesik a  $C$  legnagyobb tehetetlenségi nyomaték irányával ( $C > A$ ).

Ezekkel a feltevésekkel a (8) Euler-féle mozgásegyenletek az

$$\begin{aligned}A \frac{d\omega_x}{dt} + (C - A) \omega_y \omega_z &= 0, \\ A \frac{d\omega_y}{dt} + (C - A) \omega_z \omega_x &= 0, \\ C \frac{d\omega_z}{dt} &= 0\end{aligned}\quad (10)$$

alakra egyszerűsödnek.

Mivel  $C \neq 0$ , a harmadik egyenlet megoldása:

$$\omega_z = \omega_{z_0} = \text{állandó},\quad (11)$$

tehát a  $z$  tengely körüli forgás szögsebessége állandó, vagyis az  $\omega$  szögsebességvektor szimmetriatengelyre eső vetülete nem változik. A további megoldásához osszuk el az (10) első két egyenletét  $A$ -val, írjuk be ezekbe a (11) megoldást, és vezessük be a

$$k = \frac{C - A}{A}\quad (12)$$

jelöléssel a *dinamikai lapultság* fogalmát. Ekkor a (10) első két egyenlete:

$$\begin{aligned}\frac{d\omega_x}{dt} + k\omega_y\omega_{z0} &= 0, \\ \frac{d\omega_y}{dt} + k\omega_{z0}\omega_x &= 0.\end{aligned}\quad (13)$$

Differenciáljuk a (13) első egyenletét  $t$  szerint és helyettesítsük be az így keletkező  $d\omega_y/dt$  differenciálhányados kifejezését a (13) második egyenletébe. A rendezés után:

$$\frac{d^2\omega_x}{dt^2} + (k\omega_{z0})^2\omega_x = 0, \quad (14)$$

amely másodrendű differenciálegyenletnek az  $\omega_x = 0$  triviális megoldása mellett az

$$\omega_x = m \cos\left[(k\omega_{z0})t + \tau\right] \quad (15)$$

is megoldása, amelyben  $m$  és  $\tau$  integrálási állandók (a harmonikus rezgőmozgás differenciálegyenletének megoldásához hasonlóan  $m$  a legnagyobb kitérést,  $\tau$  pedig a kezdőfázist jelöli).

Hasonlóképpen kapjuk meg az  $\omega_y$  értékét:

$$\omega_y = m \sin\left[(k\omega_{z0})t + \tau\right]. \quad (16)$$

Legyenek a  $t = 0$  időpontban  $\omega_x = m$  és  $\omega_y = 0$  kezdeti feltételek (vagyis a kezdő időpontnak azt választjuk, amikor az  $\omega$  vektor éppen az  $xz$  síkban fekszik). Ekkor a (15) és a (16) szerint  $\tau = 0$ .

Bevezetve az

$$\alpha = (k\omega_{z0})t \quad (17)$$

jelölést, a (11), (15) és a (16) alapján az  $\omega$  forgási szögsebességvektor összetevői:

$$\omega = \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m \cos\alpha \\ m \sin\alpha \\ \omega_{z0} \end{bmatrix}. \quad (18)$$

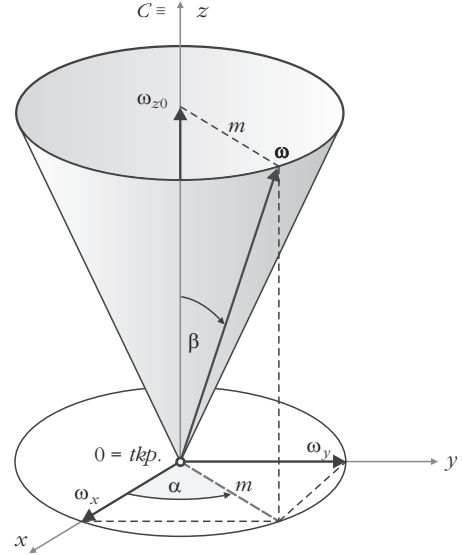
A kapott eredményeket a 2. ábrán szemléltetjük. Eszerint az  $\omega$  vektor összetevőiben szereplő  $\alpha$  nem más, mint a  $z$  koordinátatengely és az  $\omega$  vektor által meghatározott síknak az  $xz$  síkkal bezárt szöge. Mivel az  $\alpha$  a (17) szerint a  $t$  időnek lineáris függvénye, ezért

$$\frac{d\alpha}{dt} = k\omega_{z0} = \frac{C-A}{A}\omega_{z0} = \text{állandó}, \quad (19)$$

tehát az  $\omega$  vektor állandó szögsebességgel járja körül a test tömegéhez rögzített koordináta-rendszer  $z$  tengelyét.

Az  $\omega$  (18) összetevőit megvizsgálva látható, hogy az  $\omega$  vektor végpontja a  $z$  tengely körül a (19) szerint állandó szögsebességgel

$$m = \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2} \quad (20)$$



2. ábra. Nutációs mozgás a Földdel együtt forgó koordináta-rendszerből szemlélve.

sugarú kört ír le, így maga a forgási szögsebességvektor, vagyis a Föld forgástengelye

$$2\beta = 2 \arctg \frac{m}{\omega_{z0}}. \quad (21)$$

nyílásszögű körkúp palástja mentén mozog a tehetlenségi főteneggellyel azonos  $z$  koordináta-tengely körül.

A Föld forgása tehát nem a  $C$  szimmetriatengely körül (azaz nem a Föld tömegéhez kötött állandó helyzetű  $z$  tengely), hanem mindig a pillanatnyi forgástengely körül történik. A Föld felszínén az  $\omega$  vektor végpontja által leírt kör (a pillanatnyi forgástengely földfelszíni nyomvonala) a merev Föld póluspályája, vagy pollódiума.

Határozzuk meg ezek után a pillanatnyi forgástengely egy teljes körülvándorlásának idejét. Jelölje  $T_E$  azt az időt, amely alatt a forgástengely egyszer körüljárja a  $z$  tengelyt. Ekkor a (17) alapján:

$$k\omega_{z0}T_E = 2\pi, \quad (22)$$

amiből:

$$T_E = \frac{2\pi}{\frac{C-A}{A}\omega_{z0}}. \quad (23)$$

Mivel a forgás jó közelítéssel a  $z$  tengely körül történik, ezért  $\omega_{z0} \approx |\omega|$ , azaz

$$\frac{2\pi}{\omega_{z0}} \approx \frac{2\pi}{\omega} = 1 \text{ csillagnap} = \quad (24)$$

$$= 0,9973 \text{ szoláris nap},$$

tehát:

$$T_E \approx \frac{A}{C-A}. \quad (25)$$

Csillagászati megfigyelések szerint:

$$\frac{A}{C-A} = 0,003295, \quad (26)$$

így tehát

$$T_E \approx 303 \text{ nap.} \quad (27)$$

Mivel a mozgásegyenletek fenti levezetése *Eulertől* származik, a forgástengely állandó szögsebességű körbevándorlásának 303 napos periódusát *Euler-féle periódusnak* (gyakran Euler-féle *szabadnutációs periódusnak*) nevezzük. Az elnevezésben a „szabad” jelző arra utal, hogy a jelenség külső erőhatásoktól teljesen független és a kialakult mozgás periódusidejét kizárólag a merev test (esetünkben a Föld) tömegeloszlása (lapultsága) határozza meg.

Mind ezekből az következik, hogy ha valamely merev test tengelykörüli forgása nem a  $C$  fő tehetetlenségi nyomaték tengelye körül indult meg, akkor ez a mozgási állapot megmarad, tehát a forgástengely nem billen vissza olyan állapotba, hogy a fő tehetetlenségi tengellyel egybeesék. Így a pillanatnyi forgástengely állandó szögtávolságra, egyenletes sebességgel járja körül a fő tehetetlenségi tengelyt. Amikor a forgástengely pontosan egybeesik a szimmetriatengellyel ( $\beta = 0$ ), vagy az  $A = B = C$  esetén a mozgás ugyanolyan, mint egy rögzített tengely körüli állandó szögsebességű forgás, azaz nutáció nem lép fel.

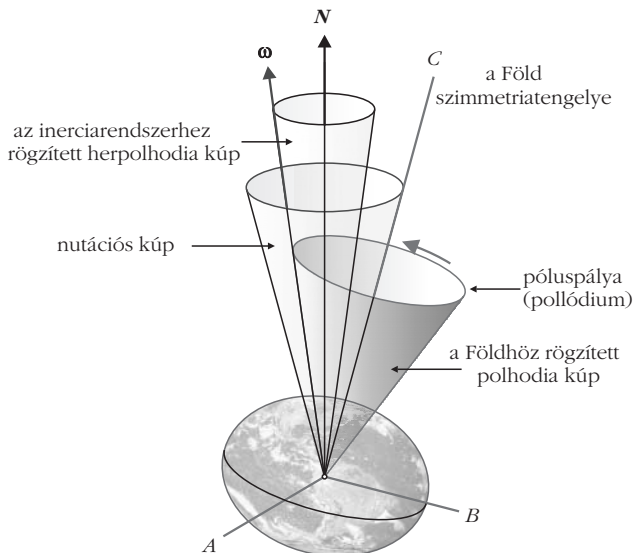
Mind ez, amit eddig tárgyaltunk, a Földdel együtt forgó  $K$  koordináta-rendszerből szemlélve látható. A következő feladat az Euler-szögek meghatározása, ami lehetővé teszi az erőmentes szimmetrikus pörgettyű nutációs mozgásának leírását külső inerciarendszerből szemlélve.

Induljunk ki a (9) differenciálegyenletekből! Ezeknek elegendő egy partikuláris megoldása, mivel az általános megoldásban szereplő három integrációs állandót a  $K'$  koordináta-rendszer szabad választásával automatikusan megadjuk [2]. Vegyük fel a térhez rögzített  $K'$  koordináta-rendszerünk  $z$  tengelyét az *1. ábrán* szemléltetett módon úgy, hogy iránya megegyezzen az (1) miatt a térben állandó helyzetű  $\mathbf{N}$  impulzusnyomaték-vektor irányával, továbbá tételezzük fel, hogy a  $z'$  és a  $z$  irányok közötti  $\vartheta$  szög az időben nem változik, tehát:

$$\vartheta = \vartheta_0 = \text{állandó.} \quad (28)$$

Ekkor behelyettesítve a (9) differenciálegyenletekbe a (11), (15) és a (16) megoldásokat:

$$\begin{aligned} \frac{d\psi}{dt} \sin\vartheta_0 \sin\varphi &= m \cos[(k\omega_{z_0})t + \tau], \\ \frac{d\psi}{dt} \sin\vartheta_0 \cos\varphi &= m \sin[(k\omega_{z_0})t + \tau], \\ \frac{d\psi}{dt} \cos\vartheta_0 + \frac{d\varphi}{dt} &= \omega_{z_0}. \end{aligned} \quad (29)$$



3. ábra. A Föld Euler-féle szabadnutációs mozgása külső inerciarendszerből szemlélve.

Az első két egyenletből a koordináták *1. ábrán* látható értelmezése mellett az alábbi két összefüggés adódik:

$$\frac{d\psi}{dt} \sin\vartheta_0 = m \quad (30)$$

és

$$\varphi = \frac{\pi}{2} - (k\omega_{z_0}t + \tau). \quad (31)$$

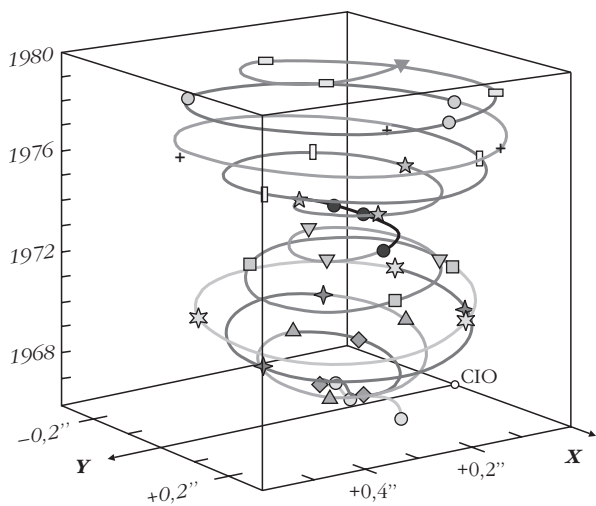
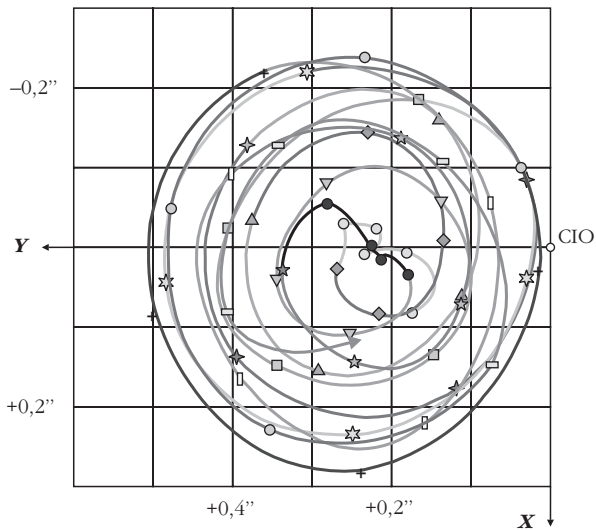
Beírva ezeket a (29) harmadik egyenletébe, kiszámítható a  $\vartheta_0$  értéke:

$$\vartheta_0 = \arctan\left(\frac{m}{\omega_{z_0}} \frac{A}{C}\right). \quad (32)$$

Összefoglalva végül az Euler-szögekre kapott megoldás:

$$\begin{aligned} \vartheta &= \vartheta_0 = \arctan\left(\frac{m}{\omega_{z_0}} \frac{A}{C}\right), \\ \psi &= \psi_0 + \frac{m}{\sin\vartheta_0} t, \\ \varphi &= \varphi_0 - \frac{C-A}{A} \omega_{z_0} t. \end{aligned} \quad (33)$$

A (33) első két összefüggése azt mutatja, hogy külső inerciarendszerből szemlélve az erőmentes pörgettyű  $C$  szimmetriatengelye a térben állandó helyzetű  $\mathbf{N}$  impulzusnyomaték-vektor körül  $2\vartheta_0$  nyílásszögű úgynevezett *nutációs kúp* palástja mentén állandó  $m/\sin\vartheta_0$  szögsebességgel mozog körbe, miközben a harmadik egyenlet szerint ehhez még hozzájön egy további forgás a  $C$  szimmetriatengely körül. Az  $\mathbf{N}$  vektor  $C$  szimmetriatengellyel bezárt  $\vartheta_0$  szögét a (33) első összefüggése, míg a  $C$  szimmetriatengely  $\omega$  pillanatnyi forgástengellyel bezárt  $\beta$  szögét pedig a (21) összefüggés adja. Ebből viszont az  $\omega$  pillanatnyi forgástengely  $\mathbf{N}$  vektorral bezárt  $\gamma$  szöge is meghatározható.



○1967 ◆1968 ▲1969 ◆1970 ☆1971 □1972 ▽1973

●1974 ☆1975 □1976 +1977 ○1978 □1979

4. ábra. A póluspálya 1967–1979 között.

Két alapeset lehetséges: a  $C > A$  esetben  $\gamma = \beta - \vartheta_0$ , míg a  $C < A$  esetben  $\gamma = \vartheta_0 - \beta$ .

Összefoglalva a fentieket: *szabadnutáció* esetén a külső térben rögzített  $K'$  inerciarendszerben mind a Föld forgástengelyének, mind a Föld  $C$  szimmetriatengelyének iránya folyamatosan változik, csupán az  $N$  impulzusnyomaték-tengely iránya változatlan, az impulzusnyomaték-megmaradási törvény értelmében. A mozgást legegyszerűbben a 3. ábra alapján érthetjük meg – ami egyébként az erőmentes pörgettyű szabadnutációs mozgását mutatja a külső térben rögzített inerciarendszertől szemlélve. A Föld pillanatnyi forgástengelye ( $C > A$  esetén) a kisebb nyílásszögű, úgynevezett *herpolhodia kúp* palástja mentén, a  $C$  szimmetriatengely (a Föld tehetetlenségi főiránya) pedig a nagyobb nyílásszögű úgynevezett *nutációs kúp* palástja mentén kerüli meg az  $N$  impulzusnyomaték-vektort. Eközben az  $\omega$  vektor az úgynevezett *polhodia kúp* palástja mentén a  $C$  tengely körül is vándorol. A mozgás során az  $\omega$ ,

az  $N$  és a  $C$  mindig egy síkban van, miközben a Föld tömegéhez rögzített helyzetű polhodia kúp és az inerciarendszerben rögzített helyzetű herpolhodia kúp palástja állandóan az  $\omega$  vektor iránya mentén érintkezve csúszásmentesen gördül egymáson.

## A pólusingadozás valódi periódusa

A valódi Föld pillanatnyi forgástengelyének fő tehetetlenségi irányát jól közelítő (megállapodással definiált) tengelyéhez viszonyított (mérésekkel meghatározható) mozgását *pólusingadozásnak* nevezzük. Az eddigi feltevések (például merev és forgásszimmetrikus Föld esete) a valóságban nem érvényesek, ezért a megfigyelt pólusingadozás jelentősen eltér az eddigi megfontolások eredményeitől.

Ha mérésekkel meghatározzuk a valódi póluspályát (a forgástengely mozgásának földfelszíni nyomvonalát) a *pollódiomot*, akkor folyamatosan a 4. ábra felső részén látható görbékhez hasonló képet kapunk. A 4. ábrán az 1967 és 1979 közötti póluspálya látható olyan koordináta-rendszerben, amelynek  $+x$  tengelye a greenwichi kezdőmeridián irányába,  $+y$  tengelye pedig erre merőlegesen, nyugat felé mutat, a kezdőpontja pedig az 1900 és 1905 közötti időtartamra meghatározott közepes pólushely: a CIO (Conventional International Origin). Látható, hogy a pólus valóban periodikus mozgást végez, a pólus elmozdulása körülbelül  $0,5'' \approx 10$  m sugarú körön belül marad, de az amplitúdó nem állandó és a periódus sem egyenlő az Euler-féle 303 napos periódussal, hanem ennél lényegesen hosszabb: 405 és 457 nap között ingadozik – átlagosan mintegy 435 nap.

A pólusmozgás felfedezése utáni években *Chandler* amerikai csillagász kimutatta, hogy a pólusingadozás két domináns periódusból, egy 12 és egy 14 hónapos periódusból tevődik össze. Az utóbbit tiszteletére *Chandler-periódusnak* nevezték el. Néhány hónappal *Chandler* felfedezése után *Newcomb* már elméleti magyarázattal is szolgált: a 14 hónapos összetevő a Föld *szabadnutációja*, míg a 12 hónapos összetevő az úgynevezett *kényszernutáció*, amely az azonos periódusú globális meteorológiai jelenségek (tömegátrendeződések, például légtömegmozgások, hó- és jégtömegek olvadása és újraképződése stb.) következménye.

A 4. ábrán látható, hogy a pólus az óramutató járásával ellentétes irányban többé-kevésbé szabályos spirális pályán mozog. Ezek a spirális pályák körülbelül hat évenként hasonló jellegűek, a két frekvencia összeadódásából kialakuló *lebegés* következtében. Jól látható ez a lebegés a 4. ábra alsó részén, a pólusingadozás 1967 és 1979 közötti időszakra vonatkozó háromdimenziós képén. Ugyancsak ezt szemlélteti az 5. és 6. ábra is, ahol a felső görbe a pólusmozgás  $x$ , illetve  $y$  irányú összetevője, alatta pedig a szétválasztott 14 hónapos, 12 hónapos és a maradék összetevők láthatók. Megállapítható, hogy a szabadnutáció és a kényszernutáció külön-külön is meglehetősen bonyolult folyamat. A *Chandler*-összetevőn például felis-

merhető egy fél évszázad körüli periódus, amely több más földfizikai folyamatban is jelentkezik, pontos okát azonban egyelőre nem ismerjük.

Az átlagosan 427 napos Chandler-periódus és a 303 napos Euler-periódus közötti különbség oka a Föld rugalmas viselkedése. Ha ugyanis a Föld nem merev – mint ahogyan az Euler-féle pörgettyű-egyenletek megoldásakor feltételeztük – akkor a forgástengely elmozdulásának megfelelően a megváltozó centrifugális erő hatására tömege úgy deformálódik, hogy a tehetetlenségi főtengelye közeledik a forgástengelyhez. (Szélső esetben, ha a Föld folyadékszerűen viselkedne, akkor a tehetetlenségi főtengelye teljes mértékben követné a forgástengely elmozdulását – tehát a periódus végtelen nagy lenne, és így pólusingadozásról nem is lehetne beszélni.)

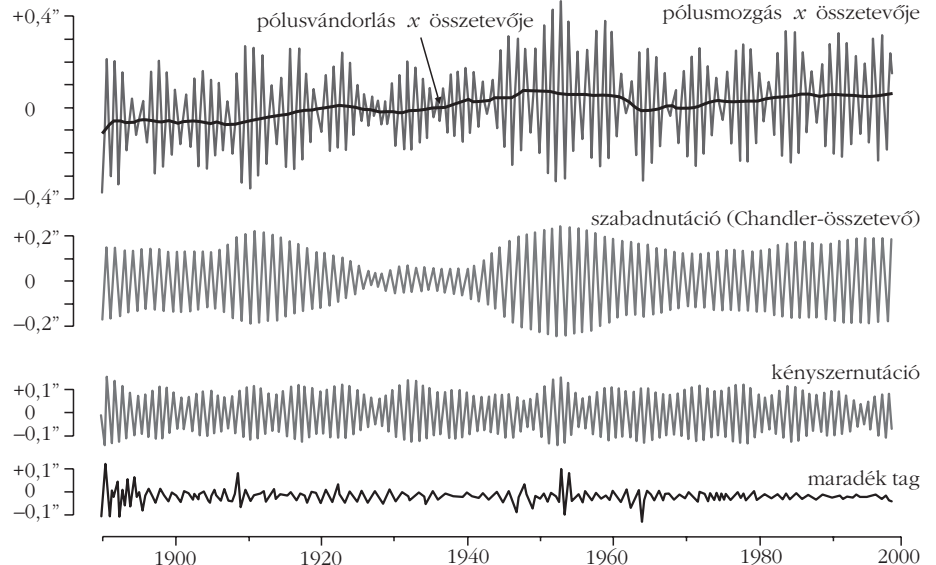
Ennek megfelelően a  $T_E$  Euler-féle, és a  $T_C$  Chandler-periódus hányadosa kapcsolatba hozható a Föld rugalmasságát jellemző Love-féle  $k$  számmal:

$$\frac{T_E}{T_C} = 1 - k \frac{\epsilon}{2f - \epsilon}, \quad (34)$$

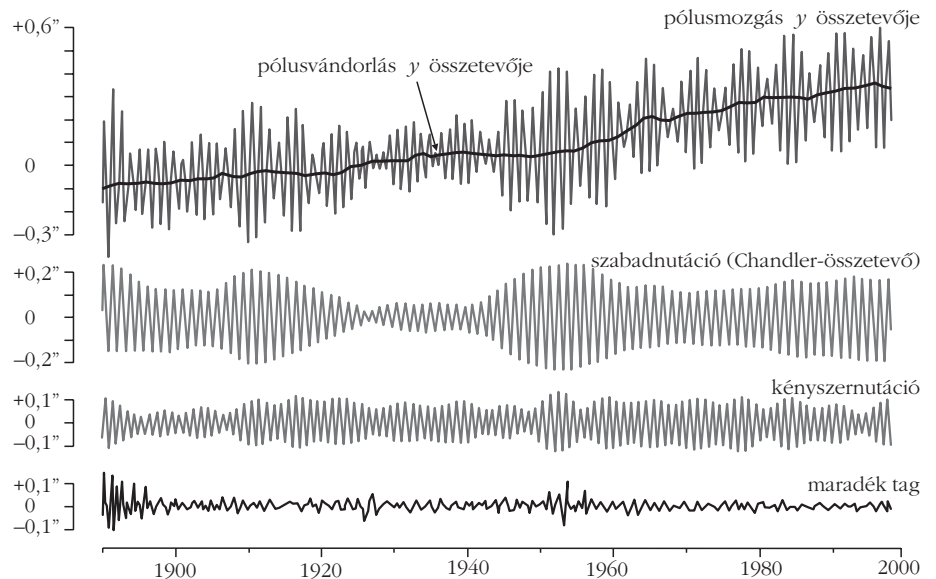
ahol  $f$  a Föld geometriai lapultsága,  $\epsilon$  pedig a centrifugális és a nehézségi gyorsulás egyenlítői értékének hányadosa [5]. Az

1. táblázatban a (34) összefüggés alapján kiszámított, néhány szóba jöhető  $k$  értékhez tartozó Chandler-periódus hosszát tüntettük fel. A táblázatból látható, hogy a szabadnutáció Chandler-periódusa annál hosszabb, minél kevésbé merev a Föld. Az árapályjelenségek megfigyeléséből származó 0,29 és 0,31 közötti  $k$  értéknek 440 és 454 nap közötti periódus felel meg, viszont a pólusmozgás megfigyeléséből a 428–440 nap közötti Chandler-periódus tűnik a legvalószínűbbnek, amihez a táblázat adatai szerint  $k = 0,27\text{--}0,29$  érték tartozik.

