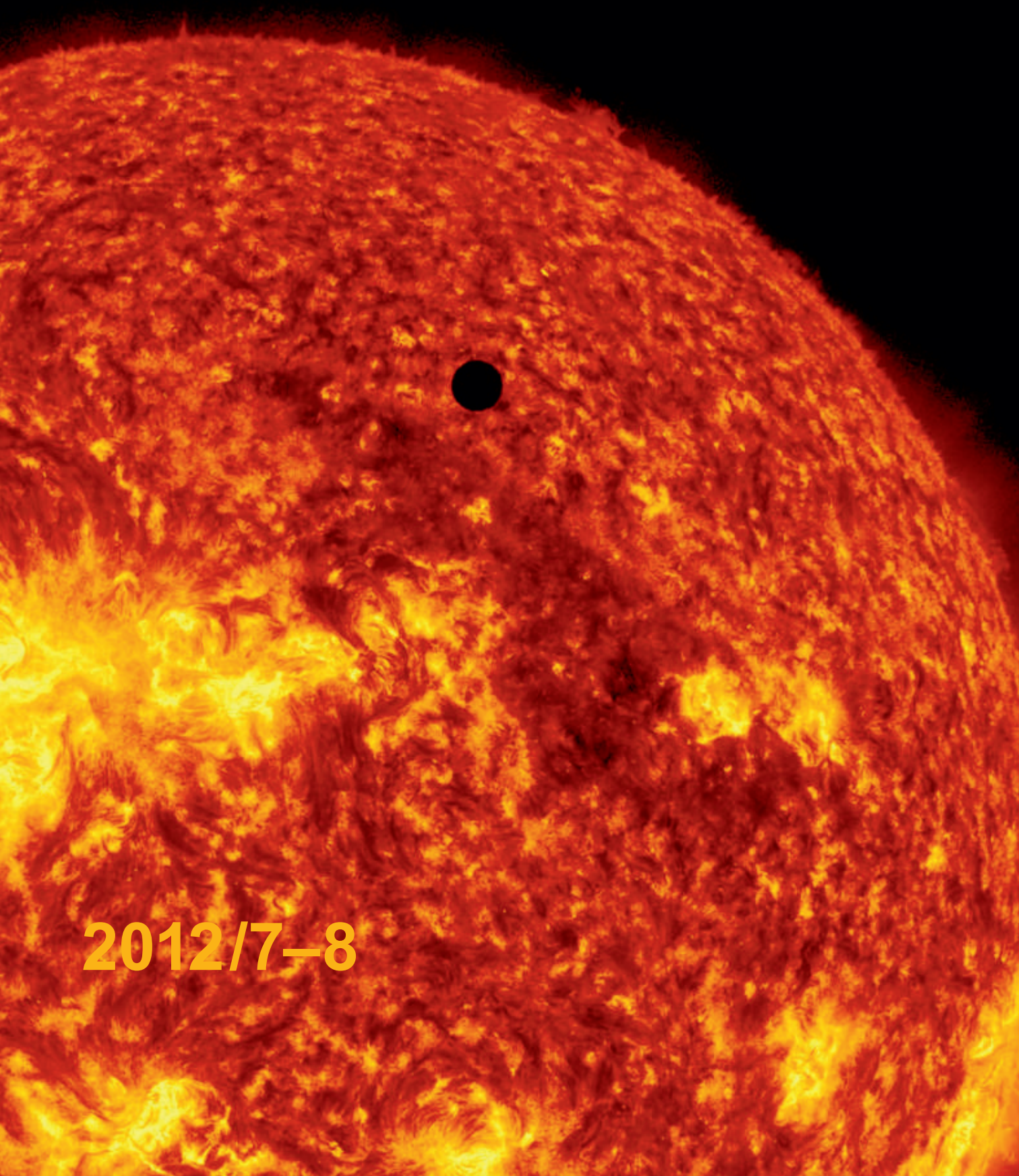


# fizikai szemle



2012/7-8

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

Főszerkesztő:

Szatmáry Zoltán

Szerkesztőbizottság:

Bencze Gyula, 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 2012. június 6-i Vénusz-átvonulás,  
ahogy a Solar Dynamics Observatory  
ultranagy felbontású kamerája látta a  
30,4 nm ultraibolya hullámhosszon.