1. táblázat								
A Föld rugalmassága és a Chandler-periódus hossza közötti összefüggés								
$k$	0	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32
$T_C$ (nap)	303	421	428	434	440	447	454	461



5. ábra. A pólusmozgás  $x$  összetevője 1890–2000 között.

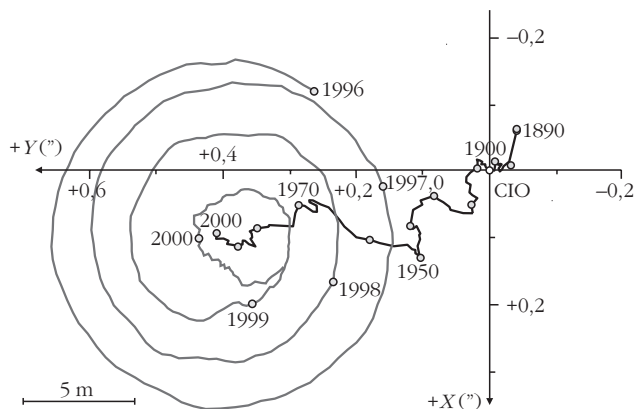


6. ábra. A pólusmozgás  $y$  összetevője 1890–2000 között.

## A pólusvándorlás

Ha meghatározzuk egy-egy teljes periódushoz a 4. ábrán látható póluspályák közepes pólushelyzeteit, akkor azt tapasztaljuk, hogy ezek a közepes pólushelyek az idő függvényében folyamatosan eltolódnak. A jelenséget szekuláris pólusmozgásnak, vagy *pólusvándorlásnak* nevezzük. A 7. ábrán látható, hogy az 1890 és 2000 közötti póluspálya már teljes egészében az 1900 és 1905 között meghatározott CIO középpóluson kívül halad. Az is látható, hogy a közepes pólus 110 év alatt több mint 10 m távolsággal vándorolt el Kanada irányában.

A megfigyelések szerint a pólusvándorlás mértéke viszonylag csekély – évente legfeljebb néhány dm (néhány ezred szögmásodperc) nagyságrendű –, a földtörténeti időskálán azonban ez az elmozdulás jelentős (több  $10^\circ$ ) mértékű is lehet. Ezért a pólusvándorlás problémája a geológia és a geofizika sokat tár-



7. ábra. A pólus vándorlása 1890 és 2000 között.

gyalt kérdése; különösen a paleoklimatológiai és újabban néhány globális tektonikai kérdés megválaszolása szempontjából igen fontos.

## A pólusmozgás geodéziai és csillagászati hatása

Kizárólag a pólusmozgás hatását figyelembe véve az  $\omega$  forgási szögsebességvektor állócsillagokhoz viszonyított helyzetét gyakorlatilag állandónak tekinthetjük. Ekkor viszont állandó az égi egyenlítő síkjának helyzete is, tehát a csillagok saját mozgásától eltekintve, ezek égi egyenlítői (ekvatoriális) koordinátái az időben változatlanok. Ugyanakkor a Föld felszínén fekvő valamennyi pont helyzete (például a pontok szintfelületi földrajzi koordinátái) a forgástengelyhez rögzített geodéziai koordináta-rendszerekben a Föld tömegének a forgástengelyhez viszonyított elmozdulása miatt folyamatosan változik.

## A pólusmozgás oka

A pörgettyűmozgás elmélete szerint a szabad tengely körül forgó merev testek helyzete akkor stabil, ha a forgás megindulásakor a test forgástengelye megegyez-

zik a tehetetlenségi főtengelyével. Ellenkező esetben, vagyis ha a forgás nem a tehetetlenségi főtengely körül indul meg, akkor a forgó test helyzete – erőmentes térben is – állandóan változik, azaz a test szabadnutációs mozgást végez. Így, ha valamely merev bolygó esetében valamikor kialakult a szabadnutációs mozgás, akkor ennek fenntartásához semmiféle mechanizmusra nincs szükség.

Mivel a Föld nem merev test, rá ez a megállapítás nem érvényes. A Föld esetében a minimális mozgási energiájú állapot a tehetetlenségi főtengely körüli forgás. Ettől eltérő helyzetű forgástengely esetén olyan belső tömegátrendeződések lépnek fel, amelyek a két tengely közeledését, illetve egybeesését igyekeznek előidézni. A Chandler-összetevő vizsgálata alapján az a csillapítási idő, amely alatt a mozgás amplitúdója  $e$ -ed részére csökken körülbelül 10–30 év közötti értékre becsülhető [2]. Az ennél jóval hosszabb idejű megfigyelések azt bizonyítják, hogy létezik egy valamilyen gerjesztő folyamatnak, amely a pólusmozgás ismeretlen módon elnyelődő energiáját valamilyen formában pótolja.

A lehetséges disszipációs és gerjesztési folyamatok napjainkban még nagyrészt tisztázatlanok, mivel az eddig felmerült lehetőségek általában más módon nehezen ellenőrizhetők és a számítások igen bonyolultak.

A fentiek szerint nyilvánvaló, hogy *a Föld nutációs mozgásának oka a Föld bonyolult belső tömegeloszlása és a tömegek állandó mozgása, áthelyeződése*. A Földön kívüli tömegek eloszlásának, a különböző égitesteknek a pólusmozgásra semmilyen hatása nincs.

## Irodalom

1. Völgyesi L.: A Föld precessziós mozgása. *Fizikai Szemle* 63 (2013) 152.
2. Völgyesi L.: A pólusmozgás fizikai alapjai. *Geomatikai Közlemények V. Sopron*, (2002) 55.
3. Völgyesi L.: A Föld precessziós mozgásának fizikai alapjai. *Geomatikai Közlemények V. Sopron*, (2002) 75.
4. Landau L. D., Lifšic E. M.: *Elméleti Fizika I.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1974.
5. Völgyesi L.: *Geofizika*. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2002.

## Jobb egy mentőötlet mint öt mentő egylet

– írta Karinthy Frigyes az egyletistápolás margójára.

**Most Társulatunknak lenne szüksége egyletmentő ötletekre!**



**Ezek az ötletek nem vesznek el, ha a <http://forum.elft.hu> linken, az ELFT stratégiai vitafórumán adjuk elő.**



# HIDROGÉNTARTALMÚ AMORF SZILÍCIUM/GERMÁNIUM MULTIRÉTEG STRUKTURÁLIS STABILITÁSA – I. RÉSZ

Serényi Miklós – MTA TTK MFA  
Csík Attila – MTA Atomki, Debrecen

Az anyagtudomány egyik, az utóbbi időben intenzíven kutatott területe a néhány nanométer vastag vékonyrétegek fizikai tulajdonságainak vizsgálata. Bármilyen gyakorlati alkalmazásuk szempontjából alapvető a jó minőségű vékonyrétegek előállítás, de a több hasonló réteget (multiréteget) tartalmazó eszközök hosszú távon kifogástalan működése az összetett szerkezet időbeli stabilitását is megköveteli. A megbízhatóságot alapvetően az anyagban végbemenő diffúziós folyamatok korlátozzák. Jelen írásunkban szeretnénk bemutatni, hogy ezen egyszerű kijelentés mögött egy egész sor, nagy értékű műszeren és berendezésen végzett vizsgálat által feltárt, az eredeti struktúrát megbontó elemi folyamat rejtőzik.

Az amorf anyagok közül az amorf szilícium-germánium (a-SiGe) ötvözet a napelemek számára történő felhasználása kiemelkedően fontos; a Ge-tartalom növelésével a cellák abszorpciós profilja a hosszabb hullámhosszak felé tolható és a hagyományos a-Si napelemeknél nagyobb hatásfok érhető el. Az a-SiGe vékonyrétegek készítésének egyik általánosan elterjedt technológiája a SiGe targetból történő katódporlasztás.<sup>1</sup> A másik lehetőség, hogy 5 nm-nél vékonyabb a-Si és a-Ge rétegekből álló multiréteget (a-Si/Ge) állítanak elő, majd azt hőkezeléssel „összelegyítik”.

Ismeretes, hogy az amorf rétegek számos hibahelet, valamint szabad kötéseket is tartalmaznak, amelyek jelenléte ronthatja azok optikai és elektromos tulajdonságait. Ha a rétegleválasztás során hidrogént építünk az amorf rétegbe, csökkenthetjük a szabad kötések számát és így a leválasztott anyag fizikai paraméterei előnyösen megváltoznak. Az irodalomban főleg a hidrogénezett a-Si (a-Si:H) réteg vizsgálatával kapcsolatosan találunk eredményeket, mivel ez a napelemcellák fő komponense [1]. Ugyanakkor keveset tudunk arról, hogy az a-Si/Ge multirétegben a diffúziós folyamatokat hogyan befolyásolja a hidrogén beépülése, hogyan változik egy ilyen rétegszerkezet termikus stabilitása, élettartama. Összefoglaló jellegű írásunk célja bemutatni a hidrogént tartalmazó a-Si/Ge rendszerek termikus stabilitását és szerkezeti változásait befolyásoló paraméterekkel kapcsolatos kutatási tevékenységünket, amelynek eredménye kulcsfontosságú az eszközök élettartamának előrevetítése szempontjából.

<sup>1</sup> katódporlasztás: a ritkított térben létrehozott önfenntartó kisülés (katódkisülés) során létrejövő pozitív ionok a katódba (*target*) csapódva porlasztják annak felületét; a leporlódott atomok a bevonandó felületre épülnek, a target összetételével azonos kémiai összetételben.

Jelen vizsgálataink előzményének tekinthető az a munka, amelyet a Debreceni Egyetem Szilárdtest Fizikai Tanszékén a hidrogénmentes a-Si/Ge multirétegekkel kapcsolatosan végeztek. A kitűzött vizsgálati cél elsősorban alacsonyszögű röntgendiffrakációs technika alkalmazásával a magnetronos porlasztással előállított sík és éles határátmenetekkel rendelkező Si/Ge multirétegekben hőkezelések hatására történő diffúziós keveredés tanulmányozása volt. A kísérleti eredmények igazolták a korábban kidolgozott nanométeres skálán lejátszódó diffúziós folyamatok leírására szolgáló diszkrét (atomisztikus) modell helyességét [2, 3]. A diffúziós egyútható koncentráció-függésének figyelembevételével igazolható volt a modellszámolások azon eredménye, amely szerint a keveredés során – a folyamat kezdeti szakaszában – a határfelületek elmosódása helyett, azok éles eltolódása figyelhető meg. Az eltolódás oka, hogy a Si-atomok diffúziója nagyságrendekkel gyorsabb a Ge-mátrixban, mint a Ge-atomoké a Si-ban. Ennek következménye, hogy a Ge-atomok a Si-mátrixban csak lassan képesek haladni, míg a határfelület közelében levő Si-atomok gyorsan eloszanak a Ge-ban. Következésképpen, a Si atomi tisztasága megmarad, csupán vékonyodik, míg a Ge egyre inkább feltöltődik Si-atomokkal és SiGe szilárd oldatot alkotva megvastagszik. Az aszimmetrikus diffúziót feltételező modell helyességét kollégáink Auger mélységi profilanalízis segítségével kísérletileg is igazolták [4].

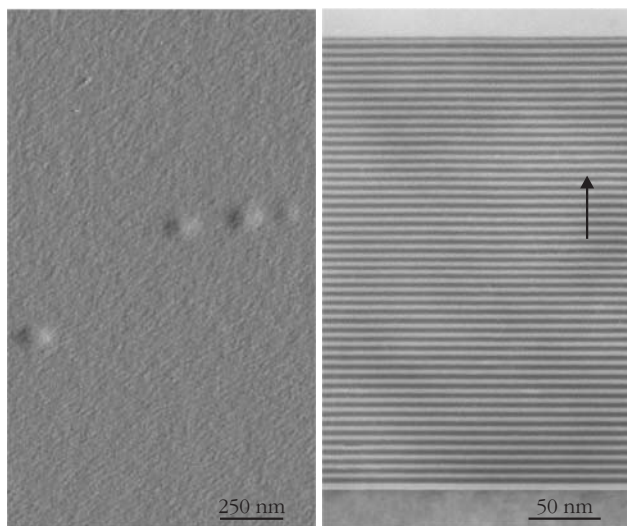
## A hidrogén tartalmú a-Si/Ge:H multirétegek

Az amorf rétegeket a hűtött mintatartóra helyezett polírozott szilícium szubsztrátra Si- és Ge-targetból növesztettük úgy, hogy porlasztáshoz nagy tisztaságú argonból és hidrogénből álló keveréket használtunk, amelynek együttes nyomása 2 Pa volt. Az argon gázt precíziós tűszelepen, a hidrogénadalékot pedig 0,4–6,0 ml/perc sebességgel,<sup>2</sup> digitális áramlásmérővel szabályozott szelepen keresztül juttattuk a vákuumtérbe.

A Si-targeton a 240 W, a Ge-on pedig a 180 W rádiófrekvenciás (RF) teljesítmény 1500 V-os katód feszültséget hozott létre. Mivel a berendezés csupán egy RF forrással rendelkezik, minden egyes réteg növesztése után – az RF generátor teljesítményének visszavétele után – a másik targetra kell átkapcsolni. Így egyszerre csak egy

<sup>2</sup> A plazma gázösszetételének jellemzésére ml/perc-ben adjuk meg a hidrogén beáramlási sebességét. Tájékoztatóul, az adott beáramlás hatására a hidrogén parciális nyomása a teljes nyomás 0,38–6,12 százaléka.



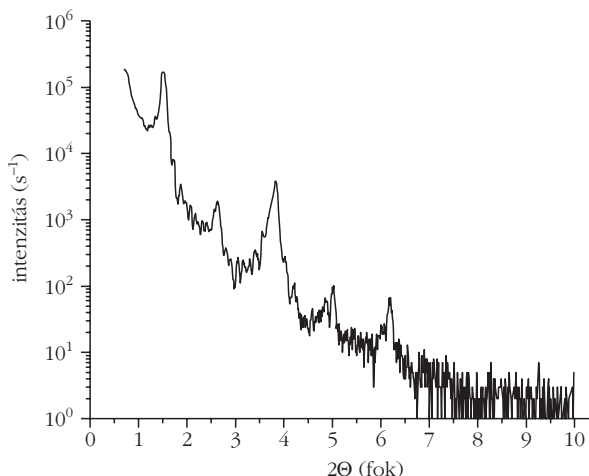


1. ábra. A hőkezeletlen a-Si/Ge:H multirétegek tipikus AFM (RMS = 0,193 nm) és TEM felvételei. A nyíl a minta tetejére mutat, a sötét tartomány a Si-, a világos a Ge-réteg.

target porlad, ezért a két anyag keveredése kizárt. A leválasztott réteg növekedési sebessége a szilícium esetében 6, a germániumnál pedig 13,5 nm/perc volt. Az a-Si/Ge:H rendszer váltakozva 3 nm egyedi rétegvastagságú 50 Ge- és 50 Si-réteget tartalmazott.

Az elkészült minták hőkezelése az MTA Atomki Anyagtudományi Laboratóriumában található hőkezelő kemencében történt, 150–450 °C-os hőmérsékleti tartományban különböző ideig. Az átkristályosodás megelőzése érdekében a kísérleteket alacsony hőmérsékleten (maximum 450 °C) kellett elvégezni, tudomásul véve, hogy ilyen körülmények között a diffúziós folyamatok lefolyása nagyon lassú. A kis diffúziós együtthatók ( $\sim 10^{-27}$  m<sup>2</sup>/s) mérésére multirétegek esetében a már korábban is alkalmazott és az egyik legalkalmasabb módszert, az alacsonyszögű röntgendiffrakciós vizsgálatot alkalmaztuk (Small Angle X-Ray Diffraction, SAXRD). A hőkezelések által létrejövő strukturális változások nyomon követésére atomerő (AFM) és transzmissziós (TEM) mikroszkóp-vizsgálatokat végeztünk a *Cesare Frigeri* által vezetett pármái IMEM labo-

2. ábra. A hőkezeletlen a-Si/Ge multiréteg SAXRD spektruma.



ratóriumban. A TEM energiadisziperzív mikroanalízisre (EDX) is alkalmas, HAADF (High Angle Annular Dark Field) detektorával pedig az atomok tömegszám szerinti szétválasztása végezhető el (a detektor jele a tömegszám négyzetével arányos).

A kísérletek során előállított, hőkezeletlen, 100 rétegből álló a-Si/Ge:H szerkezetek tipikus atomerő mikroszkópos (AFM) és TEM felvételeit az 1. ábrán mutatjuk be. Az AFM felvételen a felületi érdességet jellemző négyzetes középérték, az RMS = 0,193 nm a felvételt kiértékelő szoftver tanúsága szerint. Azokon a mintákon, amelyek nem tartalmaztak hidrogént, a különböző, tetszőleges idejű hőkezelések után (maximum 350 °C) gyakorlatilag az 1. ábrával azonos TEM felvételek készültek. Megállapítható, hogy az éles, sima határátmenetekkel rendelkező szerkezetet egyenletesen vastag rétegek alkotják. A minta felülete sima, a rétegszerkezet nem hullámos, amit az alacsonyszögű röntgendiffrakció is alátámaszt. Amorf rétegek esetén igen ritkán kapunk ötödrendű Bragg-csúcsig mérhető spektrumot (2. ábra), ami a rétegszerkezet kiváló minőségére utal.

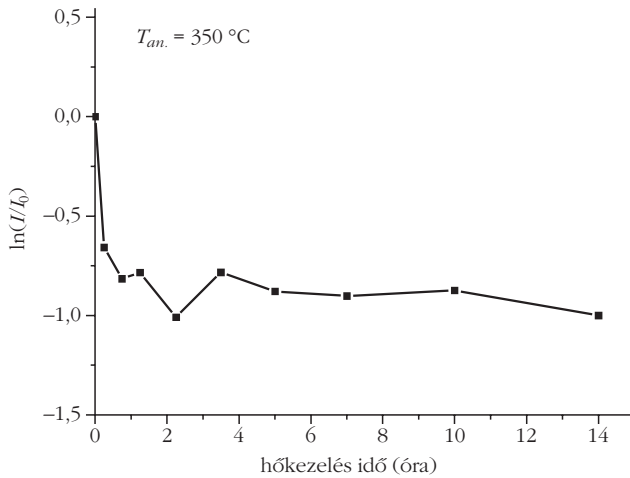
A spektrum Bragg-csúcsainak intenzitása közvetve függ a határfelületek élességétől, és ez alkalmassá teszi a multirétegekben végbemenő diffúziós folyamatok vizsgálatára. Ha a multirétegen belüli éles határfelületeket a diffúziós folyamat elmossa, akkor a kezdetben meglévő nagy elektronsűrűség-különbség csökken; ami a csúcsok intenzitáscsökkenését eredményezi. Tehát a spektrum csúcsainak intenzitását a hőkezelés ideje alatt nyomon követhetjük, következtetni lehet a multirétegekben végbemenő diffúziós folyamatokra. Az elsőrendű Bragg-reflexió intenzitása ( $I$ ) és a kölcsönös diffúziós együttható ( $D$ ) kapcsolatát – feltéve, hogy a  $D$  független a koncentrációtól – a következő összefüggés írja le [3]:

$$\frac{d}{dt} \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = -\frac{8\pi^2}{\lambda} D,$$

ahol  $\lambda$  a multiréteg modulációs hossza (egy Si- és egy Ge-réteg együttes vastagsága),  $I_0$  a mintán mért intenzitás a hőkezelés előtt.

Elsőként a hidrogén nélkül porlasztott multirétegek elsőrendű Bragg-csúcsa intenzitásváltozását vizsgáltuk meg. A vizsgálat 350 °C-on, közvetlenül (*in situ*) a 10 órás hőkezelés közben történt. Ezen idő alatt az elsőrendű csúcs intenzitásváltozásának logaritmusát ábrázolva lényegében nem tapasztalunk változást, azaz a hőkezelés ideje alatt a rétegek között diffúziós keveredés nem történt. Az egymást követő, alacsonyszögű röntgendiffrakciós spektrumokban (itt nem bemutatott) is csak annyi változást látni, hogy a hőkezelés végén az ötödik csúcs eltűnik, amit a szerkezet hőkezelés alatti relaxációjának tulajdoníthatunk.

Ezzel szemben, a hidrogénnel porlasztott minták hasonló hőmérsékleten történt hőkezelése során, az  $\ln(I/I_0)$  – idő görbéken lényeges változás figyelhető meg. A 3. ábrán jól látható, hogy az első két hőkezelés alatt az elsőrendű Bragg-csúcs intenzitása jelentő-

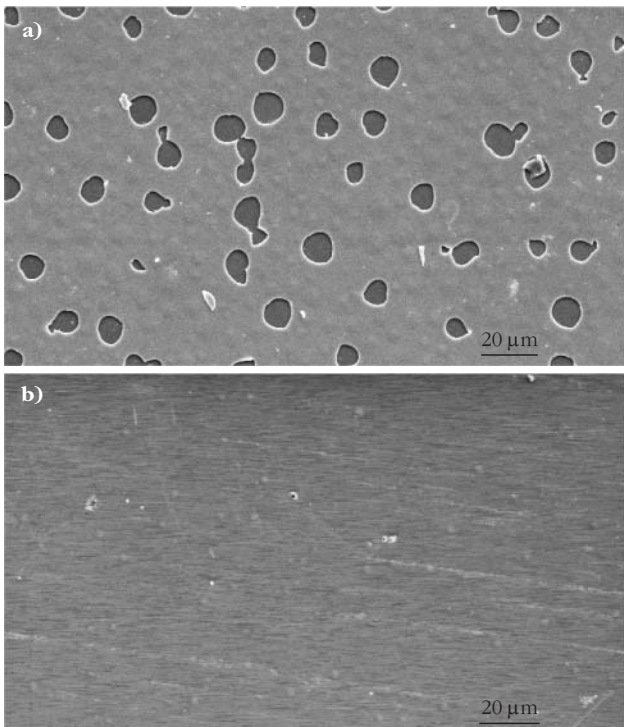


3. ábra. 350 °C-on hőkezelt a-Si/Ge:H multirétegekben az elsőrendű röntgendiffrakciós csúcs időbeni változása. H<sub>2</sub> = 6 ml/perc.

sen csökken. Mivel ezen a hőmérsékleten a nem hidrogénezett mintákban diffúziós keveredést nem tapasztaltunk, az intenzitáscsökkenés a hidrogén jelenlétével hozható kapcsolatba. Feltételezésünk szerint a hőkezelés első órája során megindul a mintába beépült hidrogén egy részének „kiszökése”, ami a határfelületek kis mértékű elmosódását és így a diffrakciós csúcs intenzitásváltozását eredményezi.

A magasabb hőmérsékletű (450 °C) hőkezelések után a minták eredeti sima felülete láthatóan feldurvult, így a további kísérletek előtt alaposabb mikroszkópos vizsgálatokra volt szükség. Azok a minták, amelyek a magasabb, 3 és 6 ml/perc hidrogéntartalom mellett készültek ezen a hőmérsékleten felszakadoztak, felületükön buborékok alakultak ki (4.a ábra). Ez a degra-

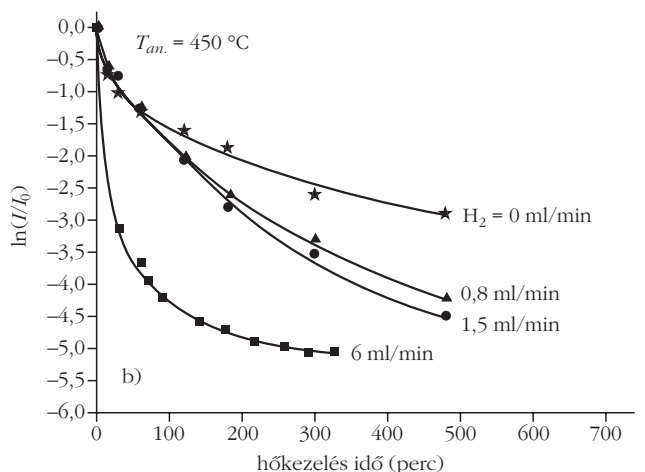
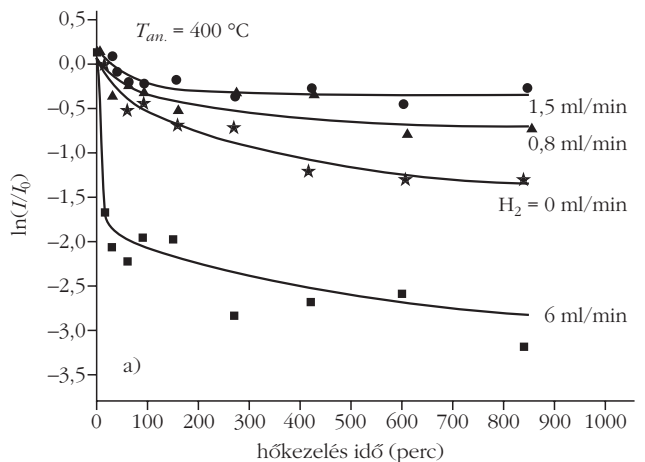
4. ábra. 6 ml/perc (a) és 1,5 ml/perc (b) hidrogént tartalmazó minta SEM képe 8 órás 450 °C-os hőkezelés után.



dáció gyakorlatilag már a 250–450 °C-os hőkezelés első 5 perce után bekövetkezett. A további hőkezelés során ehhez képest jelentősebb változás nem figyelhető meg. Az alacsonyabb 0,8–1,5 ml/perc hidrogént tartalmazó mintáknál a SEM felvételek alapján megállapítottuk, hogy a buborékképződés csak a legmagasabb, a 450 °C-os hőkezelés hatására következik be. 400 °C-on a minta felülete, a kismértékű buborékképződéstől eltekintve, sokáig sima marad (egyes mintáknál 5–6 órás hőkezelés után is), a réteg felszakadozása egyáltalán nem volt megfigyelhető (4.b ábra).

A magas H-tartalom, vagy a magas hőkezelési hőmérséklet hatására a multiréteg hidrogéntartalma felszabadul; a felület felhólyagosodik, buborékok alakulnak ki. Ezek a buborékok a további, intenzív növekedésük során „felrobbannak”, helyükön piciny kráterek keletkeznek. Meglepő, hogy a felület degradációja ellenére, a hőkezelés közben elvégezett *in-situ* SAXRD mérések (5. ábra), valamint a hőkezelés után készített TEM felvételek azt mutatják, hogy a minta „épen maradt része” megőrzi réteges szerkezetét! Mivel a minta felületének sérülése a röntgendiffrakciós mérések során jelentős bizonytalanságot eredményez, a diffúziós kinetikára vonatkozóan számszerű következtetéseket levonni nem tudunk; viszont az  $\ln(I/I_0)$  görbék lefutása kvalitatív módon összehasonlítható.

5. ábra. a) 400 °C és b) 450 °C-on hőkezelt a-Si/Ge:H multirétegekben az elsőrendű röntgendiffrakciós csúcs időbeni változása.



A 5. ábrán bemutatott röntgendiffrakciós eredményeket vizsgálva azt mondhatjuk, hogy a hidrogén távozása a mintából a felületi degradáción túl, befolyással van a diffúziós keveredésre is. A 400 °C-os hőkezeléseknél mért  $\ln(I/I_0)$  görbék meredekebb esése a multiréteg gyorsabb degradálódására utal (vesd össze 3. ábrával), míg az alacsonyabb hidrogéntartalmú mintáknál ( $H_2 = 0,8; 1,5$  ml/perc) ez a degradáció lassabbnak adódik, sőt azt is mondhatjuk, hogy a hidrogénmentes ( $H_2 = 0$ ) mintánál is lassabb. Ugyanakkor a 450 °C-on végzett hőkezelés esetén mért diffrakciós görbék lefutási jellege arra is utal, hogy a rétegszerkezet degradálódása valamennyi hidrogéntartalmú mintánál felgyorsul.

A hidrogén beépülése jelentősen csökkenti a belső feszültségből adódó szabad kötések (*dangling bond*) számát. Feltételezhetjük tehát, hogy a hidrogén, amíg a mintában van, passzíváló hatása miatt lassítja a diffúziót, de távozásával (450 °C) a több szabad kötés és szerkezeti hiba miatt a hidrogénezett minták termikus stabilitása gyengébb lesz a hidrogénmentes mintákéhoz képest. Az alacsony hidrogéntartalmú minták 400 °C-on végzett hőkezelése során felvett  $\ln(I/I_0)$  görbék tekintve megállapíthatjuk, hogy a hidrogén jelenléte, a Si/Ge multirétegekben a felszakadt kötések szá-

mának csökkentése révén, lassítja a két anyag diffúziós keveredését. Az 1,5 ml/perc adalékolásnál nagyobb H-koncentráció egyben minőségi változást is jelent: az oldott, rácsközi (*intersticiális*) hidrogénfelesleg diffúziója során bontja a gyenge Si-Si kötések, így a multiréteg degradációja felgyorsul. Magasabb hőmérsékleten a szabad gyökök és a felszakadt kötések számának növekedésével megnyílnak a diffúziós utak, ezzel a két anyag keveredése jelentősen megnő.

A röntgendiffrakciós vizsgálatok néhány, az eredeti Si/Ge struktúrát megváltoztató fizikai folyamat részletére világítottak rá. Adósak maradtunk egy sokakat izgató kérdés megválaszolásával, ami azzal függ össze, hogy a porlasztási folyamat során a hidrogén beáramlási sebessége ésszerű határok között tetszőlegesen választható. A minták első látásra azonosnak tűnnek, de mennyi hidrogént sikerült ténylegesen a multirétegbe beépíteni?

#### Irodalom

1. J. Kanicki: *Optoelectronic devices*. Artech, London, 1991.
2. Csik A.: Multirétegek mint speciális nanostruktúrák. *Fizikai Szemle* 53 (2003) 207.
3. Beke D., Erdélyi Z., Langer G.: Keveredés nanoskálán. *Fizikai Szemle* 66 (2006) 258; <http://www.wold.kfki.hu/fszemle/archivum/fsz0608/FizSzem-200608.pdf>

## ÖTVEN ÉVES AZ ELSŐ MAGYAR LÉZER

Csillag László  
KFKI

Maiman [1] 1960 augusztusában adta hírül a *Nature* folyóiratban az első, 694 nm-es vörös fényimpulzusokat sugárzó rubin lézer<sup>1</sup> sikeres megvalósítását, *Javan, Bennett és Herriott* [2] 1961. februárban a *Physical Review Letters*ben közölte a folytonos üzemű, 1,15 µm infravörös hullámhosszon sugárzó hélium-neon gázlézer elkészítését.

A mi számunkra 1963. december 6-a lett jelentős dátum, e napon kezdett működni hazánkban az első hazai lézer: az utóbbihoz hasonló infravörös fényű, folytonos üzemű He-Ne gázlézer.

Az első lépést kétségtelenül *Marx György* tette meg, amikor 1961 nyarán felkért arra, hogy sürgősen fordítsam le magyarra *A. L. Schawlow* cikkét az optikai maserekről, amely a *Scientific American* 1961. júniusi számában jelent meg. Ezt a cikket a *Fizikai Szemle* 1961. szeptemberi számában már le is közölte

[3]. A nagyszerűen megírt cikk szinte minden fontosat leírt a lézerek működéséről és alkalmazási lehetőségeiről (szerzője később Nobel-díjat kapott lézerspektroszkópiai munkásságáért), ma is érdemes elolvasni.

További előrelépést jelentett, hogy a Központi Fizikai Kutató Intézet (KFKI) két kutatócsoportja – egyik az optikai spektroszkópia, másik a fizikai optika területén dolgozott – élénken érdeklődni kezdett a téma iránt. Az előbbi csoport korábban *Mátrai Tibor* vezetése alatt komoly tapasztalatokat szerzett az atom- és molekulaszpektrumok kísérleti és elméleti vizsgálatában, az utóbbi *Jánossy Lajos*nak a fény természetével kapcsolatos kutatásaihoz kapcsolódó kísérleti munkákat végezte *Náray Zsolt* vezetése alatt, jelentős optikai mérés-technikai és elméleti felkészültséggel és eszközparkkal. A lézerek működésének elvi alapjairól, a lézertípusokról és ezek alkalmazási lehetőségeiről *Bakos József* kollégámmal előadást tartottunk az Eötvös Loránd Fizikai Társulatban 1963. május 13-án és 20-án; mindkét előadás még abban az évben megjelent a *Fizikai Szemlé*ben [4, 5].

Az előtanulmányok alapján világossá vált, hogy mindkét lézertípus elkészítésére megvannak a tudományos feltételek. A rubin lézernél a mechanikai alkatrészeket és a tápegységet a KFKI-ban el tudják készíteni, de megfelelő rubinkristályt és hozzá való tükröket, vala-

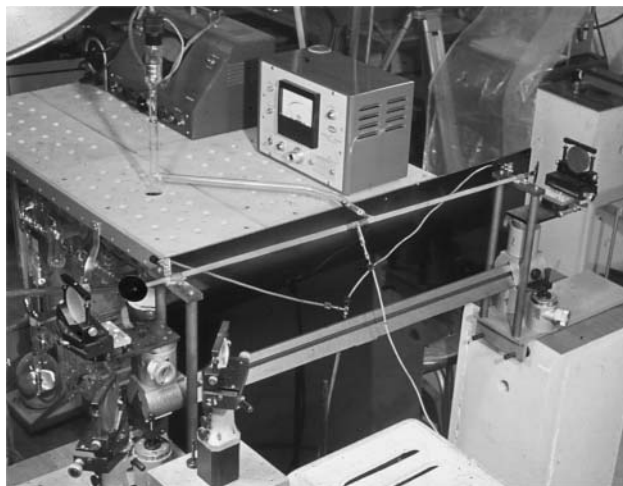
<sup>1</sup> Kezdetben az optikai maser elnevezést használták utalva arra, hogy a mikrohullámok tartományában sugárzó, az 1954-ben felfedezett maser elve alapján, de az optikai tartományban működő eszközről van szó. (A MASER betűszót a Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation kifejezés szavainak első betűiből alkották.) Később a nemzetközi irodalomban általánossá vált a LASER betűszó, ahol a első betű a „light”-ra utal. Hazánkban kezdetben a laser, lázer, lézer szavakat egyaránt használták, de később a lézer elnevezés vált általánossá – bár vannak, akik ma is ragaszkodnak a laser írásmódhoz.

mint speciális villanócsöveket külföldről kell beszerezni. Az 1964. év folyamán sikerült mindent összehozni és el is készült ez a lézer – *Farkas Győző*, *Náray Zsolt* és *Varga Péter* közreműködésével.

A He-Ne infravörös gázlézernél könnyebb volt a helyzet. Amikor igazgatóhelyettesünk, *Náray Zsolt* 1963. november elején ez ügyben megbeszélésre összehívta a kutatókat, az időközben megjelent publikációk ismeretében kiderült, hogy 2-3 hét alatt elkészíthetünk egy, az eredetnél egyszerűbb konstrukciójú lézert.

Javan, Bennett és Herriott lézerenél a nagy frekvenciával gerjesztett gázkisülési cső két végéhez közvetlenül csatlakozott a két igen finoman beállítható síktükör, amelyek dielektrikumréteg-rendszer bevonata ~98,9% reflexiójú volt. Az egyik tükrön áthaladó kis teljesítményhányadot detektálták. A mi megoldásunknál az ugyancsak nagy frekvenciával gerjesztett ömlesztett kvarc kisülési csövet *Rigrod* [6] nyomán sík kvarcüvegablakokkal zártuk le. Az egyik ablak a rezonátortengelyhez képest a Brewster-szögben (~57°), a másik 45°-ban állt. A Brewster-szögnél a beesési síkban rezgő fénykomponens veszteség nélkül halad át az ablakon, míg az erre merőleges komponens a két üvegfelületen jelentős reflexiók veszteséget szenved, aminek eredményeként a kialakuló lézersugárzás lineárisan polarizált. A 45°-os ablaknál a két üvegfelületen a rezonátorban levő sugárzás körülbelül 1%-a merőlegesen kicsatolódt. Erre azért volt szükség, mert dielektrikum-réteg tükrök helyett mi frissen párolgatott ezüst tükröket használtunk; ezek reflexiója a közeli infravörösben körülbelül 98% volt, de gyakorlatilag semmit nem engedtek át. További egyszerűsítést jelentett, hogy síktükrük helyett mi homorú tükröket alkalmaztunk. *Boyd* és *Gordon* [7] ugyanis kimutatta, hogy a szférikus tükrös rezonátorok elhajlási veszteségei – különösen a konfokális közeli elrendezésben – sokkal kisebbek, mint síktükrös rezonátoroknál, és a beállítási érzékenységük is nagyságrendekkel kisebb. A feladatokat következőképpen osztottuk fel: *Bakos József* az ezüst tükrök elkészítését, *Varga Péter* az infravörös lézersugár detektálásával kapcsolatos teendőket vállalta, *Kántor Károly* a laboratórium meglévő elemeiből megszerkesztette a tükrök finom állítóit, és kidolgozott egy ügyes, távcsöves módszert a lézertükrök pontos szembeállítására a lézercső közepén áthaladó optikai tengely mentén. Az én feladatomban volt a gázkisülési cső elkészítése és – megfelelő vákuumtechnikai előkészítés után – az optimális gázkeverékkel való megtöltése, a nagyfrekvenciás gerjesztés megoldása. Ehhez rendelkezésünkre állt egy komplett gáztöltő és vákuumrendszer a megfelelő mérőberendezésekkel, továbbá egy 30 MHz-es, 0–200 W között változtatható teljesítményű generátor. A kisülés gerjesztéséhez három külső elektródát alkalmaztunk.

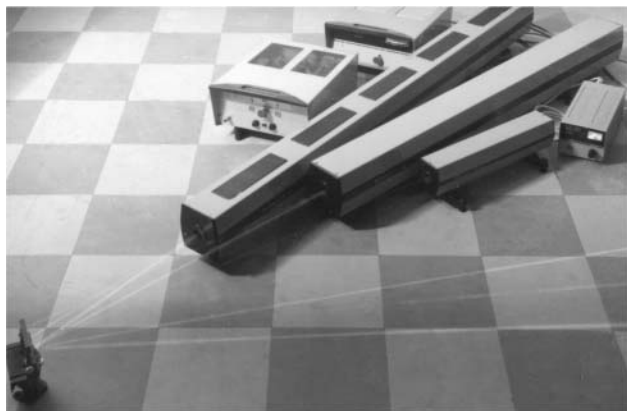
Az 1. ábra már működés közben mutatja a megvalósított rendszer fényképét [8]. Az egész lézer egy beton lábakon álló optikai padra van szerelve. A kép közepén látható gázkisülési cső (vörös) fénye a gerjesztett



1. ábra. A KFKI első laboratóriumi infravörös He-Ne lézere.

gázkeverék spontán sugárzásából származik. A 100 cm hosszú, 7 mm belső átmérőjű ömlesztett kvarcüvegcső végein felismerhetők a 3 mm vastag, kemény piceinnel ragasztott kvarcablakok (ez adja a fekete színt), a jobb oldali ablak hajlásszöge 56° 30', a baloldali hajlásszöge 45°. Ezen csatlózik ki az infravörös – és ezért sajnos nem látható – lézersugárzás. Az előzőleg 10<sup>-9</sup> bar vákuumba leszívott cső töltete: spektrálisan tiszta hélium és neon gáz 7:1 arányú keveréke, nyomása 1,3 mbar. A két egyforma,  $f = 50$  cm fókuszú homorú tükrök az optikai padon egymástól 120 cm-re áll, pontosan szemben, a cső tengelyére illeszkedve. Bevonatuk frissen párolgatott ezüst, reflexiójuk körülbelül 98%. Az ezüst tükrök használata miatt a lézer nemcsak 1,15  $\mu\text{m}$ , hanem 2,39  $\mu\text{m}$  és 3,39  $\mu\text{m}$  hullámhosszakon is működik. A képen jól láthatók a tükröbeállító mechanikai elemek, a háttérben a vákuum- és gáztöltő rendszer, tetején a mérőműszerekkel.

Érdekes volt az indulás. December 6-án délelőttre – kipróbálva, beállítva – minden készen állt. Mind a négyen némi izgalommal vártuk a teljes rendszer első próbáját. Ez igen megrendítő volt, ugyanis semmi sem történt! Előzetesen – a hátsó tükrök letakarásával – a gerjesztett kisülési cső végén kilépő spontán fényt (ez a bal tükrőről visszaverődve a 45°-os végablakon csatlózik ki) lencsével egy 1,15  $\mu\text{m}$ -re beállított monokromátor belépő részére képeztük le. A detektor jelét egy igen érzékeny regisztráló galvanométer mutatta. Ez világosan jelezte a neon 1,15  $\mu\text{m}$ -es gyenge színképvonalának meglétét. Ezután kitakartuk a hátsó tükröt: semmi változás! Nincs lézerműködés? Mielőtt nagyon kétségbe estünk volna, *Kántor Károly* kollégánk éppen csak hozzányúlt a lencse oldalirányú állító csavarjához – és a galvanométer egyszerűen elszállt! Ez legalább hat nagyságrend intenzitásnövekedést jelzett a spontán vonalhoz képest! A lézer tehát rendben működött – utóbb megmértük a kilépő teljesítményt, ami a várakozásnak megfelelően körülbelül 2,5 mW-nak adódott. A kezdeti beállítási hiba pedig egyszerűen a lézernyaláb nagyfokú párhuzamosságából adódott. A körülbelül 10 szögperc széttartású nyalábot ugyanis a lencse 0,1 mm-nél kisebb foltocskára



2. ábra. A KFKI-ban kidolgozott 633 nm-es (vörös színű) He-Ne lézercsalád.

fókuszálta és ezt a foltocskát a spontán fény körülbelül 1 mm-es foltja alapján nem lehetett pontosan a belépő részre állítani.

Ezután már le mertük hívni a laboratóriumba *Jánossy Lajos* igazgatónkat, aki igen nagy érdeklődéssel nézte meg a lézert. Leginkább az „üvegteszt” tetszett neki. Ez a következő volt: ha egy sík üveglemezt a rezonátoron kívül a nyaláb útjába tettünk, a lemez két felületén fellépő reflexiók következtében a detektor – a várakozásnak megfelelően – körülbelül 8% intenzitáscsökkenést mutatott. Ha ugyanezt a üveglemezt a lézer rezonátorába, például az egyik tükör és a kisülési cső közé tettük, a jel 0-ra lement, vagyis a lézer leállt. A magyarázat egyszerű: az ablak okozta körülbelül 8% veszteség nagyobb volt, mint a gázkisülési cső fényerősítő képessége (a tükör és a kicsatoló ablak veszteségeit is figyelembe véve). *Jánossy* professzor jó párszor saját kezűleg is megismételte ezt az egyszerű kísérletet.

Az elkövetkező napokban sok vendégünk volt a laboratóriumban. Ezek közül csak egyet említek, *Novobátszky Károlyt*, az ELTE Elméleti Fizikai Tanszéke neves professzorát. Ő akkor már igen idős volt, mégis, amikor híre ment lézerünk beindulásának, Marx György útján jelezte, hogy szeretné megnézni a lézert. Kollégájával együtt hamarosan megjelent laboratóriumunkban. Részletesen elmagyaráztatta a lézer működését. Bemutattuk az „üveglemeztesztet”, ami láthatóan igen tetszett neki. „Nagyon érdekes, kérem, nagyon érdekes” – mondta az idős professzor elismerően.