## TARTALOM

<i>Blabó Miklós, Egri Ádám, Horváth Gábor, Hegedüs Ramón, Kriska György, Jósvai Júlia, Tóth Miklós, Kertész Krisztián, Bíró László Péter:</i> A cirkulárisan fénypolarizáló szkarabeuszok nem reagálnak a cirkuláris polarizációra – I. rész	217
<i>Gazda István:</i> A tudománytörténet id. Szily Kálmán	221
<i>Laczik Bálint:</i> A cochleoid vonalzó	226
<i>Fonyó Attila:</i> Az orvosi fizika kialakulása Budapesten	228
<i>Hartmann Ervin:</i> Tarján Imre a magyar kristályfizikában	230
<i>Rontó Györgyi:</i> Tarján professzor hagyatéka	233
<i>Kövesi-Domokos Zsuzsa:</i> Kozmikus sugárzás extrém energiákon – I. rész	234
<i>Simon Attila:</i> Úton az extraszoláris holdak felfedezése felé	239
<b>VÉLEMÉNYEK</b>	
<i>Oláb Károly:</i> Az entrópiaprobléma – I. rész	243
Neutrínó – áltudomány? (Nándori István, Trócsányi Zoltán)	248
<b>A FIZIKA TANÍTÁSA</b>	
<i>Joó Árpád:</i> Dermesztő hajtósugár és 120 N tolóerő	249
<i>Wiedemann László:</i> Hullámcsoportok, Lecher-vezeték	253
<i>Sándor-Keresztély Ferenc:</i> IX. Wigner Jenő Országos Fizikai Feladatmegoldó Verseny	258
<i>Pál Mihály:</i> Demonstrációs mechanikai mérések digitális technológiával	261
<i>Légrádi Imre:</i> Az elektromos házcikló működése	265
<i>Kovács László:</i> Eötvös demonstrációs ingája – újrahangszerezve	267
<i>Härtlein Károly:</i> Kísérletezzünk otthon!	269
<b>KÖNYVESPOLC</b>	271
<b>HÍREK – ESEMÉNYEK</b>	274

*M. Blabó, Á. Egri, G. Horváth, R. Hegedüs, G. Kriska, J. Jósvai, M. Tóth, K. Kertész, L. P. Bíró:* No reaction to circularly polarized light by scarabs although expected for these polarizing beetles – part I  
*I. Gazda:* Kalman Szily Sr., historian of sciences  
*B. Laczik:* The cochleoid ruler  
*A. Fonyó:* Early years of medical physics in Budapest  
*E. Hartmann:* I. Tarján and crystal physics in Hungary  
*G. Rontó:* The heritage of Prof. Tarján  
*Z. Kövesi-Domokos:* Cosmic radiation at extreme energies – part I  
*A. Simon:* Looking forward to discovering extrasolar moons

### OPINIONS

*K. Oláb:* The entropy problem – part I  
Do we have neutrino science or not? (I. Nándori, Z. Trócsányi)

### TEACHING PHYSICS

*A. Joó:* Ice cold jet, 120 N driving force  
*L. Wiedemann:* Wave groups on Lecher pairs  
*F. Sándor-Keresztély:* The Eugene Wigner Competition in solving problems in physics  
*M. Pál:* Mechanical measurements demonstrated using digital equipment  
*I. Légrádi:* How home electric bells work  
*L. Kovács:* The newly tuned demonstration pendulum of Eötvös  
*K. Härtlein:* Physical experiments to be performed at home

### BOOKS, EVENTS

*M. Blabó, Á. Egri, G. Horváth, R. Hegedüs, G. Kriska, J. Jósvai, M. Tóth, K. Kertész, L. P. Bíró:* Scarabäus unempfindlich für zirkular polarisiertes Licht: unerwartet für Käfer, die selbst zirkular polarisieren – Teil I.  
*I. Gazda:* K. Szily sen., Historiker der Wissenschaften  
*B. Laczik:* Das Kochleoid-Lineal  
*A. Fonyó:* Die Anfänge der medizinischen Physik in Budapest  
*E. Hartmann:* I. Tarján und die Krystallphysik in Ungarn  
*G. Rontó:* Das Erbe von Professor Tarján  
*Z. Kövesi-Domokos:* Kosmische Strahlung extremer Energien – Teil I.  
*A. Simon:* Auf dem Weg zur Entdeckung extrasolarer Monde