Ezen első demonstratív lézert egy évtizedes intenzív kutató-fejlesztő munka követte. 1964-ben megszületett a vákuumrendszertől független, egyenárammal gerjesztett lézercső, elkészültek az első kiváló, nagy reflexiójú dielektrikum tükrök, 1965 tavaszán pedig laboratóriumunkban működni kezdett a – *White* és *Rigden* [9] által még 1962-ben felfedezett – 633 nm-es vörös He-Ne lézer. Ezt a kísérleti példányt – *Jánossy* Lajos kérésére – az ELFT 1965-ös tavaszi pedagógustovábbképzése keretében a tanároknak is bemutattuk, néhány demonstrációs kísérlettel: a nagy előadóterem falain végigfutó körülbelül 10 mW-os vörös lézersugár, amelynek útja – a porrézecsckéken való

szóródás révén – a levegőben is látható volt, valamint a fényelhajlási és interferencia-kísérletek nagy tetszést arattak, mert megmutatták a lézer adta lehetőségeket az optika oktatásában. 1967 nyarán elkészült az első komplett hordozható lézer, amit a fizikustársadalom az ELFT soproni vándorgyűlésén láthatott. *Jánossy Mibály* kollégánk holográfiáról tartott előadásában ezzel a lézerrel demonstrálta az – általa korábban ugyanezen lézerrel készített – első hazai hologramok rekonstrukcióját. Itt szeretnék megemlékezni e lézer megalkotásában közreműködőkről: *Majorosi Antal* üvegtechnikus (lézercső), *Rózsa Károly* (elektróda és ablakrögzítés), *Bakos József* és *Szigeti János* (tükrök), *Tóth József* (rezonátormechanika, csőtöltés, lézerbeállítás), *Ádám Ferenc* (tápegység).

Ezen az úton továbbhaladva arra törekedtünk, hogy reprodukálható, optimális paraméterekkel rendelkező (teljesítmény, stabilitás, élettartam, divergencia és nyalábminőség) He-Ne lézercsaládot alakítsunk ki. Embargós, illetve devizanehezéségek miatt ugyanis igen sokan (főként egyetemek, kutatóintézetek, klinikák) szerettek volna tőlünk ilyen lézert szerezni. A 2. ábrán bemutatjuk az 1971–73 években kifejlesztett és több példányban elkészített három lézertípust (5–25–50 mW lézerteljesítmény). Az 5 mW-os lézer bizonyult a legnépszerűbbnek: 100 db készült belőle. E kis méretű lézereket (40 cm rezonátorhossz) főként optikai rendszerek beállításánál és az optikai mérés technikában alkalmazták. A nagyobb méretű, illetve teljesítményű típusokat (25 mW-nál 120 cm, 50 mW-nál 150 cm rezonátorhossz) a holográfiában és az orvosi alkalmazásoknál (sebgyógyítás) használták: a 25 mW-os lézerekből 29 db, az 50 mW-os lézerekből 7 darab készült.

E lézercsaláddal kapcsolatban szeretném kiemelni két technikus kollégánk tevékenységét: *Tóth József* tervezte és nagyrészt ő is készítette el a lézerek mechanikáját, *Forgács Judit* gondoskodott a lézercsövek vákuumtechnikai előkészítéséről és gázkeverékkel való megtöltéséről. Ők ketten végezték el a lézerek végső beállítását és ellenőrzését, továbbá – több mint három évtizeden keresztül – az esetleg szükséges javításokat, felújításokat is.

Az utolsó két évtizedben a He-Ne lézerek szerepét fokozatosan átvették az egyszerűen kezelhető, olcsó, hosszú élettartamú, ugyancsak vörös fényű félvezető lézerek. De még ma is He-Ne lézereket használnak ott, ahol fontos a jó fókuszálhatóság, illetve a kis spektrális sávszélesség.

Természetesen a He-Ne lézerek kutatása és a hozzá kapcsolódó fejlesztések, amelyeket az előzőkben vázoltam, a KFKI-ban folytatott kutatásoknak<sup>2</sup> csak egy kis szegmensét jelentik. De úgy gondolom, hogy ezek a munkák érdemben segítették a hazai optikai kutatások és alkalmazások előrehaladását mind a mi intézetünkben, mind az ország többi kutatóhelyein.

<sup>2</sup> A KFKI-ban, majd ennek átalakulása után egyik utódintézetben, az MTA Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézetben (SZFKI) végzett optikai alap- és alkalmazott kutatásokról néhány éve részletes beszámoló jelent meg a *Magyar Tudomány*ban [10].

## Irodalom

1. Maiman, T. H.: Stimulated optical radiation in ruby. *Nature* 187 (8. Aug. 1960), 493–494.
2. Javan, A., Bennett, W. R. Jr., Herriott, D. H.: Population inversion and continuous optical maser oscillation in a gas discharge containing He-Ne mixture. *Phys. Rev. Lett.* 6 (1. Febr. 1961) 106–110.
3. Schawlow, A. L.: Optikai maserek. *Fizikai Szemle* 11 (1961. szept.) 263–270, (*Scientific American*, June 1961)
4. Bakos J., Csillag L.: A lézer. *Fizikai Szemle* 13 (1963. okt.) 304–311.
5. Bakos J., Csillag L.: Lézer-típusok és alkalmazásai. *Fizikai Szemle* 13 (1963. dec.) 359–367.
6. Rigrod, V. W., Kogelnik, H., Brangaccio, D. J., Herriott, D. R.: Gaseous optical maser with external concave mirrors. *J. Appl. Phys.* 33 (Febr. 1962) 743–744.
7. Boyd, G. D., Gordon, J. P.: Confocal multimode resonator for millimeter through optical wavelength masers. *Bell Sys. Tech. J.* 40 (March 1961) 489–508.
8. Bakos J., Csillag L., Kántor K., Varga P.: Ezüsttükros nagyfrekvenciás gerjesztésű He-Ne laser. *KFKI Közl.* 13 (1965), 195–197.
9. White, A. D., Rigden, J. D.: Continuous gas maser operation in the visible. *Proc. IRE* 50 (July 1962) 1697.
10. Czitrovszky A., Farkas Gy., Bánó G. és munkatársai: Lézerfejlesztések és lézeralkalmazások a KFKI-ban, majd az SZFKI-ban. *Magyar Tudomány* (2005), 1499–1510.

# ALÁZATRA NEVEL, HA EGY LAPON EMLÍTENEK A FÉLISTENEKKEL – Edwin F. Taylorral Bokor Nándor beszélget

– *A fizikusok között az egész világon, Magyarországon is, számos rajongója van a Téridőfizika című könyvnek, amelyet Ön és John Archibald Wheeler írt.<sup>1</sup> 1972-ben megjelent Öntől egy írás, amelyben beszámol arról, hogyan dolgoztak John Wheelerrel a Téridőfizika 1963-as kiadásán, valamint leírja személyes benyomásait is Wheelerről (többek között Wheeler érzelmi reakcióját, amikor mestere, Niels Bohr haláláról értesült 1962 novemberében) [2]. Az Ön és Wheeler közötti munkakapcsolat és barátság 1962-ben kezdődött, mielőtt Ön egyéves alkotói szabadságát töltötte a Princeton Egyetemen. Egyik teendője az volt, hogy jegyzeteket készítsen egy elsőéves fizika kurzus előadásaihoz, amelyet Wheeler egy 35 fős évfolyamnak tartott. Wheeler 6 hét relativitáselmélettel kezdte a kurzust!*

*A fizikának mely főbb területei érdekelték, mielőtt John Wheelerrel találkozott? Mindig is különösen érdekelt a relativitáselmélet, vagy pedig Wheeler előadásmódja bozta ezt a területet igazán közel a szívéhez, amelyet azon az 1962-es elsőéves fizika kurzuson hallott?*

– Apám, Lloyd W. Taylor, fizika tankönyveket írt, tehát a fizika iránti vonzalom számomra természetesen adódott. Első könyvem, a *Bevezető mechanika (Introductory Mechanics)*, azalatt került ki a nyomdából, mielőtt alkotói szabadságon voltam a Princeton Egyetemen. Abban a könyvben volt néhány fejezet a speciális relativitáselmületről. Wheeler intézte el, hogy legyen az asszisztense ezen a bevezető kurzuson, amit kiemelkedő képességű hallgatónak tartott.<sup>2</sup> Teljesen megbabo-

názott, ahogyan a speciális relativitáselméletet tárgyalta, és rögtön el is kezdtem az előadásokról jegyzetet írni. Ezt az egyik titkárnő stencilezte, és a félév végén kiosztottuk a hallgatónak. Ebből nőtt ki a *Téridőfizika*.

– *Milyen volt a könyv fogadtatása a fizikusok és az egyetemi hallgatók között? Azonnal lelkesen fogadták a szakmabeliek?*

– Nem a könyv szerzőjét érdemes kérdezni erről. Ő ugyanis „torz mintát” kap a reakciókból. Ha valaki utál egy tankönyvet, rendszerint nem fogja a véleményével külön megkeresni a szerzőt. Wheeler elég nagy név volt ahhoz, hogy a *Téridőfizikára* irányítsa a figyelmet, és a könyv kedvező kritikákat kapott.

– *Milyen pedagógiai kontextusban jelent meg a könyv? Más szóval: emlékei szerint milyen egyetemi tankönyvekből tanították az 50-es évek végén a speciális relativitáselméletet alsóéveseknek?*

– Amikor én alsóéves voltam, a bevezető fizika tankönyvemben nem esett szó relativitáselmületről. Azt hiszem, csak a 60-as években, az MIT és a Berkeley által kiadott bevezető szintű tankönyvek megjelenésével került be a speciális relativitáselmélet a tananyagba, és azóta ott is maradt.

– *Tudna valamit mondani a könyv külföldi fogadtatásáról? Hány nyelvre fordították le? Emlékszik-e, melyik volt az első külföldi kiadás?*

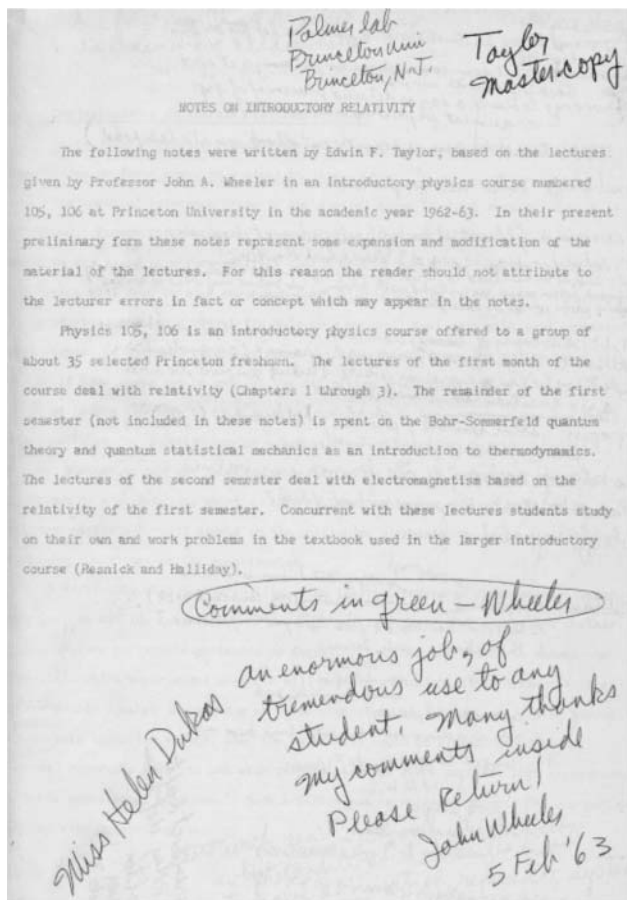
– Az orosz kiadás volt az első 1969-ben, aztán jött a francia 1970-ben, a lengyel 1972-ben és a magyar 1974-ben (ezt 2006-ban újra kiadták). Wheeler és én 1992-ben megjelentettünk egy második, átdolgozott változatot. Ezt 1994-ben kiadták németül, 1996-ban olaszul, 2012-ben pedig szlovákul. Az *Exploring Black Holes* pedig japánra fordítva jelent meg 2004-ben.

– *Használta-e a Téridőfizikát mint tankönyvet az MIT-n tartott előadásaihoz? És használta-e Wheeler a Princetonon a későbbi elsőéves diákjaival?*

Edwin F. Taylor a Massachusetts Institute of Technology emeritus kutatója 2013. július 11-én tart előadást az ELTE-n (erről és Taylor életútjáról lásd előző számunk 177–178. oldalait). Bokor Nándor a BME Fizikai Intézet oktatója.

<sup>1</sup> A könyv magyar nyelven 1974-ben jelent meg először, a második kiadás 2006-ban látott napvilágot [1].

<sup>2</sup> Olyan kurzus volt ez, amelyet elsőéves diákok kislétszámú, válogatott csoportjának tartottak. A csoportba például azok kerülhettek be, akik középiskolában egyetemi szintű alapképzést kaptak, vagy akik az emelt szintű központi felvételin kimagasló eredményt értek el.



Az 1962-es stencilezett előadásjegyzet első oldala (Edwin F. Taylor példánya).

– Azt hiszem, hogy azt az évet követően, amikor együtt dolgoztunk, Wheeler több bevezető kurzus már nem tartott. Én használtam az MIT-n a *Téridőfizikát*, de a legélvezetesebb az volt – és ez vonatkozott később a fekete lyukas könyvre is –, amikor a Harvard Egyetem esti képzést nyújtó intézményében tanítottam a könyvet. A feleségem és a lányom is szerzett ott diplomát. Később kis létszámú csoportoknak internetes kurzusokon is tanítottam mind speciális, mind általános relativitáselméletet.

– *El tudná röviden mondani, miből állt a munkája az MIT-n? Meddig tanított ott, és milyen oktatási kötelezettségei voltak?*<sup>3</sup>

– Az újító szemléletéről híres *Jerrold Zacharias* hívott az MIT-re. Az volt a megbízásom, hogy közreműködjek egy bevezető kvantumfizika könyv megírásában. A könyv az MIT Physics, A New Introductory Course nevű projekt részeként készült (csak később vették észre, hogy a projekt nevének kezdőbetűit összeolvasva a PANIC szó adódik). A kvantum-könyvnek jónéhány kéziratos vázlatát kipróbáltuk másodéves fizikus hallgatókkal, akiknek kötelező ez a kurzus; de más szakokról is szokták hallgatni néhányan. A végeredmény az *An Introduction to Quantum Physics* [4] című könyv lett, amelyet A. P.

<sup>3</sup> Edwin F. Taylor oktatói filozófiájáról lásd [3].

*French* szerzőtársammal írtam. 1978-ban jelent meg, és ami számomra meglepő, még mindig egész sok fogy belőle.

– *2000-ben, majdnem 40 évvel azután, hogy a Téridőfizika első kiadását írták, Ön és John Wheeler egy újabb relativitáselmélet könyvvel állt elő. A címe Exploring Black Holes: Introduction to General Relativity [5], és bizonyos értelemben a Téridőfizika folytatásának tekinthető. A könyvben az a figyelemreméltó, hogy alsóéves egyetemisták számára íródott, és mégis részletesen elemzi az álló és forgó fekete lyukak körüli téridőt, illetve az Univerzum téridejét. Levezeti a fénysugarak és szabad tömegpontok világvonalait, és részletesen elemez olyan különleges gyakorlati vagy történeti jelentőségű példákat, mint a Merkúr perihélium-vándorlása, a gravitációs lencsehatás, a Penrose-folyamat (amellyel forgó fekete lyukak energiáját lehet megcsapolni), és a globális helyzetmeghatározó rendszer (GPS) relativisztikus vonatkozásai.*

*Miért gondolja úgy, hogy jó az általános relativitáselméletet már az egyetemi tanulmányok elején oktatni?*

– A természettudományi szakok hallgatóinak többsége érintőleg foglalkozott már a speciális relativitáselmélettel, mielőtt az egyetemre jött; az ősrobbanás, a felfúvódó világegyetem, a vörösetelőadás pedig olyan kifejezések, amelyekkel a sajtóban is gyakran találkozunk. A kozmológia aranykorában élünk, és ezt izgalmas témának tartják a diákok is. A kozmológiát pedig az általános relativitáselmélet tárgyalja. Könyvünk főhőse a metrika, amelyet az alsóéves fizika mindennapos matematikai eszköze, a differenciál- és integrálszámítás formalizmusával írunk fel.

– *1963 és 2000 között is folyamatos szakmai kapcsolatban maradt Wheelerrel?*

– Igen, tartottuk a kapcsolatot. Wheeleréknek és gyermekeiknek volt Maine partvidékén egy High Island nevű szigete. Ott a családommal meglátogattuk őket. És persze 1992-ben megjelentettük a *Téridőfizika* második, átdolgozott kiadását.

– *Kinek az ötlete volt, hogy készüljön egy külön könyv az általános relativitáselmületről?*

– Nem emlékszem. Arra viszont igen, hogy Wheeler High Island-i dolgozószobájának polcai roskadoztak híres általános relativitáselmélet könyve – a *Kip Thorne*-nal és *Charles Misner*rel közösen írt és 1973-ban megjelent *Gravitation* [6] című kötet – vázlataitól, úgyhogy „a levegőben lógott” egy alsóéveseknek szánt, kevesebb matematikát használó általános relativitáselmélet könyv ötlete.

– *Ön a John Wheelert köszöntő kötetben [2] részletesen leírja, milyen munkarend szerint dolgoztak Wheelerrel a Téridőfizikán. Eltérek-e ettől bármilyen fontos szempontból az Exploring Black Holes írásakor?*

– Nagyjából ugyanolyan volt a kettő, és azt hiszem, Wheeler más szerzőtársakkal is hasonló mun-

karend szerint dolgozott: meglátogattam Wheeleréket Princetonban vagy High Islanden, vittem hozzá az előző megbeszélésünk alapján összeállított vázlatot, és végignéztük. Wheeler átfogó módosításokat javasolt, gyakran kivágott és beillesztett részeket. Azután hazamentem, és újraírtam.

– Egy részlet az előbb említett kötetből [2]: „Egyik szombaton John egy cambridge-i motelben szállt meg, a Harvard egyetemről északra. Ott egy teljes napon át birkóztunk az impulzus relativisztikus képletének levezetésével. A nap végére negyven kézzel írt oldalunk volt, tele diagramokkal, nyilakkal, szimmetriaérvekkel – vagyis a pedagógia teljes fegyvertárával. Másnap reggel elhatároztuk, hogy megpróbáljuk egy ábrában összefoglalni az érvelést. Miközben ezen dolgoztunk, az előző nap emelt építmény néhány egyszerű állítással omlott össze. A végeredmény: a relativisztikus impulzus képletének egyetlen általam ismert olyan levezetése, amely belefért egyetlen ábrába és annak feliratába (Téridőfizika, 1. kiadás, 85. ábra). John élvezettel mesélte nekem, hogy ő és Richard Feynman egyszer készítettek egy olyan bonyolult diagramot, hogy kedvük lett volna ezt írni alá: »Az ábra felirata: lásd szöveg«, vagyis a teljes cikk egyetlen ábra felirata lett volna!”

Tudna-e egy példát mondani az Exploring Black Holeson végzett munkából, amely hasonló módon emlékezetes maradt Önnek?

– Tudok bizony! Wheeler és én egyszer San Franciscóban jöttünk össze, az American Physical Society egyik ülésén. Én későn regisztráltam, így már csak drága hotelszobát kaptam. A szobát elárasztotta a napfény. Ebben a hotelszobában küzdöttünk azzal, hogy egyszerű levezetést adjunk egy fekete lyukba eső tömegpont globális energiájának képletére. Wheeler, csakúgy mint Feynmannel, most is teljes erőfeszítéssel állt a problémához, és sok oldalnyi ábrát és szöveget készített. Aztán hirtelen az egész szerkezet egyetlen, az úgynevezett Maximális Öregedés Elvéből kiinduló levezetéssé omlott össze, ami egyszerűen a híres ikerparadoxonból nő ki. Ennél az élménynél közelebb sosem kerültem a hirtelen megvilágosodás ekstatiszta örömehez. A Maximális Öregedés Elve és a metrika adja a két kulcsfontosságú eszközt, amelyekkel az általános relativitáselméletet tárgyaljuk.

– Jelenleg Edmund Bertschinger kozmológussal dolgozik az Exploring Black Holes második változatán. Le tudná írni néhány szóban, milyen a vele végzett közös munka?

– Nagyon hasonló, mint Wheelerrel, de ugyanakkor más is. Mindketten vezető beosztásúak vagyunk, tehát sok, egyformán fontos felelősség nyomja a vállunkat – Bertschinger esetében például az MIT Fizika Tanszékének vezetése. Mindkét együttműködés a vázlatokon végzett intenzív közös munkával jár: Wheelerrel ez néhány havonta egypár együtt töltött napot jelentett, Bertschingerrel pedig körülbelül minden héten egypár együtt töltött órát. Wheelerhez hasonlóan Bertschinger is a tárgy abszolút mestere;



Taylor és Wheeler 1999 nyarán, High Islanden.

mindkettőjüket lenyűgözve szoktam figyelni, ahogy széleskörű szakmai tudásukat a metrika és a Maximális Öregedés Elve tárgyalására fordítják.

– Miért döntött úgy, hogy átdolgozza az Exploring Black Holes-t? Milyen fontos eltérések lesznek a második kiadásban az elsőhöz képest?

– Az első kiadás közös írásának vége felé Wheeler azt mondta nekem: „Ne tőlem kérdezd, te mondd meg nekem.” Ráébredtem: azt jelezte ezzel, hogy kezd hanyatlani. Azt akarta, hogy én vegyem át a kezdeményező szerepet a könyv írásában. Úgyhogy a könyvet jó részt egymagam fejeztem be. A végeredmény, legalábbis véleményem szerint, nem okoz kárt az olvasóban, de néhány részletkérdésben nem pontos. A második kiadással nem lesz ilyen probléma! Ed Bertschinger abszolút lelkiismeretes kutató, és szigorú őrmester módjára ügyel arra, hogy az elmélet pontos, az alkalmazások pedig aktuálisak legyenek. Ráadásul időközben a műholdakról kapott adatok forradalmi változásokat hoztak a kozmoszról kialakított tudásunkban.

– Az ember azt gondolná, hogy egy tankönyv megírása úgy zajlik, hogy a szerző először is világos koncepciót alakít ki a fejében a könyv felépítéséről, azután leül, és megírja, írás közben pedig megpróbál minden zavaró körülményt kiiktatni. Az Ön módszere, ahogyan a Exploring Black Holes második kiadásán dolgozik, egészen egyedülállónak tűnik. Gyakran módosítja (néha csak csiszolgatja, néha drasztikusan átdolgozza) a könyv fejezeit, és azután minden egyes új fejezetváltozatot feltölt a könyv honlapjára,<sup>4</sup> ahol azokat bárki megnézheti. A személyes honlapján<sup>5</sup> pedig kifejezetten kéri, hogy bárki fűzzön hozzászólásokat, tegyen kritikai észrevételeket. El tudná magyarázni, miért választotta ezt a sajátos munkamódszert? Nem lassítja le ez reménytelenül a munkát?

<sup>4</sup> exploringblackholes.com

<sup>5</sup> eftaylor.com



– Gyakran szoktam – viccesen – mondani, hogy ha valaki ért egy tudományterületet, akkor nem szabad engedni, hogy tankönyvet írjon róla. A szakértő ugyanis, aki már tökéletesen uralja a részleteket, közben elfelejti azokat a kérdéseket, amelyek egy kezdő számára nehezek. Mi a hallgatóinkat hetente pluszpontokkal honoráltuk, ha olvasónaplót adtak be, amelyben megírták, mit találtak nehéznek vagy zavarosnak az arra a hétre kiadott fejezetben [3]. Megjegyzéseik közül némelyiket betettük a könyvbe is, ahol átfogalmazva, konfrontatív stílusban megfogalmazott ellenvetésként jelennek meg: „Hülyeség! Senki sem hiheti, hogy stb.”, amire azután udvariasan válaszolunk. Több olvasótól is hallottam, hogy az ilyen ellenvetés/válasz dialógusok gyakran pont akkor bukkannak fel a könyvben, amikor épp nehézségük támadt az olvasottakkal. A jelenlegi próbafejezeteket már jónéhány egyetemi oktató használta a kurzusaihoz. Ilyenkor tőlük is és a diákjaiktól is kapunk visszajelzést. Végül pedig a semmiből előbukkant egy maroknyi tanácsadó, akik rendszeresen elolvassák a próbafejezeteket, és javításokkal, javaslatokkal segítenek bennünket. Mindennek köszönhetően, úgy gondolom, a tankönyvünk nagyon is emberi vállalkozásként mutatja be az általános relativitáselméletet. Ez az egész folyamat valóban rengeteg időt igényel, de minden percét élvezem.

– *Több nagyszerű, alsóéveseknek szánt általános relativitáselmélet tankönyv jelent meg a közelmúltban. Ilyen például James Hartle Gravity [7] és Thomas Moore General Relativity Workbook [8] című könyve.<sup>6</sup> Hol helyezné el az Önök által írt Exploring Black Holes a manapság megjelent többi alsóéves általános relativitáselmélet könyv között?*

– A Hartle- és a Moore-könyv is nagyszerű, és mindkettő vegyes stratégiát használ: alkalmazják a metrikát, és közben fokozatosan bevezetik a tenzorformalizmust. Számunkra az a központi kérdés: mit akarunk, mivel töltse a hallgató a rendelkezésére álló korlátozott időt? Úgy döntöttünk, hogy lényegében a hallgató összes idejét és teljes energiáját a metrika és a Maximális Öregedés Elve fontos alkalmazásaira fordítjuk, követve a bibliai intelmet:<sup>7</sup> „Ami tennivalót csak talál a kezed, azt mind tedd meg...” Néhány kivételtől eltekintve a könyv utolsó négy fejezetéig csak a metrikára van szükség. Ott hasznosnak bizonyulnának a tenzorok, és a könyvünk elismeri ezt a hiányt. Az utolsó fejezetben elővezetjük az Einstein-egyenleteket, és megoldjuk őket szimmetrikus esetekre.

– *Abogy John Wheeler fogalmazott: „A dolgok mélyén minden, ami fontos, az végtelenül egyszerű.” Össze tudná egy-két mondatban foglalni a speciális és az általános relativitáselmélet alap gondolatait,*

<sup>6</sup> Moore ajánló sorai az utóbbi könyvben jól példázzák a *Téridőfizika* hatását: „... Edwin Taylornak, akinek Wheelerrel közösen írt könyve évtizedekkel ezelőtt erre az útra terelt”.

<sup>7</sup> Prédikátor 9:10

*abogy a Téridőfizikában, illetve az Exploring Black Holesban szerepelnek?*

– Az *Exploring Black Holes* hátoldalán négy jelmondat áll, amelyek persze csak a teljes könyv kontextusában nyernek értelmet:

1. A metrika leírja a téridőt.

2. A Maximális Öregedés Elve leírja a mozgást.

3. *Minden* mérést és megfigyelést inerciarendszerben végezz – görbült téridő esetén *lokális* inerciarendszerben.

4. A globális koordináták összekapcsolják a lokális inerciarendszereket.

A speciális relativitáselmélet az első két jelmondatra és a harmadik jelmondat első felére épül.

– *Van-e a relativitáselméleten kívül más területe is a fizikának, amelyet egészen más megközelítésben oktatna – vagy akár oktatott is –, mint a manapság megszokott módszerek?*

– A French-csel írott kvantumos könyvben polarizált fotonokkal illusztráltuk a kvantumos elveket. Ez lehetővé tette, hogy a diákok az eredményeket kísérletileg vizsgálják, egy kisméretű polárszűrőket és apró kalcitkristályt tartalmazó olcsó apparátust használva. Ezt leszámítva a pályám nagy részét a speciális és általános relativitáselmélet tanulása és tanítása tette ki.

– *1998-ban Önnek ítelték az American Association of Physics Teachers rangos kitüntetését, az Oersted Medalt [9]. Ezt a díjat évente ütik oda, „a fizika-oktatásból való kimagasló hozzájárulásért.” A kitüntetettek között szerepel Robert Millikan, Arnold Sommerfeld, George Uhlenbeck, Richard Feynman, Isaac Rabi, John Wheeler, Hans Bethe és Carl Sagan. Mesélne arról, hogyan nyerte el az Oersted Medalt?*

– Azért gondoltam, hogy soha nem fogom megkapni ezt a díjat, mert a szakmai teljesítményeim jobbra közös munkák voltak. Talán számított, hogy öt évig az *American Journal of Physics* főszerkesztője voltam; ki tudja? Igaz alázatra nevel, ha egy lapon említenek ezekkel a félistenekkel. A jelenlegi életcélom az, hogy visszamenőleg méltó legyek erre a megtiszteltetésre.

## Irodalom

1. E. F. Taylor, J. A. Wheeler: *Spacetime Physics*. W. H. Freeman, 1966. Magyarul: *Téridőfizika*. Typotex, 2006.
2. J. R. Klauder (szerk.): *Magic without magic: John Archibald Wheeler, a collection of essays in honour of his sixtieth birthday*. W. H. Freeman, 1972. Taylor írása a kötetben *The Anatomy of Collaboration* címmel jelent meg és az [exploringblackholes.com/AnatomyOfCollaboration.pdf](http://exploringblackholes.com/AnatomyOfCollaboration.pdf) linken olvasható.
3. E. F. Taylor: Csak a diák tudja. *Fizikai Szemle* 58 (2008) 345–347.
4. A. P. French, E. F. Taylor: *An Introduction to Quantum Physics (M.I.T. Introductory Physics)*. CRC Press, 1978.
5. E. F. Taylor, J. A. Wheeler: *Exploring Black Holes: Introduction to General Relativity*. Addison–Wesley–Longman, 2000.
6. Ch. W. Misner, K. S. Thorne, J. A. Wheeler: *Gravitation*. W. H. Freeman, 1973.
7. J. Hartle: *Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity*. Addison–Wesley, 2003.
8. T. Moore: *A General Relativity Workbook*. University Science Books, 2012.
9. [en.wikipedia.org/wiki/Oersted\\_Medals](http://en.wikipedia.org/wiki/Oersted_Medals)

## LESZNEK-E MÉG MARSLAKÓK?

Bencze Gyula  
Wigner Fizikai Kutatóközpont

„Az a szóbeszéd járja Amerikában,  
hogy két intelligens faj létezik a Földön:  
emberek és magyarok.”

*Isaac Asimov*

Kevés olyan dolog van, amire a magyarok (*Puskás Öcsin* kívül) büszkéek lehetnek, ezek egyike pedig a „marslakók”. A *Nemzetismeret* internetes portál összefoglalása szerint [1]: „Mi magyarok, derekasan hozzájárultunk a világ haladásához. *Bolyai János, Jedlik Ányos, Eötvös Loránd, Semmelweis Ignác* és más tudós nagyjaink világszerte elismert eredményei alapján pedig nyilvánvaló, hogy a természettudományok terén a 19. században egy nemzetnél sem voltunk alábbvalók. A 20. században talán még előbbre haladtunk, ám e kor háborúi, történelmi sorsfordulói, diktatúrái igen sok honfitársunkat sodorták külföldre, a területileg és lelkileg egyaránt megcsonkított országból. A virágzó magyar iskolák nevelőmunkájának gyümölcse nagyrészt az Újvilágban, Amerikában érett be. A magyar nemzet fiainak hozzájárulása a világ tudományos haladásához s az őket menekültként befogadó országok fejlődéséhez szinte felmérhetetlen. ... Azt a mintegy félszáz magyar tudóst, akik az atomkor, a komputer- és az űrkorszak kialakításában meghatározó szerepet játszottak – legendás tudásuk, zseniális fantáziájuk, egymás közt beszélt nyelvük és furcsa angol kiejtésük miatt – tudós barátaik tréfásan marslakóknak nevezték.”

A marslakók legendájával több könyv is foglalkozik [2–4]. *Kopátsy Sándor* például nyomatékosan megjegyzi [4]: „Minden iskola falára kiírnám egy feltűnő táblára *Marx György* összeállítását: »*Puskás Tivadar* alkotta meg a telefonközpontot. *Zipernouszky Károly* terjesztette el a váltóáramot. *Goldmark Péter* hozta létre a színes televíziót. *Neumann János* tervezte az elektronikus programozású számítógépet. *Kemény János* a számítógépet az e-mail hálózattal. *Charles Simonyi* teremtette meg a Windows Word szövegszerkesztőt. *Andy Grove* gyorsította fel a mikroprocesszorokat, hogy milliósám végezzék a rájuk bízott matematikai műveleteket.»

Egy évszázad távlatából ma már mindenki egyetért abban, hogy a „marslakók” látványos eredményei nagy-

részt az akkori oktatásnak, a kiemelkedő képességű tanároknak és a nagyszerű iskoláknak köszönhetőek.

A dicső múlt ellenére azonban napjainkban számos probléma van a közoktatással, amelyet új tanterv bevezetésével kívánnak az illetékesek orvosolni. Ami a természettudományok oktatását illeti, *Tél Tamás* kiváló elemzését adta a helyzetnek [5], megmagyarázva, hogy milyen tudomány is a fizika (a „marslakók” sikersportja!).

A közoktatásért felelős államtitkár szerint több súlyos probléma is van: „Az ember elborzad, hányan nem tudják, mi történt a trianoni országcsonkoláskor, miért beszélnek magyarul Székelyföldön, mi történt ’56-ban. Sőt, még egy magyar népdalt sem ismernek.” Ezzel még nincs vége a bajoknak: „Ha nem akarjuk, hogy tovább romoljon egészségi állapotuk, és hájasok, lúdtalpasok legyenek, rá kell bírni őket a mozgásra. Ezentúl nem maradhat el egyetlen testnevelés óra sem.”

A megoldás tehát egy új Nemzeti alaptanterv, amely az államtitkár szerint [6]: „Az új Nat a köznevelés feladatát az erkölcsi értékek hangsúlyozása mellett a műveltség közvetítésében, a tanuláshoz és a munkához szükséges készségek, képességek, ismeretek, attitűdök együttes fejlesztésében, a nemzeti és társadalmi összetartozás megerősítésében jelöli meg. Az alaptanterv kiemelt fejlesztési területei, illetve nevelési céljai a teljes iskolai nevelési-oktatási folyamat közös értékeit jelenítik meg. E területek közül kiemelhető az Erkölcsi nevelés; a Nemzeti öntudat, hazafias nevelés; az Állampolgárságra, demokráciára nevelés; Az önismeret és a társas kultúra fejlesztése; A családi életre nevelés; A testi és lelki egészségre nevelés, valamint a Felelősségvállalás másokért, önkéntesség.”

Érdekes összevetni ezt a programot egy „közönséges marslakó”, *Gábor Dénes* véleményével [2]: „A műszaki fejlődés olyan gyorsá vált, hogy már nem tudja követni az ember biológiai adaptációja. Mózes megmutatta népének az Ígéret Földjét, de utána még negyven évig kellett vándorolniuk a pusztában, amíg fel nem nőtt a Kánaánra méltó új generáció. Negyven esztendő ma is elfogadható becslés, ennyi idő alatt egy új generáció nőhet föl, amelyik már hozzászokik a szabadidő korszakához. (Talán pusztai bolyongás helyett egy kellemebb alternatívát lehetne keresni.) A technika mai állása le is rövidítheti ezt az időt: a tanárokat kell újra képezni, és e tanároknak fel kell nevelnie a modern munkaerő friss nemzedékét. Nem is a munkások átnevelése időigényes, hanem a politikusoké.”

Nos, az oktatás gondjainak megoldása a szakemberek feladata, azonban a laikus szemlélőben felötlik, hogy nem ártana utánanézni, mitől is voltak olyan sikeresek az akkori „marslakók”? Néhány fenomenológiai jellegű észrevételt azonban azonnal tehetünk.

A *Fizikai Szemle* szerkesztőbizottsága az 1972-ben meghirdetett VÉLEMÉNYEK sorozatát az olvasók kérésére tovább folytatja ez évben is. A szerkesztőbizottság állásfoglalása alapján „a Fizikai Szemle feladatául vállalja el, hogy teret nyit a fizikai kutatásra és fizika oktatására vonatkozó véleményeknek, ha azok értékes gondolatokat tartalmaznak és építő szándékúak, függetlenül attól, hogy egyeznek-e a lap szerkesztőinek nézetével, vagy sem”. Ennek szellemében várjuk továbbra is olvasóink, várjuk a magyar fizikusok leveleit.

Annak idején a híres Fasori Gimnáziumban és a Trefort utcai Mintagimnáziumban kiemelkedő képességű tanárok öregbítették iskolájuk hírnevét. Nem árt megemlíteni, hogy például a Mintagimnáziumban tanított a néhai *Tarján Imre* professzor, aki onnan lépett előre és alapította meg az *Orvostudományi Egyetem Biofizikai Intézetét* és lett többek között a Magyar Tudományos Akadémia Fizikai Tudományok Osztálya elnöke! Manapság sajnos egy-egy iskola csak akkor kerül a figyelem középpontjába, ha a tanárukat megverik vagy egyéb módon inzultálják a „tudásvágyó” diákok! Az is biztos, hogy egy akkori érettségi valamelyik élgimnáziumban legalább annyit ért, mint ma egy doktori fokozat békaügetésből vagy fekvőtámaszból a Gimnasztikai Egyetemen, a magyar helyesírást nem is említve!

Régen az etikai nevelés a családban kezdődött, amikor a gyermekek már otthon megismerkedtek a Tízparancsolattal. Akkoriban nem is volt divat, hogy tizenévesek kiraboltak és összeverték idősebb asszonyokat pár száz-párezer forintért. Érdekes hozzátenni még, hogy zavartalan volt a vonatközlekedés is. Még sötét éjjel sem tűnt el kábel, nemhogy fényes nappal! Az már csak egy érdekes részletkérdés, hogy megfelelő számú tornaóra hiányában lehettek-e hájas és lúdtalpas emberekből is marslakók?

Jóérzésű ember csak szurkolhat annak, hogy közoktatásunk gondjai megnyugtatóan megoldódnak. Napjainkban (újra) divat a tudományellenesség, amit a Nat-tal kapcsolatos viták során – kissé leegyszerűsítve – a posztmodern nézetek térhódításának rovására írtak. Ennek taglalása azonban már nem feladatunk, ezért csak Tél Tamást cikkének befejező sorait érdekes idézni [5]:

„...*A tizedes és a többiek* című film híres mondása jut eszembe: »Az oroszok már a spájzban vannak!« E hosszú írást – a közös továbbgondolás reményében – elképedt felkiáltással zárom: a posztmoderneknak már a Nat-ban vannak!”

#### Irodalom

1. <http://www.nemzetismeret.hu>
2. Marx György: *A marslakók érkezése. Magyar tudósok, akik Nyugaton alakították a 20. század történelmét.* Akadémiai Kiadó, Budapest 2000.
3. Kopátsy Sándor: *A magyar marslakók titka.* Belvárosi Könyvkiadó, Budapest, 2002.
4. Hargittai István: *Az öt világformáló marslakó.* Vince Kiadó, Budapest, 2007.
5. Tél Tamás: Milyen tudomány a fizika? Amit minden középiskolásnak tudnia kellene. *Természet Világa* (2012/12) melléklet CLXXVII–CLXXXIII.
6. Dr. Hoffmann Rózsa: Amit meg kell valósítanunk... *Új Pedagógiai Szemle* (2012/1–3) 3–4.

## A FIZIKA TANÍTÁSA

# HOGYAN CSINÁLHATUNK KVARKANYAGBÓL HIGGS-BOZONT? – I. RÉSZ

Csörgő Tamás  
MTA Wigner FK Részecske és Magfizikai Intézet

A fenti kérdésre keresi a választ a 2012. évi Charles Simonyi ösztöndíj elnyeréséről szóló oklevél ünnepélyes átadásakor tartott előadásom írott változata, amely három részből áll.<sup>1</sup> Az első rész a Charles Simonyi ösztöndíj elnyerésével kapcsolatos tudományos

kutatásaimat tekinti át tömören. A második részben megemlítem kutatásaim néhány olyan vonatkozását is, amelyek a jól ismert tudománymetriai adatokon túl, néhány emlékezetes eset kapcsán jelzik kutatásaim nemzetközi, illetve hazai fogadtatását, az Olvasóra bízva, hogy a történeten nevetni, vagy inkább sírni, örülni esetleg bosszankodni kíván. Ezt a részt a köszönetnyilvánítás zárja.

<sup>1</sup> A szerkesztő megjegyzése: Felmerülhet az Olvasóban a kérdés, hogy mit keres ez a hosszú beszámoló a FIZIKA TANÍTÁSA rovatban. Formai indok, hogy a 2012-es Charles Simonyi ösztöndíj oklevelének átvételekor elhangzott előadás írásos változatáról van szó, közlésére a díjat odaítélő bizottság írásos engedélye alapján került sor.

A bizottságok nem szeretik a darabolást, és ha terjedelmi okokból elnézik is az időbeli elválasztottságot, a rovat szerinti megkülönböztetés már – minden bizonnyal – sok lenne. A valódi ok persze mélyebb: gondoljunk *Karinthy Frigyes Cirkusz* című írására, ahol a különös melódiát csak akkor játszhatta el a művész, ha előbb kijárta az akrobatika magasiskoláját. A mesterség megtanulásához nemcsak a melódia tartozik, hanem az előadásig vezető út is.

Írásom harmadik részében egyik kedvenc témámat részletezem, amely a nagyenergiás részecske- és magfizika egyik új, jelentős nemzetközi visszhangot kiváltott, magyar fejlesztésű módszertani innovációjához, a Részecskés Kártyajátékhoz kapcsolódik, amely az angol nyelvterületen Kvaranyag Kártyajátékként vált ismertté, és amelynek legújabb fejlesztése a Higgs-bozon keresésének izgalmát, élményeit nyújtja a szórakozni és egyben tanulni vágyó lelkes laikusok vagy érdeklődő kollégák számára.

## 1. rész:

### Tudományos kutatásaimról, röviden

Kutatási területem a nagyenergiás fizika, amely az alapvető kutatások azon területe, ahonnan számos, mindennapi életünket alapvetően befolyásoló felfedezés származik: a Röntgen-sugárzás, az atomreaktorok és az atombomba, számos orvosi, diagnosztikai módszer, mint például az NMR, a PET, a CT, valamint az interneten elérhető adatokban rendet vágó világméretű hálózat, a World Wide Web is. A nagyenergiás fizika négy fő területe a kísérleti és az elméleti részecskefizika, valamint a kísérleti és az elméleti magfizika (a magfizikát modernebb néven nehézion-fizikaként emlegetjük). Jómagam aktívan kutatok mind kísérleti, mind elméleti módszerekkel, mind a részecske-, mind a nehézionfizika területén. Különböző területeken folytatott kutatásaimat közös módszertani eszközök kötik össze. Alapvetően a femtoszkópia, azaz a  $10^{-15}$  m-es tartományokban lezajló folyamatok térbeli és időbeli aspektusait vizsgáló kutatási irány szakértője vagyok. Ezzel kapcsolatos szép és jelentős nemzetközi visszhangot kapott eredményeim közül válogattam ki egyet-egyét ízelítőül e rövid bemutatkozás céljára.

Kísérleti részecskefizikai kutatásaim közül az egyik legérdekesebb bizonyára a Bose–Einstein-korrelációk vizsgálata elektron-pozitron ütközésekben. Szakértőként és PhD-dolgozat témavezetőjeként működtem együtt a CERN LEP gyorsítójának L3 kísérletével, a hollandiai Nijmegeni Egyetem kutatóival. Kutatásaink egyik eredménye egy részecskefizikai adatokon alapuló, pillanatfelvételekből álló képsorozat elkészítése lett [1]. Filmünk a részecskecsugarak kialakulását örökíti meg elektron-pozitron ütközésekben. Ismereteink szerint ez a világ legrövidebb filmfelvétele, amely csupán  $10^{-24}$  másodperc hosszú.

Első kísérleti részecskefizikai munkámat a CERN SPS gyorsítójánál, hadron-proton ütközések tanulmányozása területén folytattam, az EHS/NA22 kísérlet meghívott tagjaként. Feladatom a képkészítés, a Bose–Einstein-korrelációk és a részecskespektrumok szimultán és sikeres, hidrodinamikai képben történő értelmezése volt [2]. Eredményül egy körülbelül  $10^{-15}$  m átmérőjű tűzgyűrűt figyeltünk meg, amely ismereteink szerint a világon a legkisebb, kísérletileg kimutatott tűzgyűrűnek fel meg.

Egyik legújabb kísérleti részecskefizikai eredményünk pedig a CERN LHC gyorsító 7 TeV tömegközépponti energiájú proton-proton ütközései teljes hatáskeresztmetszetének meghatározása a TOTEM kísérlet keretein belül [3]. Hozzájárulásom a kísérlet magyar csoportjának létrehozása, megszervezése és témavezetése volt. Eredményünket az *European Physics Letters* 2011 legjobb cikkei közé válogatta be.

TOTEM-es kísérleti kutatásainkat a proton belső szerkezetének feltáráásával tettük teljessé, egy *Bialasról* és *Bzdakról* elnevezett elméleti modellt keretein belül. Elméleti részecskefizikai eredményeink szerint a proton-proton ütközések teljes hatáskeresztmetszetének –

a CERN LHC 7 TeV-es energián tapasztalható – megnövekedése elsősorban a kvark-dikvark távolság protonon belüli, növekvő ütközési energiával együtt járó megnövekedésének volt köszönhető [4]. Egy hasonló segítségével úgy értelmezhetjük ezt a jelenséget, hogy ha a proton autó volna, akkor az LHC gyorsító ütközési energiáinak megfelelő sebesség elérésekor egyszerre csak nem a szokásos, egy forgalmi sávot elfoglaló mérete, keresztmetszete lenne, hanem keresztmetszete a duplájára növekedne és a protonautó ilyen sebességeknél két forgalmi sávot foglalna el.

Elméleti részecskefizikai eredményeim közül szeretném kiemelni az úgynevezett mozi-egyenlet megalkotását is [5]. E 2008-ban publikált elméleti femtoszkópiái, módszertani fejlesztés eredményeképpen vált lehetővé az L3 kísérlet Bose–Einstein korrelációs méréseinek pontos értelmezése, a világ legrövidebb mozijának 2011-es publikálása olyan adatok elemzésével, amelyeket a LEP gyorsító L3-as detektora az 1989–1991 közötti időszakban rögzített. Az adatok kiértékelése, tehát a világ legrövidebb mozijának elkészítése mintegy 20-22 évet vett igénybe, azaz a mérés a legnehezebb kísérleti munkák közé tartozott. A legkeményebb diónak, azaz legnehezebben megoldható problémának a módszertani nehézség, a fent említett, elméleti meglátást igénylő kérdéskör bizonyult, ugyanis az elméleti modellek 99%-a szerint a mérési eredményeknek egy pozitív definit függvényt kellett volna kirajzolniuk, az igen gondosan kivitelezett mérések azonban az értelmezési tartomány egy részében erre a függvényre negatív értékeket eredményeztek. Ezt a szokatlan és meglepő kísérleti adatsort lehetett értelmezni a mozi-egyenlet segítségével, amely egyben a szokásos pillanatfelvételek készítése helyett – 18 évvel az adatfelvétel után – egy filmfelvételnek, a pillanatképekből álló képsorozat elkészítése előtt is megnyitotta az utat.