### MEINUNGSÄUSSERUNGEN

*K. Oláb:* Das Entropieproblem – Teil I.  
Haben wir eine Neutrino-Wissenschaft, oder nicht? (I. Nándori, Z. Trócsányi)

### PHYSIKUNTERRICHT

*A. Joó:* Eiskalter Strahl, 120 N Schubkraft  
*L. Wiedemann:* Wellenpakete auf Lecher-Paaren  
*F. Sándor-Keresztély:* Der Eugene Wigner-Wettbewerb im Lösen von Physikaufgaben  
*M. Pál:* Digitale Technik zur Vorführung von Messungen der Mechanik  
*I. Légrádi:* Wie elektrische Klingeln zu Hause funktionieren  
*L. Kovács:* Das neu gestimmte Eötvös-sche Demonstrationspendel  
*K. Härtlein:* Zu Hause ausgeführte Experimente

### BÜCHER, EREIGNISSE

**ВНИМАНИЕ!** По техническим причинам русская часть оглавления печатается отдельно на конце журнала.

**Fizikai Szemle**  
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:



**paksi atomerőmű**



Nemzeti  
Kulturális  
Alap

**NCA**  
Nemzeti Civil Alaprogram



# Fizikai Szemle

## MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

LXII. évfolyam

7–8. szám

2012. július–augusztus

## A CIRKULÁRISAN FÉNYPOLARIZÁLÓ SZKARABEUSZOK NEM REAGÁLNAK A CIRKULÁRIS POLARIZÁCIÓRA – I. RÉSZ Egy évszázados biooptikai hipotézis cáfolata

Blahó Miklós, Egri Ádám, Horváth Gábor

Környezetoptika Laboratórium, Biológiai Fizika Tanszék, ELTE, Budapest

Hegedüs Ramón

Számítógépes Látás és Robotika Csoport, Gironai Egyetem, Girona, Spanyolország

Kriska György

Biológiai Szakmódszertani Csoport, Biológiai Intézet, ELTE, Budapest

Jósvai Júlia, Tóth Miklós

Növényvédelmi Intézet, Agrártudományi Kutatóközpont, MTA, Budapest

Kertész Krisztián, Biró László Péter

Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet, Természettudományi Kutatóközpont, MTA, Budapest

*A cirkulárisan poláros fény természetben előforduló legerősebb ismert forrása a szkarabeuszok (Scarabaeidae) családjába tartozó bogarak fémszínű kitenpáncéljáról visszavert fény. Albert Abraham Michelson Nobel-díjas amerikai fizikus 1911-ben fedezte föl, hogy bizonyos szkarabeusz bogarak fémes fénye balra cirkulárisan poláros. 1844 óta ismert, hogy a cirkulárisan poláros fény az emberi szemben egy sajátos vizuális illúziót kelt. Néhány éve mutatták ki, hogy egyes tengeri sáskararak képesek érzékelni a fény cirkuláris polarizációját. Mindezidáig az volt a széles körben elfogadott vélekedés, hogy azok a cirkulárisan poláros fényben szegény optikai környezetben élő szkarabeuszok, amelyek páncélja balra cirkulárisan poláros fényt ver vissza, képesek is érzékelni azt, és e vizuális jel segíti őket a fajtársak megtalálásában. E föltételezést teszteltük hat kísérletben négy különböző szkarabeusz-faj (Anomala dubia, Anomala vitis, Cetonia aurata, Potosia cuprea) több száz egyedével. Kísérleteink eredményeiből azt a következtetést vontuk le, hogy a vizsgált négy szkarabeusz-faj nem reagál, nem vonzódik a cirkulárisan poláros fényhez a fajtársak vagy a táplálék keresése közben. Megmutattuk, hogy a vizsgált szkarabeuszok gazdanövényei cirkulárisan polarizálatlan*

*fényt vernek vissza. Michelson fölfedezésének 100 éves évfordulójára cáfoltuk azon régi hipotézist, hogy a szkarabeuszok kitenpáncéljáról tükröződő fény cirkuláris polarizációja e bogarak vizuális kommunikációját szolgálja. Ezzel egyben új utak nyíltak e jelenség további magyarázatainak kutatására. Cikkünk I. részében a szkarabeuszok cirkulárispolarizáció-érzékelésének hipotézisét ismertetjük, majd leírjuk e probléma vizsgálatára elvégzett kísérleteinket. Cikkünk II. részében a kísérleti eredményeinket mutatjuk be és azokat vitatjuk meg.*