Kísérleti nehézion-fizikai eredményeink közül meszse kiemelkedik a PHENIX kísérlet összefoglaló cikke [6], amely az RHIC gyorsító 2000-ben megkezdett kutatási programjának első néhány éve során az arany-arany, az arany-deuteron nehézion-ütközések és a proton-proton részecskefizikai ütközések adataiból kirajzolódó fizikai képet alkotta meg. Eredményünk szerint az RHIC 200 GeV-es nukleononkénti tömegközépponti energiáin egy forró és sűrű közegként viselkedő új anyagforma jelenik meg, amely Világegyetemünk keletkezésekor, az Ősrobbanás utáni első néhány mikromásodpercben létezett anyagforma egyfajta földi mása. Megállapításunk szerint ezen anyagforma halmazállapota – szemben az erős kölcsönhatás 2004-ben fizikai Nobel-díjjal jutalmazott, aszimptotikusan szabad részecskéket jósoló elméletén alapuló, gáz halmazállapotot jelző várakozásokkal – a kísérleti tapasztalatok szerint folyadék halmazállapotnak felel meg. Eredményünk egykor bekerülhet az általános iskolai tankönyvekbe is, a következő kép segítségével: ha egy darab jeget melegíteni kezdünk, a szilárd halmazállapotú jég folyékony vízzé, folyadék halmazállapotú anyaggá válik. További hőközlés hatására a folyékony vízből gőz,

azaz gáz halmazállapotú anyag jön létre. Ha ezt a gőzt az ember által kísérletileg előállított legmagasabb hőmérsékletekre, azaz a 2-4 terakelvin hőmérsékletre hevítjük, a gőz halmazállapotból újra folyadék halmazállapotú anyag jön létre. Az ezt bizonyító kísérleti összefoglaló cikkünk az Amerikai Fizikai Intézet (AIP) szerint 2005 legfontosabb eredménye lett a fizika teljes területén. 2005 során publikált cikkünkre kevesebb, mint 8 év alatt közel 1500 hivatkozás érkezett. Elsősorban a PHENIX-es kutatásoknak köszönhetően a hadron-ütköztetők magyar fizikusai világelsőek lettek az egy cikkre jutó hadronfizikai hivatkozások számát tekintve, amely meglepő eredményről a Magyar Tudományos Akadémia honlapja is beszámolt [7]. Tehát PHENIX-es kutatásaink kiemelkedően gyümölcsözőnek bizonyultak a független Thomson–Reuters hírügynökség – ISI Web of Science adatain alapuló – globális tanulmánya szerint. Érdekességként megemlíteném, hogy ez a tanulmány nem vizsgálja az egy cikkre és egységnyi kutatási támogatásra eső hadronfizikai hivatkozások számát, bátran állíthatjuk azonban, hogy ha már az egy cikkre jutó hadronfizikai hivatkozások számában is világelsőek lettek a magyar fizikusok, akkor az ilyen módon elnyert előnyt minden bizonnyal messze megnöveli az, ha ezt a számot a cikkek megírására fordított egységnyi kutatási támogatásokhoz viszonyítjuk.

Végül elméleti nehézion-fizikai eredményeim közül is hadd emeljek ki néhányat: új, hidrodinamikai modellezésen alapuló eljárás segítségével rekonstruáltam a hadron-proton és az ólom-ólom ütközések hadronikus végállapotjának téridőbeli képét [8], amely nem csak tudományosan bizonyult érdekesnek, hanem két könyv címlapjára is felkerült. Ugyanebben az összefoglaló, az *Acta Physica Hungarica A – New Series: Heavy Ion Physics* folyóiratban megjelent cikkemben adtam számot a Bose–Einstein korrelációs függvények modellfüggetlen elemzésének legújabb eredményeiről, és összefoglaltam a pion-lézer modell megoldásával kapcsolatos, *Zimányi József*fel közösen elért [9] eredményeimet is. A részecskelevezerek leírására adott megoldásunk lényege az, hogy a sokrészecske rendszerek Bose–Einstein-szimmetrizációja egy úgynevezett NP-hard, azaz a részecskék számának növekedésével nem polinomiálisan növekvő számítási igényű probléma, ezért elég sok részecske esetén a problémát nem lehet megoldani még a legmodernebb és legnagyobb teljesítményű, Neumann-elven felépített számítógépek segítségével sem.

Ugyancsak az elméleti nehézion-fizika részét alkotják a nem-relativisztikus [10] és a relativisztikus [11] hidrodinamika egzakt megoldásai terén elért, az ellipszoidálisan táguló tűzgömbök leírására vonatkozó eredményeink, amelyek a nagyenergiás nehézion-ütközésekben mért adategybeesések, skálaviselkedések értelmezésére született, időtálló, egzakt és egyben esztétikai élményt is nyújtó, szép eredmények, és amelyek sikeresnek bizonyultak mind az adatok leírásában, mind pedig a fenomenológiai megfontolásokból kifejlesztett, Buda–Lund típusú hidrodinamikai modellek alátámasztásában [12]. Elméletileg megjósolt adategy-

bejési törvényszerűségei – például az úgynevezett elliptikus folyási paraméter univerzális skálaviselkedése – a jóslatunk publikálása után mért kísérleti adatoknak közel tökéletes módon felelnek meg [13].

Előadásomban kiemeltém, hogy az RHIC gyorsító PHENIX kísérletében megszervezett magyar csoport létrehozása, annak elérése, hogy a PHENIX kísérletnek az MTA KFKI Részecske és Magfizikai Kutatóintézete (mai nevén az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont Részecske és Magfizikai Intézete), valamint az ELTE TTK Atomfizikai Tanszéke hivatalosan is tagjává válhatott 2003-tól, önálló kezdeményezésemre, nem pedig állami szerepvállalásként valósult meg. E folyamat sikeres beindítását az USA Külügyminisztériuma és a Fulbright Legacy Fund által közösen alapított Fulbright Alumni Initiatives Award elnyerése, támogatása tette lehetővé számomra. Ismereteim szerint a magyar természettudósok közül ezt a díjat egyedül jómagam nyertem el a kézirat lezárásának időpontjáig. A PHENIX kísérletben szerzett tapasztalatainkat a CERN LHC indulásának közeledtével az LHC TOTEM kísérletében dolgozó magyar csoport munkájának megszervezésével, témavezetésével hasznosítottuk. A TOTEM magyar csoportjának létrehozása szintén önálló kezdeményezésemre, állami szerepvállalás nélkül, az OTKA támogatásainak elnyerésével valósulhatott meg 2008-tól. PHENIX-es és TOTEM-es kutatásaink fenntarthatóságának alapfeltétele a kísérletekben a magyar csoport által végzett eredményes és sikeres, a kísérlet belső szabályzata szerint nem minden esetben nyilvánosságra hozható munkánk. Ennek leglátványosabb, kívülről is jól érzékelhető jele az, hogy a mérésekben résztvevő magyar kutatók munkáját mind a PHENIX, mind a TOTEM kísérlet anyagiilag is támogatja, segíti, és kutatóink számos belső analízis jegyzetet készítenek, illetve a PHENIX és a TOTEM nevében, rangos nemzetközi konferenciákon ismertethetik a legújabb kísérleti eredményeket.

Kutatómunkám tudományometriai adatait nem sorolnám fel, a Charles Simonyi ösztöndíj elnyerésénem ezen mutatók kiválósága volt az egyik előfeltétele. Ezek az adatok nagy nemzetközi adatbázisokban, mint például az ISI Web of Science, nyilvánosan, néhány kattintásnyi távolságra, bárki számára elérhetőek. Szeretnék viszont megemlíteni néhány olyan érdekességet, amelyek a tudományos kutatásaim eredményességét és nemzetközi hatását híven tükrözik, noha nem szoríthatóak be a hagyományos tudományometriai mutatók kvantitatív és kvalitatív jellemzői közé.

Munkám protokoll szempontjából legkiemelkedőbb, legmagasabb rangú elismerése saját értékelésem szerint 2007-ben ért: részt vehettem, néhány kiemelt tudós magfizikus és részecskefizikus társammal közösen azon a teaszertartáson, amelyet őfelsége *Akibito*, Japán császára és felesége, őfelsége *Michiko*, Japán császárnője adott.

Európai szintű, számomra sokat jelentő tudományos elismerés ért 2011-ben is, amikor az Európai Akadémia, a londoni székhelyű Academia Europaea megválasztott tagjai sorába.

Tudományos bizottságokban végzett munkáim közül a CERN LHC gyorsító anyagi és tudományos működését ellenőrző testületében, a CERN LHC Resource Review Boardban végzett tevékenységemet emelném ki, amely szintén nem jelentkezik a tudományometriai mutatók között, de talán a legnagyobb felelősséget jelenti, és a legnagyobb áttekintő képeséget igényli más megbízatásaim között.

Tudományometriai mutatóim közül talán mégis megemlítenék egy számot, az úgynevezett  $h$  Hirsch-indexet, amely egy adott kutatóra vonatkoztatva az illető kiváló cikkeinek számát méri, olyan módon, hogy megadja, hány darab olyan cikke van, amelyre legalább  $h$  hivatkozás érkezett, tudományos munka épült. Cikkem írása pillanatában, a referált szakfolyóiratokban publikálva 47 olyan munkát közöltem, sok esetben társszerzőimmel közösen, amelyek közül mindegyikre legalább 47 hivatkozás érkezett, tehát a  $h$ -indexem 2012 végén, 2013 elején  $h = 47$ .

PHENIX-es kutatásaim kapcsán igen nagy örömet jelentett számomra, amikor megtudtam, hogy főleg ezen kutatási témának volt köszönhető, hogy világsők lettek a magyar hadronfizikusok az egy, 2000–2010 között megjelent hadronfizikai témájú cikkekre jutó hivatkozások területén: a témában magyar intézmények kutatói által jegyezve 194 tanulmány jelent meg, amelyekre összesen 7735 alkalommal hivatkoztak, ami átlagosan közel 40 hivatkozás/cikk. Ugyanezen mutató értéke a második helyezett esetén 32, a harmadik helyezett esetében pedig 30. Fontos tudni, hogy a magyar intézményeknél nyilvántartott hivatkozások jóval több, mint felét a PHENIX kollaboráció keretein belül szerzett közleményekre kaptuk. Ezek közül a cikkek közül 4 került be a szakterület 20 legidézettebb cikke közé, a vizsgált időszakban valamennyi magyar PHENIX-es cikk hivatkozottsági átlaga, saját elemzésünk szerint, több mint 70 hivatkozás/cikk volt. A PHENIX kísérlet magyar csoportjának szerepét, hozzájárulásait a <http://phenix.elte.hu> oldalon foglaltuk össze [14].

TOTEM-es kutatásaim eredményei közül a CERN LHC gyorsító 7 TeV-es tömegközépponti ütközési energiáin a p+p ütközések teljes szórási hatáskeresztmetszetének első kísérleti meghatározása emelkedik ki, amely azon túl, hogy bekerült az EPL „Best of 2011” fémjelzésű, válogatott cikkei közé, fontos, alapvető információt szolgáltat a többi LHC kísérlet mérései számára is. A TOTEM kísérletben dolgozó magyar csoport hozzájárulásait, szerepét a <http://totem.kfki.hu> oldalon foglaltuk össze [15].

Néhány társszerzős, kollaboráción kívüli kutatásaim közül nehéz kiválasztani a leginkább kedveset. Talán a legjelentősebb ilyen munkámnak egy újfajta szimmetria kísérleti megjelenésének kimutatását érzem, amely szerint két nagyon különböző tömegű részecske, az  $\eta(548)$  és az  $\eta'(958)$  tömege, a PHENIX és a STAR publikált adatok általunk végrehajtott új analízise szerint, hibán belül megegyezővé válnak az RHIC gyorsító Au+Au nehézion-ütközéseiben létrejövő közegben. Olyan ez, mintha egy ikerpár egyike túlsúlyos, a másikuk pedig normál súlyú lenne, de az

RHIC gyorsító ütközéseiben keletkezett folyadékba merülve hirtelen mind a ketten közel egyforma súlyúvá válnának. Ezt a munkát a Harvard Egyetem vendégkutatójaként, két magyarországi magyar kutatótársammal, *Vértesi Róbert*tel és *Sziklai Jánossal* közösen fejeztem be, eredményeinket a Nobel-díjas *Roy J. Glauber*, a Harvard Egyetem Mallinckrodt professzora mentorálta, és az amerikai fizikai társulat vezető folyóirata, a *Physical Review Letters* közölte.

Úgy vélem, hogy a fenti érdekességek, szép elismerések hűen tükrözik kutatásaink jelentős és magas szintű nemzetközi elismertségét, amelynek jó hírét *Simonyi Károly* fiáról, *Charles Simonyi*ről elnevezett, amerikai finanszírozású, hazai elbírálású ösztöndíj odaítélése tovább öregbíti. Mielőtt azonban kedves olvasóm megelégedetten dőlné hátra székében, érzékeltetni szeretném a kutatói szabadsághoz tartozó nehézségeket is: hazai pályázataim közül a közelmúltban a siker aránya meglehetősen alacsony volt, közelítőleg minden hatodik pályázatomból került támogatásra. Több esetben a jelentős nemzetközi elismerés hatására az újra beadott pályázatunk egy évvel később itthon is a nyertesek közé került. Úgy gondolom, hogy azért is fontos hírt adni a sikertelen pályázatokról is, hogy a tudományt finanszírozó hazai szervezetek, illetve az érdeklődő laikusok is láthassák, hogy milyen sok kiemelkedő tudós dolgozik Magyarországon.

## 2. rész:

### Köszönetnyilvánítás: eredményeink hazai és nemzetközi fogadtatásáról

Eredményeimet és érdemeimet nem érhettem volna el családom megértő támogatása és áldozatvállalása nélkül – ily módon rovom le hálámat és köszönetemet, csekély viszonzásul annak a sok jónak, amit családomtól kaptam. *Kiss Lajos* tanár úr, a gyöngyösi Berze Nagy János gimnázium legendás fizikatanára, *Németh Judit*, az ELTE TTK Elméleti Fizikai Tanszék professzora, diplomamunka témavezetőm és *Zimányi József*, a KFKI majd KFKI RMKI elméleti főosztályának kutatóprofesszora voltak mestereim, akik hatására a kutató fizikusok szabad, ámde küzdelmes életét választottam. Eredményem jelentős része tanítványaim kiváló munkájának is köszönhető: *Csanád Máté* (PhD, ELTE), *Novák Tamás* (PhD, Nijmegeni Egyetem), *Vértesi Róbert* (PhD, Debreceni Egyetem), *Nagy Márton* (PhD, ELTE), *Ster András*, *Nemes Frigyes* és *Vargyas Márton* – köszönöm az eddigi szép, sokszor váratlan fordulatokban és felfedezésekben is gazdag, közös kutatásokkal töltött éveket. Valamennyi társszerzőm, különösen a PHENIX és a TOTEM kísérletek tagjai részére is köszönetet szeretnék mondani. Ezen a helyen szeretnék köszönetet mondani ellenfeleimnek, azoknak a főleg hazai bírálóimnak is, akik kutatásaim folytatásáért végzett küzdelmeink során kerékkötőként, negatív bírálóként, vagy csendes és névtelenségbe burkolódzó kritikusaikként többször is jelentős akadályokat gördítettek elém és társszerzőim, tanít-

ványaim, kutatócsoportom elé, főleg a hazai pénzügyi támogatások forrásait zárva el előlünk több vagy kevesebb sikerrel. Noha jelentős energiákat vett igénybe az általuk támasztott akadályok leküzdése, mindig nagy örömet jelentett, amikor ez végre sikerült! Bírálataik, kritikáik pedig segítségünkre voltak kutatási céljaink és eredményeink pontosabb megfogalmazásában. Néha bizony szinte teljes sikerrel is jártak, és egy-egy kutatási projektünk megvalósítását, egy-egy lehetőséget alkalmanként teljesen sikerült elzárniuk előlünk. Ebben az esetben is hálával gondolok áldásos tevékenységükre: ugyanis, ha minden pályázatunk és próbálkozásunk sikerrel járt volna, akkor ez annyi munkát jelentett volna számomra, hogy családom számára alig maradt volna időm. Tehát legeredményesebb bírálóink és kritikusaink is pozitívan járultak hozzá szellemünk fejlődéséhez: nekik elsősorban azt a néhány szép napot és estét köszönöm, amelyet – kutatási támogatás híján – családom szűkebb körében, itthon tölthettem el. Köszönöm bírálóimnak azt is, hogy ráirányították figyelmemet a hazai támogatási rendszereink néhány hiányosságára, nevezetesen arra is, hogy a „hallgattassék meg a másik fél is” elvét nem csak a folyóiratokba beküldött cikkek esetében, hanem a tudományos pályázatok elbírálásakor is indokolt érvényesíteni. Kielézett helyzetekben, forráshiánnyal küszködő kutatók és pályázati rendszerek esetében ugyanis már egy-két negatív kritikai megjegyzés is a pályázat elutasításához vezethet. Ilyenkor válik a pályázók és a finanszírozó számára is létfonosságúvá az, hogy tényleg a legjobbak nyerjenek. Az utóbbi időben, személyes tapasztalataim szerint, az itthoni pályázati bírálók egyre inkább tudatára ébrednek annak, hogy akár néhány apró negatív kritikai észrevételük is a pályázat elutasításához vezethet. Nem lehet kizárni, hogy éppen egy tárgyi hiba vagy tévedés az, amin a negatív észrevétel néha alapul. Az ilyen tárgyi hibát, „tévedést” vétő bírálók kiszűrése a pályázati rendszerek jó, megbízható működése szempontjából is alapvető, és ismereteim szerint ennek egyetlen módja az, ha a megbírártakim lehetőséget biztosítunk a pályázati rendszerbe épített módon a bírálók esetleges tárgyi tévedéseinek kimutatására, a bírálatra adott válaszra, hasonlóan ahhoz, ahogyan a tudományos folyóiratokba beküldött cikkek bírálata esetén, illetve a tudományos fokozatok megszerzésekor elhangzó kritikák esetén is van lehetősége a publikálásra vagy fokozatszerzésre pályázó kutatóknak a válaszára és az esetleges félreértések tisztázására. Végül is mindannyian, bírálóként is és pályázói szerepben is, elsősorban emberek vagyunk, és akár véletlenül is tévedhetünk vagy hibázhatunk, amelynek negatív hatását, a tudomány fejlődése érdekében, célszerű minimalizálni.

Végezetül külön is szeretném megköszönni külföldi támogatóim áldásos tevékenységét. Ők még a legnehezebb helyzetekben, a teljes hazai támogatás hiánya esetén sem hagytak cserben, nekik, valamint a PHENIX és a TOTEM kísérlet vezetésének köszönhető, hogy a külföldi utazásokkal járó, és a berendezések üzemeltetési költségei miatt komoly anyagi forrásokat igénybe vevő kísérleti kutatásainkat a legnehe-

zebb időszakokban sem kellett teljes mértékben felüggeszteni, vagy megszakítani.

Köszönöm a kutatásainkat anyagilag finanszírozó, támogató szervezetek munkáját: a Magyar Tudományos Akadémia, az OTKA, a Fulbright Alapítvány, a HAESF, valamint az USA Energiaügyi Minisztériuma (DOE) és Külügyminisztériuma (State Department) támogatását. Ezúton szeretném kifejezni hálás köszönetemet a Charles Simonyi Alapítványnak kutatásaim támogatásáért, az ösztöndíj odaítéléséért, valamint *Szökefalvi-Nagy Zoltánnak*, az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont Rézszecke és Magfizikai Intézet igazgatójának a jelölési folyamat megindításáért, és a díjátadási ünnepségen elhangzott, jövőbe tekintő méltatásáért.

A következő számban kérem fogadják szeretettel előadásom harmadik részét, a kvarkanyag kutatásának és a Higgs-bozon keresésének kalandjaiba bevezető részecskés kártyajátékok ismertetését.

## Irodalom

1. L3 Collaboration, P. Achard, ..., T. Csörgő et al.: Test of the  $\tau$ -Model of Bose-Einstein Correlations and Reconstruction of the Source Function in Hadronic Z-boson Decay at LEP. *Eur. Phys. J. C* 71 (2011) 1648, arXiv:1105.4788 [hep-ex]
2. EHS/NA22 Collaboration, N. M. Agababyan, ..., T. Csörgő et al.: Estimation of hydrodynamical model parameters from the invariant spectrum and the Bose-Einstein correlations of  $\pi^-$  mesons produced in  $(\pi^+ / K^+)p$  interactions at 250 GeV/c. *Phys. Lett. B* 422 (1998) 359–368, hep-ex/9711009
3. TOTEM Collaboration, G. Antchev, ..., T. Csörgő et al.: First measurement of the total proton-proton cross-section at the LHC energy of  $\sqrt{s} = 7$  TeV. *Eur. Phys. Lett. B* 96 (2011) 21002.
4. F. Nemes, T. Csörgő: Detailed Analysis of p+p Elastic Scattering Data in the Quark-Diquark Model of Bialas and Bzdak from  $\sqrt{s} = 23.5$  GeV to 7 TeV. *Int. J. Mod. Phys. A* 27 (2012) 1250175.
5. T. Csörgő, W. Kittel, W. Metzger, T. Novák: Parametrization of Bose-Einstein Correlations and Reconstruction of the Space-Time Evolution of Pion Production in  $e^+e^-$  Annihilation. *Phys. Lett. B* 663 (2008) 214–216, arXiv:0803.3528 [hep-ph]
6. PHENIX Collaboration, K. Adcox, ..., T. Csörgő et al.: Formation of dense partonic matter in relativistic nucleus-nucleus collisions at RHIC: Experimental evaluation by the PHENIX collaboration. *Nucl. Phys. A* 757 (2005) 184–283, nucl-ex/0410003
7. Magyar fizikusok az idezettségi ranglista élén, a Magyar Tudományos Akadémia portálján. [http://mta.hu/tudomany\\_hirei/magyar-fizikusok-az-idezettségi-ranglista-elen-126682](http://mta.hu/tudomany_hirei/magyar-fizikusok-az-idezettségi-ranglista-elen-126682)
8. T. Csörgő: Particle interferometry from 40-MeV to 40-TeV. *Heavy Ion Phys.* 15 (2002) 1–80, hep-ph/0001233
9. T. Csörgő, J. Zimányi: Analytic solution of the pion – laser model. *Phys. Rev. Lett.* 80 (1998) 916–918, hep-ph/9705433
10. T. Csörgő, L. P. Csernai, Y. Hama, T. Kodama: Simple solutions of relativistic hydrodynamics for systems with ellipsoidal symmetry. *Heavy Ion Phys.* A21 (2004) 73–84, nucl-th/0306004
11. T. Csörgő, S. V. Akkelin, Y. Hama, B. Lukács, Yu. M. Sinyukov: Observables and initial conditions for self-similar ellipsoidal flows. *Phys. Rev. C* 67 (2003) 034904, arXiv:hep-ph/0108067
12. M. Csanád, T. Csörgő, B. Lörstad: Buda-Lund hydro model for ellipsoidally symmetric fireballs and the elliptic flow at RHIC. *Nucl. Phys. A* 742 (2004) 80–94, arXiv:nucl-th/0310040
13. M. Csanád, T. Csörgő, A. Ster, B. Lörstad, N. N. Ajitanand, J. M. Alexander, P. Chung, W. G. Holzmann, M. Issah, R. A. Lacey: Universal scaling of the elliptic flow data at RHIC. *Eur. Phys. J. A* 38 (2008) 363–368.
14. A PHENIX nehézionfizikai és részecskefizikai kísérlet magyar csoportjának kutatásairól, szerepéről a PHENIX kísérletben bővebben: <http://phenix.elte.hu>
15. A CERN LHC TOTEM kísérlet magyar csoportjának részecskefizikai kutatásairól, szerepéről a TOTEM kísérletben bővebben: <http://totem.kfki.hu>

# LÉGNYOMÁS MAGASSÁGFÜGGÉSÉNEK MÉRÉSE A CERN-I TANULMÁNYÚTON

Riedel Miklós – ELTE TTK Fizikai Kémiai Tanszék  
 Ágoston Istvánné – Vasvári Pál Gimnázium, Székesfehérvár  
 Fekete Pál Péter – Pápai Református Kollégium Gimnáziuma  
 Gulácsy Géza – Munkácsi Szent István Líceum, Ukrajna

A ma már könnyen és olcsón beszerezhető precíziós elektronikus barométerekkel jól demonstrálható a légnyomás magasságfüggése. Akár 2 méter szintkülönbség is jól észlelhető effektust (körülbelül 0,1-0,2 hPa) ad, néhány emeletnyi liftezés során pedig a jelenség látványosan követhető. A barometrikus magasságformula kiméréséhez viszont magashegyi utazás szükséges, amire csak ritkán adódik lehetőség. Egy ilyen kiváló alkalom volt a fizikatanárok számára a CERN-i tanulmányúthoz kapcsolódó szakmai kirándulás a Francia-Alpokba. Beszámolónk e kísérleteket ismerteti.