### A szkarabeuszok cirkulárispolarizáció-érzékelésének évszázados hipotézise

A cirkulárisan poláros (CP) fény előfordulása a természetben igen ritka a többnyire részlegesen lineárisan poláros fényéhez képest [1]. A biotikus környezetünkben leginkább két szentjánosbogárfaj (*Photuris lucifescens*, *Photuris versicolor*) méltó említésre, amelyek bal és jobb oldali világítószerve rendre balra és jobbra cirkulárisan poláros fényt bocsát ki [2]. Azonban ezen élő fényforrások cirkuláris polarizációjának funkciója

(ha egyáltalán van) egyelőre ismeretlen. Bizonyos rákok kettőstörő meszes páncélja ugyancsak CP-fényt ver vissza [3]. Számos fémfényű szkarabeusz bogárfaj koleszterikus folyadékkristályokéhoz hasonló szerkezetű kitinpáncéljáról balra cirkulárisan poláros (BCP) fény verődik vissza [4, 5] (1.a–d ábra).<sup>1</sup> A természetben nagyon ritka, hogy valami CP-fényt verjen vissza, a szkarabeuszfélék természetes élőhelyén pedig egyáltalán nem fordul elő CP-fény (1.e–f ábra).

Korábban ugyan ismeretes volt, hogy néhány állatfaj képes CP-fényt kibocsátani vagy visszaverni, azonban e tulajdonságok lehetséges biológiai szerepe teljesen ismeretlen volt. Korábban nem voltak információink arról, hogy ezen állatok érzékelik-e a CP-fényt. Bár már korábban megfigyelték [6], hogy a CP-fénnyel ingerelt emberi szem a lineárisan poláros fény által kiváltott Haidinger-féle pamacsokhoz hasonló vizuális illúziót észlel [7], egyes állatfajok cirkulárispolarizáció-látását csak a közelmúltban fedezték föl: kiderült, hogy a *Gonodactylus smithii* sáskarák képes fotoreceptor szinten érzékelni a CP-fényt, és páncéljának külső oldala CP-fényt ver vissza, továbbá laboratóriumi etetéskor kondicionálni lehet az ilyen fényre [8].

Annak ellenére, hogy a *Gonodactylus smithii* tengeri optikai környezetében a CP-fény polarizációfoka igen alacsony, e sáskarák rendelkeznek cirkulárispolarizáció-érzékeléssel. Ezért kézenfekvőnek tűnt a gondolat, hogy a BCP fémfényű szkarabeusz bogarak (1.a–d ábra) az egyébként CP-fényben szegény optikai környezetükben (1.e–f ábra) talán szintén képesek érzékelni a cirkuláris polarizációt és például párkeresésnél hasznosítani e képességüket. Egy módszertani hibáktól terhes kísérletben [9] a *Chrysinia gloriosa* szkarabeusz állítólag reagált a CP-fényre. Ha a szkarabeuszkok képesek lennének érzékelni a kitinpáncéljukról visszaverődő CP-fényt (1.a–d ábra), akkor e képességük nagy hasznukra lehetne abban, hogy egymásra találjanak az egyébként cirkulárisan polarizálatlan vizuális környezetükben (1.e–f ábra), miközben a CP-fényre érzéketlen ragadozók elől rejte maradnának. Ekkor egyes szkarabeuszkok kitinpáncéljának zöld mivolta rejtőszíneként működhetne, egymás visszavert fényének cirkuláris polarizációját pedig könnyen észrevehetnék, mivel a környezetük cirkulárisan polarizálatlan.

A *Cetonia* és *Anomala* nemzetségbe tartozó, CP-fényt tükröző szkarabeuszfélék igen elterjedtek a Földön, és a mezőgazdaságra nézve gyakran kártékonyak. Mostanáig a cirkulárispolarizáció-érzékelésüket senki sem vizsgálta. Ezen úr betöltésére hat kísérletet végeztünk négy szkarabeuszfajjal (*Anomala dubia*, *Anomala vitis*, *Cetonia aurata*, *Potosia cuprea*), hogy megvizsgáljuk, vajon érzékelik-e a cirkuláris polarizációt, és ha igen, fölhasználják-e azt a táplálék-, illetve párkeresésükben. Azért e fajokat választottuk, mert olyan kitinpáncéljuk van, ami erősen balra cirkulárisan polarizált fényt ver vissza (1.a–d ábra) és Magyarországon má-

justól júliusig könnyen begyűjthetők. Hogy demonstráljuk a kültakarójuk cirkulárispolarizáló-képességét, képalkotó polarimetriával mértük e bogarak és tápnövényeik polarizációs mintázatait [4].

Bizonyos szkarabeuszfajok kitinpáncéljának azon tulajdonságát, hogy BCP-fényt ver vissza Michelson [5] fedezte föl 1911-ben. Egészen 2011-ig, vagyis 100 éven keresztül azt gondolták, hogy e bogarak cirkuláris fénypolarizáló jellegének valamilyen vizuális, optikai szerepe van. Száz évvel Michelson fölfedezése után megmutattuk [10], hogy a szkarabeuszkokról visszaverődő fény cirkuláris polarizációjának nincs ilyen vizuális szerepe.

## A szkarabeuszkok cirkulárispolarizáció-érzékelésének kísérleti vizsgálata

Cikkünkben a következő nevezéktant használjuk: egy balos cirkuláris (BC) polárszűrő elnyeli a balra cirkulárisan poláros (BCP) fényt és átengedi a jobbra cirkulárisan poláros (JCP) fényt. Hasonlóan, egy jobbos cirkuláris (JC) polárszűrő elnyeli a JCP-fényt és átengedi a BCP-fényt. Egy cirkuláris polárszűrő a cirkuláris polarizátor fordítottja, kiegészítője: egy BC-polarizátor átengedi a BCP-fényt és elnyeli a JCP-fényt, míg egy JC polarizátor átengedi a JCP-fényt és elnyeli a BCP-fényt.

Az 1. kísérletet 2009. május 8. és 10. között végeztük laboratóriumunkban, minden nap 10:00 és 15:00 óra között (UTC+2h) 120 darab *Cetonia auratával* (65 nőstény, 55 hím), amelyeket 2009. május 7-én gyűjtöttünk a terepen. A bogarakat együtt tartottuk néhány virágzó galagonya ág mellett egy üveg terráriumban természetes megvilágítás mellett, ahol többen párosodtak. A teszt előtt 6 órával a bogarakat áthelyeztük egy üres, áttetsző, fehér műanyag dobozba. A teszt-kamra egy papírdobozból állt (50×50×30 cm), aminek belső falait matt fehér papír fedte. A doboz egyik függőleges falán két tesztablak volt kivágva (15×15 cm) egymástól 20 cm-re (2. ábra). Mindkét tesztablakot homogén, szórt fehér fény világította meg, ami a laboratórium fehér függönyén (2×2 m) keresztül szűrődött be. Az egyik tesztablakban egy BC-polárszűrő (vastagság = 0,8 mm, típus: P-ZN/L-43186, Schneider, Bad-Kreuznach, Németország) volt elhelyezve, míg a másikban egy JC-polárszűrő (vastagság = 0,8 mm, típus: P-ZN/R-12628, Schneider). A polárszűrők külső felületét egy depolarizáló fehér papírlap borította, hogy a kívülről jövő, polárszűrőre eső fény teljesen polarizálatlan legyen. A teszt-kamra alját egy fehér papírlap borította, amit minden egyes teszt után kicseréltünk az esetleges szagnyomok eltávolítása érdekében. A teszt-kamra alján a két ablakkal szemközt levő oldalon volt a bogárindító hely, amire egy papírhengert lehetett ráhúzni (magasság = 2 cm, átmérő = 5 cm). Egy teszt első lépéseként egy bogarat tettünk a teszt-kamra indító helyére, majd letakartuk a hengerrel. A bogarat a hátára helyeztük, ezzel motiválva mozgásra. 1 perc várakozás után a hengert eltávolítottuk, majd a bogár –

<sup>1</sup> Az írás ábrái kivételesen folyóiratunk közepén, a színes mellékletben láthatók (a műszaki szerkesztő).

miután lábra állt – elindult a szemközi fal felé. Egy *Cetonia* futtatása akkor ért véget, mikor a szemközi fal BC- vagy JC-polárszűrős ablakához ért. Minden egyes bogár csak egyszer vett részt a kísérletben. A JC- és BC-polárszűrők bal-jobb helyét véletlenszerűen cseréltük föl a futtatások között. A végén összeszámoltuk, hogy hányszor választották a bogarak a BC-, illetve JC-polárszűrős ablakot.