## Elméleti háttér

A légnyomás nagyságát elsőként *Torricelli* állapította meg 1643-ban, nem sokkal később *Pascal* és *Perier* kimutatta a légnyomás magassággal való csökkenését a Puy de Dôme hegyen 800 m magasságkülönbségnél végzett nevezetes kísérlettel (1648). Ezen előzetes tapasztalatok ismeretében és a hordozható műszerek megkonstruálása után a barométert 1705 óta használják magasságmérésre (*Halley*) [1–3]. Érdekességként megemlítjük, hogy *Townson* 1793-as magyarországi útja során valószínűleg elsőként végzett hazánkban barometrikus magasságmérést: a Magas-Tátra néhány csúcsának magasságát határozta meg mai tudásunk szerint is figyelemre méltó pontossággal. 1802-ben pedig *Kitaibel Pál* végzett magasságmérést légnyomásértékek alapján horvátországi útján a Velebit-hegységben [4].

Nem túl nagy magasságkülönbségeknél a levegő sűrűsége közel állandónak tekinthető, és így alkalmazható a

$$\Delta p = \rho g \Delta h$$

összefüggés. A levegő sűrűsége 0 °C-on és 1 bar nyomáson 1,293 kg/m<sup>3</sup>, így a nyomáscsökkenés méterenként körülbelül 0,1 hPa. Ha a sűrűségváltozás már nem elhanyagolható, a levegő nyomását a magasság függvényében az úgynevezett barometrikus magasságformula adja meg. Ez levezethető a tökéletes gáz

A mérésben részt vettek: *Riedel Miklós* (vezető), *Ágoston Istvánné*, *Dezamicsné Babich Gertrud*, *Fekete Pál Péter*, *Fekete Ildikó Irén*, *Ferenczi Tamás*, *Gulácsy Géza*, *Hollósy Ferenc*, *Szabó József*, *Szabó Józsefné*, *Szillási Zoltán*, *Szuákné Gaál Rózsa*, *Újbelyi Zsigmond*.

Köszönetet mondunk *Szekerka József*-nek és *Kovács Bélának* (ELTE Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék) a szakmai tanácsokért és a kézi GPS kölcsönzéséért.

állapotegyenletéből és a hidrosztatikai nyomás összefüggéséből azonos hőmérsékletű légeoszlopot feltételezve (izoterm atmoszféra)

$$p = p_0 \exp\left(-\frac{\rho_0 g}{p_0} b\right),$$

ahol  $p_0$  a légnyomás,  $\rho_0$  a levegő (hőmérséklettől is függő) sűrűsége a tengerszinten,  $g$  a gravitációs gyorsulás. A tengerszinten ( $b_0$ ) a légnyomás átlagosan 1013 hPa. Bármilyen más pontban a

$$\frac{\rho}{p} = \frac{\rho_0}{p_0}$$

arány állandó. A fenti összefüggés

$$p = p_0 \exp\left(-\frac{Mg}{RT} b\right)$$

alakban is felírható, ahol  $M$  a levegő átlagos moláris tömege (28,96 g/mol),  $R$  a moláris gázállandó,  $T$  a termodinamikai hőmérséklet [5–7]. A formula tehát csak akkor érvényes, ha a levegő hőmérséklete a magasság függvényében nem változik, egyébként az úgynevezett adiabatikus közelítést, vagy még általánosabban a politróp állapotváltozást lehet alkalmazni [5]. Ezekre itt nem térünk ki.

Mivel a légnyomás nagysága egyebek mellett (például időjárás-változás) függ az észlelőhely tengerszint feletti magasságától, a légnyomás mérése lehetőséget ad a magasság meghatározására (1. táblázat). A barométeres magasságmérés általános szabálya, hogy a méréseket olyankor lehet elvégezni, amikor a légnyomás hirtelen változása nem várható. A légnyomás alapján való magasságmérésre empirikus összefüggé-

1. táblázat		
A légkörre vonatkozó tájékoztató nyomás- és hőmérsékletadatok		
$h$ (m)	$p$ (hPa)	$T$ (K)
0	1013	288,0
1000	899	281,5
2000	795	275,0
3000	701	268,5
4000	616	262,0



sek és táblázatok vannak, amelyeket egyebek mellett a földrajzi helyzet meghatározásánál, valamint a légi közlekedésben használtak és esetenként használnak ma is. A barométeres magasságmérés csak korlátozott pontosságú eredményt ad, ez 1000 m-es magasságoknál 4-5 m-re tehető [8–11].

## Mérési feladatok, kísérleti eszközök

A fizikatanárok CERN-i tanulmányútja során a mérőcsoport tagjai két kísérletet végeztek el:

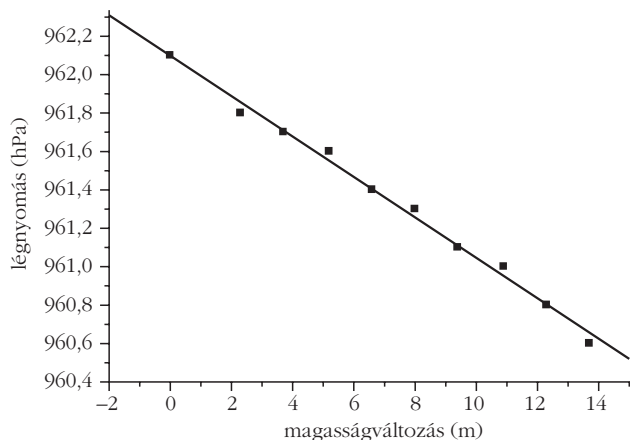
- a légnyomásváltozás észlelését kisebb magasságkülönbségek esetén egy többemeletes épület szintjein mérve,

- a barometrikus magasságformula kimérését nagy magasságkülönbségeknél a Mont Blanc melletti Aiguille-du-Midi csúcsra (3842 m) való buszutazás és a felvonótúrák során.

A kísérletekhez Lufft C300 típusú 0,1 hPa felbontású elektronikus barométert, Garmin eTrex Legend HCX kézi GPS-t, Greisinger GTH 175/Pt ellenálláshőmérőt és a kis magasságok mérésére mérőszalagot használtunk. Esetenként összehasonlításként a magasságot mértük még okos telefonnal, a légnyomást elektronikus turista műszerrel is.

Az elektronikus barométerek működése azon a jelenségen alapszik, hogy a szilárd testek (kristályok) ellenállása mechanikai feszültség hatására megváltozik (piezo-ellenállási effektus). A jelenséget *Lord Kelvin* fedezte fel fémeknél (1856). A félvezetők (szilícium, germánium) piezo-ellenállási effektusa a fémekéhez képest sokkal nagyobb. Ezt 1954-ben ismerték fel (*Smith*). A barométerben egy megfelelően kialakított szilícium félvezető integrált áramkörti elem van. Ez egy membrán, amely deformálódik (meghajlik), ha nyomáskülönbség van a lemez két oldalán. A deformáció következményeként a lemez elektromos ellenállása megváltozik, a műszer ezt az ellenállást méri. A lemez egyik oldalán a nyomás állandó, a másik oldalán a mindenkor légnymás uralkodik. A műszer közvetlenül a légnyomást jelzi ki [12].

A műholdas helymeghatározás három egyidejű távolságmérésen alapszik, ez a felhasználó GPS-vevőjének távolsága minimum három, e célra felbocsátott műholdtól. A három ismert sugarú és középpontú gömb metszése adja a földi pont ismeretlen helyzetét. Az eszköz a műhold által kibocsátott rádiójel beérkezésének időpontját méri, és a fénysebességgel terjedő rádiójel futási idejéből határozza meg a távolságot. A mérési hibák csökkentése érdekében az észleléshez három helyett legalább négy műhold észlelésére van szükség. Több műhold egyidejű észlelése nagyobb pontosságot eredményez, mert kiválasztható az optimális jelerősségű négy. Lényeges az is, hogy a GPS-vevő által látott műholdak aránylag egyenletesen helyezkedjenek el az égbolton. A mérés vízszintes irányban általában pontosabb, mint függőlegesen, azaz a magasságmeghatározásnál. Ilyen irányban a hiba az előzőnek körülbelül kétszerese [13].



1. ábra. A légnyomás változása a magassággal kis magasságkülönbségeknél.

## Mérések, eredmények és tapasztalatok

Kis magasságkülönbségek esetén a méréssorozatot 2012. augusztus 13-án a CERN egyik négyzetes épületének tűzlépcsőjén végeztük el, a bejárható teljes magasság 14 m volt. A GPS ilyen kis magasságkülönbségeknél megbízhatatlan eredményeket adott, a műszer által kijelzett hiba a teljes magasságkülönbséghez képest nagy volt (4–7 m), ezért az egyes légnyomás-mérési szintek magasságát mérőszalaggal állapítottuk meg a talajszinttől mérve. A mérés teljes ideje körülbelül 15 perc volt, ezalatt a légnyomás a légköri viszonyok miatt nem változhatott meg.

A mérési pontokra egyenest illesztettünk (1. ábra). Látható, hogy ilyen kis magasságkülönbségeknél a  $p(h)$  függvény valóban lineáris, a méterenkénti nyomáskülönbség 0,105 hPa-nak adódott az irodalomból ismert adatoknak megfelelően.

A nagy (több ezer) méteres szintkülönbségek esetén az exponenciális magasságfüggésnek már meg kell mutatkoznia. Ennek kimérésére – azaz a barometrikus magasságformula kísérleti tanulmányozására – a tanulmányút során az Aiguille-du-Midi csúcsra történő túra során volt lehetőség (2012. augusztus 18).

A méréssorozatban megmértük a légnyomást a CERN területén (430 m tengerszint feletti magasság), a Chamonix-ba vivő autóbuszút során több helyen (800–1040 m), a csúcsra vivő drótkötélpálya mindkét szakaszán a mozgó felvonókabinban, valamint a köztes és a csúcson lévő kilátó teraszokon 3842 m maximális magasságig. A légnyomás leolvasását a felvonótúrák során körülbelül 100 méterenként végeztük el a GPS-szel megállapított helyzetekben.

A méréssorozatot nyugodt légköri viszonyok között viszonylag rövid időn belül a kora délelőtti órákban (körülbelül 180 perc) végeztük el, így feltételezhető, hogy a légnyomás (és annak eloszlása) a légköri események miatt nem változott. Különösen érvényes ez a felvonóval megtett mintegy 20-25 perces, 2400 m szintkülönbséget átfogó szakaszra. A levegő hőmérséklete mindeközben természetesen változott a felfelé való út során következőképpen: CERN: 16,9 °C, Cha-



2. ábra. Egyidejű légnyomásmérés és helymeghatározás a felvonókabin ablakánál a pontos magasságmeghatározás érdekében.

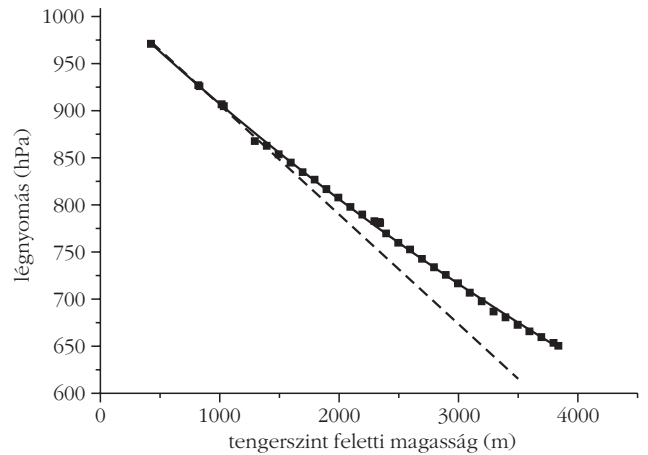
monix,  $16,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a csúcson  $9,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ez azonban a termodinamikai hőmérsékletskálán ( $T$ ) csak körülbelül 2% változásnak felel meg, így az izoterm közelítéssel nem követünk el súlyos hibát.

A felvonó nagy sebessége miatt a mérés nagy figyelmet és több ember gondos együttműködését kívánta meg. Ugyanabban a pillanatban kellett a két műszert leolvasni, és az adatokat a magasságmérés hibájával együtt (az előre elkészített táblázatba) feljegyezni (2. ábra).

Az út egy részén a légnyomást egy turisztikai célú elektronikus barométerrel is mértük. Ez utóbbi szisztematikusan  $2,6\text{ hPa}$ -lal kisebb légnyomásértéket mutatott – feltehetően a napi kalibrációjához szükséges, önkényesen alkalmazott, tengerszintre érvényes légnyomásérték miatt. A mérés átlagos pontossága a GPS szerint 3D-ben 4-8 m volt. A lefelé úton csak az alsó felvonószakaszon tudtunk magasságot mérni a műholdak nem kellő láthatósága miatt. Az itt mért nyomásadatok azonos magasságban átlagosan  $5,1\text{ hPa}$ -lal nagyobbak voltak a felfelé való út során mért adatokhoz képest. Ennek egyik lehetséges okát abban látjuk, hogy a nyomás leolvasása néhány másodperccel a magasság-leolvasás után történt, és ezalatt a nagy sebességű felvonó már feljebb, illetve lejjebb tartózkodott.

A mérési pontokra a barometrikus magasságformulának megfelelő exponenciális függvényt illesztettük (3. ábra). Látható, hogy a görbe az illesztett paraméterekkel jól fekszik a mérési pontokra, az exponenciális görbület is egyértelműen kivehető. Az illesztés alapján a tengerszintre számított légnyomás  $1021,2\text{ hPa}$ , az exponens paramétere pedig

$$\frac{p_0}{\rho_0 g} = 8454\text{ m},$$



3. ábra. A légnyomás a tengerszint feletti magasság függvényében körülbelül 3200 m szintkülönbség-tartományban (a kis magasságkülönbségekhez tartozó egyenes arányosság feltüntetésével).

amelyből a levegő normál sűrűségére  $\rho_0 = 1,23\text{ kg/m}^3$  adódik, az irodalmi adatoknak jól megfelelően.

## Tanulságok, megfontolások az oktatásban való alkalmazhatóságra

Kétségtelen, hogy a standard iskolai tananyag mostohán bánik a hidrosztatika témakörével, a légnyomásról, a barométerről pedig lényegében nem is esik szó [14, 15], holott ezek gyakorlati, mindennapi jelentőségét itt nem is kell hangsúlyoznunk. Ennek ellenére – vagy éppen ezért – nagy örömet okozhat érdeklődő diákjainknak, ha egy elektronikus barométerrel a kezükben bejárják az iskolaépület emeleit, és azonnal számszerűen észlelik a légnyomás magasságfüggését. Esetleg eljutnak egy-egy magasabb hegyre is, ahol nem csak a táj szépségét élvezhetik, hanem a fizika jelenlétét, annak szépségét is. Érdekes lehet az a tény is, hogy a ma már szinte mindennapos GPS nem csak a helyes útirány kijelölésére, hanem magasságmérésre is használható.

Külön tanulsága lehet annak, ha a diákjaink elvégzik a Torricelli-kísérlet egy egyszerű és látványos változatát is, amelyet a fizikatanár-csapat ugyancsak kipróbált a CERN-i tanulmányút során különböző tengerszint feletti magasságokban [16]. Jó példája lehet a kvalitatív és kvantitatív észlelések összevetésének, ha  $0,1\text{ hPa}$  érzékenységgű elektronikus barométerrel mérjük a légnyomás változását 1-2 m szintkülönbségnél, és ugyanakkor bemutatjuk az ismert kísérletet a Behn-féle csővel, amely ugyancsak a gázok nyomásának magassággal való csökkenésén alapul [5]. Érdeemes megjegyezni, hogy a kémények huzatát is a barometrikus magasságformula alapján lehet megmagyarázni. A kémény felső nyílásánál a külső és a belső nyomás egyenlő. Lefelé haladva a kéményben a meleg és ezért a kisebb sűrűségű gázok nyomása kisebb mértékben növekszik, mint a nagyobb sűrűségű, külső levegőé. Ennek következtében az alsó nyílásnál kívül nagyobb a nyomás, mint belül, ezért a külső levegő behatol a kályhába. A huzat annál jobb, minél hosszabb a kémény [5].

Az e cikkben említett eszközök ára és beszerezhetősége tekintetében ne legyen aggodalmunk. Mint minden elektronikus eszköznek, ezeknek is rohamosan csökken az ára, némelyik már mindennapos eszköznek tekinthető (GPS, elektronikus tájoló, magasságmérő). Az eszközök legtöbbje már ma is a tízezer forintos kategóriába esik. A tengerszint feletti magasság egyidejű, folyamatos méréséhez kézi GPS kell, de erre a célra ma már egy kellően „okos” telefon GPS funkciója is megfelelő.

Teljesen egyetérthetünk az egyik, a mérésekben részt vett kollégánk gondolataival, miszerint a mérések során érezhettük igazán, hogy milyen nagy műszaki és tudományos teljesítmény lehetett ezek kivitelezése az adott korban – Torricelli, Pascal, Halley, Kitaibel idejében –, amikor még nem álltak rendelkezésre olyan könnyen kezelhető, gyors és áruházi szinten kapható eszközök és műszerek, mint napjainkban. Mi magunk, okulva a kísérletekből, átadhatjuk a kísérletezés örömét a tanulóknak. Ha sikerül náluk elérni a rácsodálkozást – már nyert ügyünk van!

## Irodalom

1. Simonyi K.: *A fizika kultúrtörténete*. Gondolat Kiadó, Budapest, 1981.
2. <http://www.1911encyclopedia.org/Barometer>
3. <http://mek.niif.hu/00000/00060/html/036/pc003697.html>
4. Both M.: PhD disszertáció, Miskolci Egyetem, 2009, [http://www.document\\_5664\\_section\\_1423.pdf](http://www.document_5664_section_1423.pdf)
5. Budó Á., Pócza J.: *Kísérleti fizika I.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1965.
6. Budó Á.: *Mechanika*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1965.
7. [http://en.wikipedia.org/wiki/Barometric\\_formula](http://en.wikipedia.org/wiki/Barometric_formula)
8. F. Kohlrausch: *Praktische Physik*. B. G. Teubner Vlg. Leipzig, 1951.
9. Karsay F.: *Geodézia*. (egyetemi jegyzet) Tankönyvkiadó, Budapest, 1978.
10. *Természettudományi Lexikon*. (Főszerk.: Erdey-Grúz T.) Akadémiai Kiadó, Budapest, 1964.
11. <http://hu.wikipedia.org/wiki/Nyom%C3%A1smagass%C3%A1g>
12. [http://en.wikipedia.org/wiki/Piezoresistive\\_effect](http://en.wikipedia.org/wiki/Piezoresistive_effect)
13. [http://www.geo.info.hu/portal2007/images/stories/bgy/nepszeru\\_gnss\\_1\\_resz\\_alapok.pdf](http://www.geo.info.hu/portal2007/images/stories/bgy/nepszeru_gnss_1_resz_alapok.pdf)
14. Gulyás J., Rácz M., Tomcsányi P., Varga A.: *Fizika. Ennyit kell(ene) tudnod*. Akkord és Panem Kft., Budapest, 1995.
15. Halász T., Jurisits J., Szűcs J.: *Fizika középfel- és emelt szintű érettségire készülőknek*. Mozaik kiadó, Szeged, 2004.
16. Fekete P. P.: Torricelli kísérlete (a CERN-ben és a Mont Blanc-on), 2012.

## HÍREK – ESEMÉNYEK

### A TÁRSULATI ÉLET HÍREI

#### Magyar Fizikus Vándorgyűlés, Debrecen, 2013. augusztus 21–24.

A szokásos hároméves periódusnak megfelelően, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Elnökségének döntése alapján idén ismét megrendezzük a Magyar Fizikus Vándorgyűlést. A magyar fizikusok és fizikatanárok legáltalánosabb és legátfogóbb konferenciájának ezúttal a Debreceni Egyetem és az MTA Atommagkutató Intézet ad otthont 2013. augusztus 21. és 24. között.

A Vándorgyűlés célja, hogy áttekintse a magyar fizikai kutatások legújabb eredményeit és jövőbeni fejlődési lehetőségeit. A programban lehetőséget kívánunk nyújtani minden kutatási területnek, ahol magyar fizikusok lényeges eredményeket értek el az



elmúlt három évben. Meghívott előadások, plenáris és parallel előadások mellett posztereken mutatják el eredményeiket a hazai és határon túli magyar fizikusok, fizikatanárok, doktoranduszok. Az idén megrendezésre kerülő találkozó programjában, amelyre a határon túli magyar résztvevőket is várjuk, a részecskefizika kap kiemelt szerepet.