A 2. kísérletet a *Cetonia aurata*, *Potosia cuprea*, *Anomala vitis* és *Anomala dubia* szkarabeuszfajokkal végeztük. A *Cetonia aurata*, *Potosia cuprea* és *Anomala vitis* teljes (háti és hasi) kitingpáncélja fémes zöld és erősen BCP-fényt ver vissza (1.a–c ábra). Az *Anomala dubia* barna fedőszárnya gyengén, míg a többi testrésze erősen BCP-fényt ver vissza (1.d ábra). 2010. április 26-án 11:00 és 12:00 óra (UTC+2h) között 196 rajzó *Cetonia aurata*t (nőstények, hímek vegyesen) fogtunk a terepen (Törökmező: 47° 88' N, 18° 93' E), ahol galagonyabokrok (*Crataegus monogyna*) virágoztak. A befogott bogarakat Gödön természetes fényben, kartonpapírok között, átlátszó műanyag edényekben tartottuk, amelyek fedelét szellőzést szolgáló lyukak borították. Itt többük párosodott is. Táplálékként almaszeleteket tettünk az edényekbe. 2010. április 27-től 29-ig naponta 10:00 és 16:00 óra (UTC+2h) között minden egyes bogarat háromszor futtattunk egy tesztdobozban (3.a–f ábra).

A tesztdoboz egy lapos henger volt (magasság = 10 cm, átmérő = 60 cm), ami 6 sugárirányú főszelektorból állt, amelyeket a mennyezetről lelógó függőleges falak (26×10 cm) választottak el egymástól. A mennyezet (sugár = 30 cm) közepén egy 5 cm átmérőjű lyuk volt. Minden egyes főszelektort két alszelektorra osztott egy rövidebb (13×13 cm) függőleges fal. Minden alszelektor végén egy-egy függőleges fal volt, belső felén egy színes képpel (7,5×13 cm), amit egy cirkuláris polárszűrő fedett, s e szendvicset egy 2 mm vastag üveglap szorította a falhoz. Egy adott szektor bal, illetve jobb ablakában rendre egy BC (P-ZN/L-43186) és egy JC (P-ZN/R-12628) polárszűrő volt. A tesztdoboz anyaga 5 mm vastag tejfehér áttetsző műanyag volt, ami a bejövő fényt teljesen depolarizálta. Egy adott kísérletben a tesztdoboz minden ablakában (6×2 = 12 db) ugyanolyan színes kép volt: a kísérlet 1., 2. és 3. részében a képeken (1) egy galagonyavirágon (*Crataegus monogyna*) ülő *Cetonia aurata* (3.g ábra), (2) galagonyavirágok és levelek (3.b ábra), és (3) egy virágzó galagonyabokor (3.i ábra) szerepelt. A teszt előtt 6 órával a bogarakat áthelyeztük egy üres, áttetsző, fehér műanyag dobozba. A kísérlet során, ami egy gödi kertben szabad téren zajlott, a bogarakat egy vízszintes falap közepére helyeztük, letakartuk egy átlátszatlan hengerrel (átmérő = 4,5 cm, magasság = 17 cm), amire aztán ráhelyeztük a tesztdobozt. A bogárindító henger tetejét a kísérletet végző személy a tenyerével takarta le 30 másodpercig. Utána a hengert eltávolította és kezdetét vette a futtatás: (i) A kísérletben szereplő bogár (kezdetben a tesztdoboz közepén állva) a 6 főszelektor bármelyikét választhatta, aminek irányába kezdett el mászni vagy

repülni. (ii) Minden főszelektorból még választhatott a jobb, illetve bal oldali ablakok közül, amelyekben ugyanaz a kép volt egy BC és egy JC polárszűrő mögött. A bogár viselkedését a tesztdobozban a közepén lévő kör alakú nyíláson át követtük nyomon. Mikor a bogár (mászással vagy repüléssel) elérte az ablakok valamelyikét egy adott főszelektorból (20–200 másodperc alatt), a kísérlet véget ért. Ekkor a bogarat eltávolítottuk, az alul lévő falapot egy etil-alkoholos ronggyal letöröltük a szagnyomok eltüntetése céljából. Minden futtatás a tesztdoboz véletlenszerű orientációjával történt, miáltal a soron következő bogár az előzőhöz képest elforgatott tesztdobozban került tesztelésre. Az egész kísérletet háromszor ismételtük meg (2010. április 27., 28., 29. 10:00–16:00) három különböző színes képpel a szektorok ablakaiban (3.g–i ábra). A kísérlet alatt néhány *Cetonia* elszökött, így a bogarak száma fokozatosan csökkent ( $N = 196, 141, 131$  rendre az 1., 2. és 3. rész kísérletben).