A vándorgyűlésen elhangzott előadásokból cikkgyűjteményt nem készítünk, azonban a konferencia után a *Fizikai Szemlé*ben közöljük a meghívott előadásokat és a szakcsoportok összefoglalóit a témakörükben elhangzott előadásokról. A konferencia részletes programja és a jelentkezési határidők a konferencia honlapján tekinthetők meg. A 2013. évi Ma-



Az Eötvös Társulat főt van a **facebook**-on!



<https://www.facebook.com/pages/Eötvös-Loránd-Fizikai-Társulat/434140519998696?fref=ts>

gyar Fizikus Vándorgyűlés meghívott előadói és előadásaik címei:

*Asbóth János* (MTA Wigner FK): Topológikus szigetelők: valódi anyagok és modellrendszerek.

*Berkó András* (MTA–SZTE Reakciókinetikai és Felületkémiai Kutatócsoport): Önszerveződő nanoszerkezetek oxid-fém határfelületeken.

*Bíró Tamás* (MTA Wigner FK): Mi mindennek lehet hőmérséklete?, valamint Az Európai Fizikai Folyóirat: EPJ.

*Donkó Zoltán* (MTA Wigner FK): Franck–Hertz-kísérlet: 100 éve és ma.

*Erdélyi Zoltán* (Debreceni Egyetem): Diffúzió és szilárdtest-reakció egy tű hegyén.

*Fülöp Tamás* (MTA Wigner FK): Közegek rugalmas és képlékeny folyamatai – egy új szemlélet hozadéka.

*Gali Ádám* (MTA Wigner FK): Biomarkerek tervezése ab-initio módszerekkel.

*Hartmann Péter* (MTA Wigner FK): Poros plazma: az anyagtudomány svájci bicskája.

*Kiss Csaba* (MTA CSFK): A Herschel-űrtávcső és a külső Naprendszer.

*Kovács András* (MTA TK MFA): Atomok nagytölcse alatt: modern transzmissziós elektronmikroszkópia az anyagtudományban.

*Lábár János* (MTA TK MFA): Nanoszerkezetű anyagok vizsgálata diffrakcióval TEM-ben.

*Len Adél* (MTA Wigner FK): Nanoszerkezet-kutatás neutronszórással az anyagtudományban.

*Lévai Péter* (MTA Wigner FK): A nagyenergiás részecskefizika európai stratégiája.

*Martinás Katalin* (ELTE): Miért kell az exergiót megismerni és megismertetni?

*Márk Géza* (MTA TK MFA): Lehet-e tökéletes nanoelektronikai eszközöket készíteni tökéletlen grafénből?

*Nógrádi Dániel* (ELTE): Összetett-e a Higgs-részecske?

*Osán János* (MTA AEKI): Bodai Agyagkő Formáció radionuklid-megkötésének mikroskálájú jellemzése szinkrotronsugárzással.

*Oszlányi Gábor* (MTA Wigner FK): Egy meglepően egyszerű algoritmus kristályszerkezetek meghatározására.

*Pásztor Gabriella* (Genfi Egyetem): Higgs-bozon – a felfedezés után.

*Pusztai László* (MTA Wigner FK): Folyadékok diffrakciós vizsgálata Monte-Carlo szimulációval.

*Rosta László* (MTA Wigner FK): Neutronok a régészetben.

*Szabó György* (MTA TK MFA): Evolúciós potenciáljátékok.

*Szabó Gyula* (MTA CSFK): A planéták diszkrét bája – meglepő fizikai folyamatok távoli naprendszerekben.

*Vankó György* (MTA Wigner FK): Első lépések a molekuláris mozi felé.

*Varga Dezső* (ELTE): A részecskefizikai detektorok jelene és jövője.

*Vinkó József* (SZTE): Új típusú szupernóva-robbanások.

*Wolf György* (MTA Wigner FK): Hadronok közegben és a QCD szimmetriái.

Továbbá *Ábrahám László* (National Instruments), *Dóra Balázs* (BME), *Dzsotján Dávid* (MTA Wigner FK), *Fülöp József* (PTE), *Kiss László* (MTA CSFK), *Keresztúri András* (MTA EK), *Kun Ferenc* (DE), *Mezei Ferenc* (MTA Wigner FK), *Pozsgay Balázs* (MTA–BME Statisztikus Térelmélet Kutatócsoport), *Rácz István* (MTA Wigner FK), *Siklér Ferenc* (MTA Wigner FK).

Szeretettel várjuk a fizikatanárokat és a fizikusokat Debrecenben. A találkozó honlapja: [http://www.atomki.mta.hu/Magyar\\_Fizikus\\_Vandorgyules\\_2013](http://www.atomki.mta.hu/Magyar_Fizikus_Vandorgyules_2013)

## AZ AKADÉMIAI ÉLET HÍREI

### Fizikai díjakat adtak át az Akadémián

Kiemelkedő elméleti fizikai eredményeiért *Palla László*, az MTA doktora, az ELTE Fizikai Intézete tanszékvezető egyetemi tanára kapta idén a Fizikai Fődíjat. A tudós a Fizikai Tudományok Osztálya által adományozott elismerést a Magyar Tudományos Akadémia 184. közgyűléséhez kapcsolódó tudományos ülésen vette át. Nevezett a kvantumtérelmélet és a hűrelmélet témájában végzett kimagasló kutatásai mellett oktatómunkájáért, a tudományos utánpótlás képzésében játszott meghatározó szerepéért és tudománydiplómiai tevékenységéért részesült az elismerésben. Tudományos eredményei jelentőségét 113 publikáció és több mint 1500 független hivatkozás mutatja. Az MTA doktora „központi szerepet játszik a magyar elméleti-matematikai fizika egyik meghatározó irányzatának továbbvite-

lében, tevékenysége joggal nevezhető iskolateremtőnek” – áll a munkásságát összefoglaló méltatásban.

Fizikai Díjat kapott *Simon Ferenc*, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem egyetemi tanára, a Bécsi Egyetem habilitált magántanára. Az MTA doktora szilárdtest-spektroszkópiái módszerekkel végzett kutatásaiért vehette át az elismerést, amelyek során a modern anyagok széles körét – beleértve a magas hőmérsékletű szupravezetőket, a fulleréneket, a manganátokat, a szénnanocsöveket és újabban a grafént – vizsgálta. Simon Ferenc emellett elméleti leírására is nagy hangsúlyt fektet. Elméleti és kísérleti témákat egyaránt felölelő spintronikai kutatásait az Európai Kutatási Tanács (ERC) Starting Grant ösztöndíjjal támogatja.

Szintén Fizikai Díjban részesült *Cserti József*, az MTA doktora, az Eötvös Loránd Tudományegyetem docense, aki legjelentősebb eredményeit a grafén vizsgálatában érte el. A szakterület kutatásába már 2006-ban bekapcsolódott, e tárgyú munkáira csaknem 250-szer hivatkoztak. A korábbi években, a normál-szupravezető

hibrid rendszerek elektronikus transzporttulajdonságait alapvetően befolyásoló Andrejev-reflexió tanulmányozása során szerzett ismeretei egy újabban nemzetközileg nagy érdeklődést kiváltó témában, a topologikus szigetelők és szupravezető rendszerek vizsgálatában hozhatnak jelentős eredményeket.

## Átadták a Hevesy György-díjakat

A Hevesy György-díjat 2006-ban közösen alapította a Magyar Tudományos Akadémia (MTA) és az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. (PA Zrt.). *Hevesy György* (1885–1966) magyar vegyész, a radioaktív nyomelemzés Nobel-díjas tudósa, aki felfedezésével megalapozta a nukleáris orvostudományt.

A nukleáris biztonság területén elért kiemelkedő eredményeiért idén négy szakembernek ítelték oda a Hevesy György-díjat. Az MTA, a PA Zrt., valamint a Somos Alapítvány a védelmi és biztonsági oktatásért és kutatásért közös díját két kategóriában osztották ki.

A kuratórium ebben az évben az első kategóriában két teljes értékű díj odaítéléséről döntött. Az egyiket *Gadó János*, az MTA Energiatudományi Kutatóközpont munkatársa, korábbi igazgatója kapta. A másikat *Gimesi Ottónak* és *Fehér Istvánnak* megosztva ítélte oda a kuratórium. A második (35 év alattiak PhD-dolgozatait jutalmazó) kategóriában *Panka István* fizikust díjazták – tájékoztatta a PA Zrt. szerdán az MTI-t.

Gadó János kezdeményezte, majd irányította a PA Zrt. blokkjainak biztonságát értékelő projektet, illetve nagy szerepe volt, hogy 2008-ban visszazállították Oroszországba a budapesti kutatóreaktor kiegészítő elemeit és a kutatóreaktor áttért a kis dúsítású fűtőelemek használatára.

Gimesi Ottó, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem nyugalmazott tanára a radioaktív jódizotópok kémiai formáinak meghatározásával kapcsolatos kutatásaival és módszerfejlesztéseivel járult hozzá az atomerőmű nukleáris biztonságának erősítéséhez.

Fehér István állami díjas vegyész pedig a PA Zrt. világszínvonalú környezetellenőrző rendszerének kidolgozásával és megvalósításával segítette a nukleáris fejlődést – írták a közleményben.

Panka István, aki 2010-ben szerezte meg doktori fokozatát, a nukleáris biztonság témakörében írt PhD-dolgozatáért kapta meg az elismerést.

## Szupergyors adatátvitel a CERN genfi és budapesti telephelyei között

Nagysebességű adatösszeköttetést hoz létre a világ legnagyobb részecskegyorsítóját üzemeltető CERN genfi és budapesti telephelyei között a Deutsche Telekom csoport.

A másodpercenként akár 100 gigabites adatátviteli sebesség támogatására képes hálózat összeköttetést teremt az Európai Nukleáris Kutatási Szervezet (CERN) genfi adatközpontja és az újonnan alapított budapesti kihelyezett adatközpont között, amelyet az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont működtet.

Genfben üzemelteti a CERN a Nagy Hadronütköztetőt (LHC). Ez a létesítmény lehetővé teszi a tudósok számára, hogy tanulmányozzák az anyag szerkezetét

és az elemi részecskék közötti alapvető kölcsönhatásokat. A kísérletek során hatalmas adatmennyiség keletkezik. Ezek feldolgozásához a CERN és partnerintézményei egy megosztott számítógépes rendszert hoztak létre. A világon több mint tízezer kutató használja kísérleteihez a CERN számítógépes infrastruktúráját.

A Wigner adatközponttal a CERN célja további információtechnológiai kapacitások létesítése a kutatókhoz. A számítógépes rendszerek hatalmas adatmennyiséget lesznek képesek továbbítani a Deutsche Telekom nagysebességű ICCS összeköttetésén keresztül a genfi és a budapesti telephelyek között.

## Magyarországon először az MTA Wigner Kutatóközpontban állítottak elő extrém rövid fényfelvillanást

A másodperc egymilliárdod részének milliárdod része alatt bekövetkező, úgynevezett attoszekundumos időtartamú fényimpulzusokat sikerült létrehozniuk a Magyar Tudományos Akadémia Wigner Fizikai Kutatóközpont kutatóinak.

Az ember által kontrolláltan előállított és időben felbontva megmért leggyorsabb esemény a fény rendkívül rövid, attoszekundumos időtartam alatt bekövetkező felvillanása. A fizikai és kémiai alapjelenségek vizsgálatához az elmúlt évtizedben jelentős eredmé-

nyekkel hozzájáruló attotudomány napjaink egyik fontos kutatási területének számít, létrejöttében az MTA kutatóinak is nagy szerepük volt. Az Akadémia akkori Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézetének két kutatója, *Farkas Győző* és *Tóth Csaba* 1992-ben kidolgozott elmélete és javaslata nyomán ugyanis elsőként *Krausz Ferenc*, az MTA külső tagja mutatta ki 2001-ben a Bécsi Műszaki Egyetemen az ilyen rendkívül rövid időtartamú impulzusok létezését.

Az MTA kutatói jelenleg is az attotudomány hazai előmozdításának kulcsszereplői. Az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpontban az Ultragyors és Attoszekundumos Fizikai Kutatócsoport (*Dombi Péter*), a Plazmafizikai Osztály (*Földes István*), valamint a Lézeralkalmazási Csoport (*Czitrovsky Aladár*) tagjai tavaly építették meg az attoszekundumos impulzusok keltésére alkalmas lézerrendszert és kísérleti kamrát. Az ott folytatott kisenergiájú modellkísérletek legújabb eredményeként Magyarországon először sikerült a másodperc egymilliárdod részének milliárdod része alatt bekövetkező fényfelvillanás-sorozatot előállítani.

Az attotudomány eredményei nemcsak a fizikában, hanem más kutatási területeken is új lehetőségeket nyitnak. „Az átalakulásuk közben rövid impulzusokkal »letapogatott« atomok esetében ezen impulzusok alkalmazása elmélyítheti a kutatásokat, mint ahogyan bizonyos kémiai átalakulásoknál is, amelyek esetében magának a folyamatnak a dinamikáját lehet vizsgálni. Erre jelenleg nem létezik más módszer” – mondta Czitrovsky Aladár, hozzátéve, hogy az attoszekundumos impulzusokhoz szükséges lézertechnológiával olyan, a sugárterápiában használható hadronnyalábot is létre lehet hozni, amellyel pontosabban és nagyobb hatásokkal végezhető el a gyógyító kezelések. Arra a szegedi nagyberendezés működésének elindulása után sem lehet számítani, hogy a kutatók a fényfelvillanások impulzushosszát nagyságrendekkel tovább tudják csökkenteni, arra azonban igen, hogy a különösen nagy energiájú lézerimpulzusokat előállító központban akár kémiai reakciókat – előre eltervezett módon – lehet majd irányítani.

[http://mta.hu/mta\\_hirei](http://mta.hu/mta_hirei)

## HÍREK A NAGYVILÁGBÓL

### Tudósok kutatják a terrorista szövegeket a „Dark Web”-en

Az Internet mélyén szélsőségesek terveznek és vitatnak meg terrorista akciókat. Új matematikai eszközök, amelyek kombinálják a webkutatási technikákat bonyolult algoritmusokkal egyre inkább hozzáférnek a Web „sötét oldalához” és segítenek az erőszakos cselekmények megelőzésében. A „Dark Web Project”, a 9/11 terrortámadás után megindított program kutatói olyan módszereket fejlesztettek ki, amelyek segítségével követni lehet bizonyos terrorista és dzsiháid internetes fórumokon a veszélyes eszmék terjedését. Az SIR elnevezésű matematikai modell segítségével – amelyet epidemiológusok használnak járványos betegségek terjedésének leírására – a kutatók meghatározták: annak a fertőzési valószínűsége, hogy valaki öngyilkos bombamerénylő legyen, kettő a 10 000-hez, mondta *Hsinchun Chen*, az Arizona Egyetem Tucson kutatója. „Az erőszak társadalmi közegben nem más, mint az agy fertőzése” – fogalmazta meg.

A Dark Web Project blogokból, fórumokból és más, a Web mélyén rejtőzködő site-okról gyűjt információt. A szokásos keresőmotorok csak a nyilvánosság számára elérhető hálózatot vizsgálhatják. A láthatatlan web, amely a Dark Web fórumokat is tartalmazza, a becslé-

sek szerint 500-szor annyi információt tartalmaz, mint a nyilvánosság számára elérhető felszín.

A Dark Web fórumokat különösen nehéz feltörni. A fórumokról nincs központi index, és a hozzáférni gyakran csak előzetes jelentkezéssel lehet, aminek jóváhagyása sokszor hetekbe telik. Különböző matematikai módszerekkel azonosítják és célbaveszik az ismert szélsőséges vagy kevésbé nyilvánvaló helyeket, majd a kutatók tagságra jelentkeznek. Ha sikerül hozzáférést szerezni, akkor a kutatóknak meg kell határozniuk, hogy a vizsgált site milyen gyakran tölt le információt és mennyi kapcsolata van. Ezek után az internet folyamatos és automatikus kutatásával begyűjtik és rendszerezik a keresett információt ezekről a fórumokról. A szerzőség analízise megmutatja, hogy mely üzenetek jönnek ugyanattól az egyéntől. A módszer már működik angol és arab nyelvű üzenetekre, a francia, urdu és pastu nyelvű változat kidolgozás alatt van.

A Dark Web Forum portal már több mint 15 millió üzenetet gyűjtött össze, amelyek elérhetőek a kutatók számára. A kutató csoport videóportált is beindított, ahol videótartalmakat lehet elemezni az adatok alapján.

[www.sciencenews.org](http://www.sciencenews.org)

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

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

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

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

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

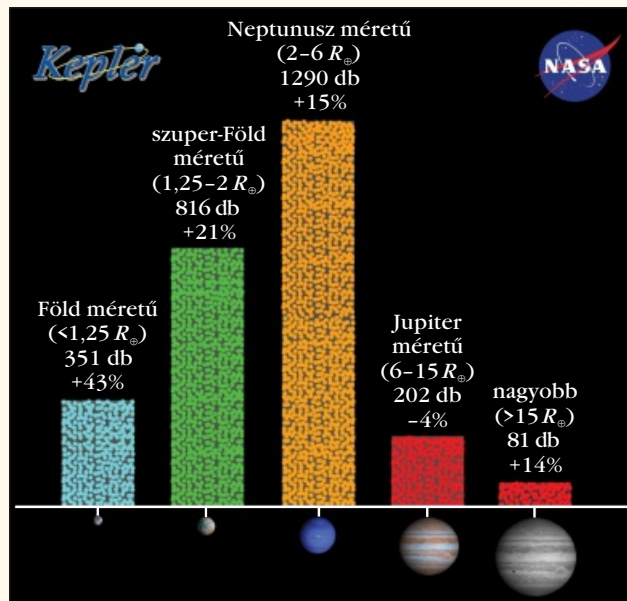
# Műszaki hiba veszélyezteti a Kepler Űrteleszkóp munkáját

Mindössze négy évvel a fellövése után a NASA Kepler Űrteleszkópja elromlott. Május 12-én, miután egy váratlan irányba elhajlott, a berendezés automatikusan biztonsági módba kapcsolt és beszüntette az adatgyűjtést. Az erőfeszítések, hogy a működést visszaállítsák, szintén sikertelenek voltak, amikor egy, a teleszkóp irányítását végző kerék nem jött forgásba.

A NASA nem mond le a misszióról, amely 2009-ben indult, és a tavalyi évben 2016-ig meghosszabbították. A rakétahajtóművekkel üzemelő Keplernek elegendő üzemanyaga van ahhoz, hogy hónapokig, vagy évekig a pályán maradjon, amíg a mérnökök 65 millió kilométer távolságból elhárítják a hibát. Azonban a négy forgató kerékből kettő már nem működik – az első tavaly júliusban hibásodott meg – ezért további bolygók felkutatása a teleszkóp segítségével veszélyben van.

„Még nem hozzuk vissza a Keplert” – jelentette ki *John Grunsfeld*, a NASA Science Mission Directorate helyettes vezetője Washingtonban egy konferencián – „de az exobolygó-kutatáshoz három működő kerékre van szükség.”

A Kepler teleszkóp olyan csillagokat keres, amelyek fénye periodikusan elhalványodik, feltehetően azért, mert az előtte elhaladó bolygó eltakarja. A teleszkóp ez ideig bizonyítottan 132 exobolygót talált és további 2730 jelölt vár megerősítésre. A Keplernek köszönhetően a csillagászok már tudják, mi a közös a bolygókban. Föld méretű bolygók tucatjait találták, valamint sok nagyobb bolygót, amelyek a „lakható zónában” keringenek csillagjaik körül, ahol a csillagok folyékony halmazállapotban létezhetnek. A misszió fő célja – pontosan meghatározni, hogy a bolygók mekkora hányada Föld-méretű – még nem teljesült. A mi bolygónkhoz hasonló méretűt sem talált, amely egy Naphoz hasonló csillag körül kering a „lakható zónában”.



A Kepler bolygójelöltjeinek 2012 februárjában közreadott legutóbbi katalógusa óta a potenciális bolygók száma 20%-kal nőtt: jelenleg 2740 lehetséges bolygót tartanak nyilván, amelyek 2036 csillag valamelyike körül keringenek. A 2009. május és 2011. március között végzett észlelések alapján a legdrágább módon a Föld méretű bolygójelöltek száma növekedett (43%-kal), továbbá a szuper-Földeké (21%-kal). A potenciális új bolygók kimutatásához a kutatók több mint 13 000 bolygóátvonulásra emlékeztető jelet elemeztek, hogy közülük kiszűrjék a műszertől származó vagy asztrofizikai eredetű hamis jeleket.

„Nagyon optimista vagyok, hogy célunk eléréséhez meglesznek a megfelelő adatok” – mondta *William Barucki*, a Kepler-misszió vezető kutatója. „Úgy gondolom, hogy a legfontosabb és legizgalmasabb felfedezések a következő két évben fognak megszületni.”

<http://www.nature.com>

## Ezüst nanorészecskék fillérekért adnak tiszta vizet

Az ijesztően nagy problémáknak néha igen egyszerű a megoldásuk. Úgy tűnik, hogy az ezüst nanorészecskék lehetnek a megoldása annak, hogy világszerte olcsó és tiszta ivóvizet tudjunk előállítani. *Thalappil Pradeep*, az Indian Institute of Technology, Chennai kutatója és munkatársai kifejlesztettek egy alumínium vegyületen alapuló szűrőberendezést, amely ezüst nanorészecskéket tartalmaz. Ahogy a víz áthalad a szűrőn, a nanorészecskék oxidálódnak és ionokat bocsátanak ki, amelyek elpusztítják a vízben lévő vírusokat és baktériumokat és semlegesítik a mérgező vegyi anyagokat, mint például az ólmot és az arzént.

A nanorészecskék egy része bejut a vízbe, de olyan koncentrációban, amely nem jelent veszélyt az egészségre. Pradeep a szűrőkészítés folyamatát „víz pozitív-nak” nevezi, a nanorészecskékhez felhasznált 1 liter víz 500 liter tiszta vizet eredményez. A kísérletekben



egy 50 grammos szűrő 1500 liter vizet szűr meg anélkül, hogy megújításra lett volna szükség, ezért úgy becsülik, hogy egy 120 grammos szűrő, amely 2 dollárba kerül, egy öttagú család egyéves ivóvízszükségletét látja el a legnagyobb biztonság mellett. A szűrők kipróbálása most folyik Indiában azzal a céllal, hogy megelőzzék a vízzel terjedő betegségek elterjedését.

<http://www.newscientist.com>

# Gyere el a múzeumba!

A kiállítás  
korhatár nélkül,  
fényképes  
igazolvánnyal  
**ingyenesen  
látogatható.**

Nyitva tartás:  
hétfő-péntek: 8.00-15.00  
szombat: 9.00-13.00  
vasárnap: ZÁRVA

Érdeklődni lehet: 75/50-74-32

MVM Paksi Atomerőmű Zrt.  
7031 Paks, Pf. 71. hrsz. 8803/15  
telefon és fax: 06-75-505-000; 1/355-1332  
weboldal: [www.atomeromu.hu](http://www.atomeromu.hu)  
Facebook profil:  
[www.facebook.com/paksiatomeromu](https://www.facebook.com/paksiatomeromu)



## Atomenergetikai Múzeum



mvm paksi atomerőmű