2010. június 30. és július 2. között az előbbi kísérlet első részét 100–100 *Potosia cuprea*, *Anomala vitis* és *Anomala dubia* szkarabeusszal ismételtük meg, amely bogarakat szagcsapdákkal fogtunk (lásd: 4. kísérlet), és a *Cetonia aurata*hoz hasonló módon a laboratóriumban tartottuk. Számos példány párosodott a fogságban töltött idő alatt. E kísérletek a laboratóriumban folytak a fehér függönyön át beszűrődő fény és lekapcsolt lámpák mellett. A tesztdoboz a labor közepén helyezkedett el, mind a 12 ablakában egy-egy virágzó galagonyabokrot ábrázoló színes fényképpel (3.i ábra).

A 3. kísérletet a laboratóriumban végeztük 2010. július 3. és 8. között szagcsapdákkal (lásd: 4. kísérlet) fogott 100–100 *Cetonia aurata*, *Potosia cuprea*, *Anomala vitis* és *Anomala dubia* szkarabeusszal. A bogarakat természetes fényben, kartonpapírok között, átlátszó műanyag edényekben tartottuk a laboratóriumban, ahol többük párosodott is. Táplálék gyanánt almaszeleteket adtunk nekik. A teszt előtt 6 órával a bogarakat áthelyeztük egy üres, áttetsző, fehér műanyag dobozba. Minden egyedet csak egyszer teszteltünk a 4. ábrán látható tesztdobozban.

A tesztdoboz három fő részből állt: (1) A választótér, ahol a bogár útvonalával kifejezésre juttatta választását (hossz = 20 cm, szélesség = 30 cm, magasság = 20 cm) és az indítóhely, ahonnan egy átlátszatlan henger (magasság = 21 cm, átmérő = 4 cm) eltávolításával indult a teszt 30 másodperc várakozás után, ami alatt a bogár kicsit megnyugodott. A bogár egy vízszintes papírlapon közelíthette meg a választótér végén lévő két ablak valamelyikét, néha azonban odarepült. Minden egyes teszt után a papírlapot kicseréltük a szagnyomok eltüntetése végett. A bogárindító henger eltávolítása után a doboz tetején lévő kör alakú nyíláson át figyeltük a bogár viselkedését. Egy adott teszt akkor ért véget, amikor a bogár elérte a kis kartonfalat (szélesség = 14 cm, magasság 1,5 cm) a választótér végén, ahol a jobb, illetve bal oldali, csaliként szolgáló szkarabeuszteretek térrésze volt. (2) A választótérből nyílt a vizuális ingereket tartalmazó jobb és bal oldali ingertérfél, amelyeket

egy kis kartonlap határolt el a választótérrel. A bal ingertérfél (hossz = 21 cm, szélesség = 14,5 cm, magasság = 10 cm) gyakorlatilag üres volt, a szemközti falán egy kivehető kartonlappal. E kartonlapon egy nőstény és egy hím szkarabeusztetem volt fölragasztva abból a fajból, amivel éppen a kísérlet folyt. A vizuális inger szerepét játszó két szkarabeusztetemet négy fénydióda (két OSSV53E1A UV-kék LED 400 nm-es csúccsal a spektrumában és két 530XW8C fehér LED) világította meg a doboz mennyezetéről. (3) A jobb ingertérfél két részből állt: az alsó részben (hossz = 10 cm, szélesség = 14,5 cm, magasság = 10 cm) a vízszintessel 45°-os szöveget bezáró síktükör (13,5×14,5 cm) volt. A felső rész egy toronyból állt, aminek tetején egy ugyanolyan cserélhető kartonlap helyezkedett el a vizuális ingerként szolgáló szkarabeusztetem-párral, mint a bal oldalon. A jobb ingertérfelet a bal ingertérfélével egyező négy fénydióda világította meg a mennyezetről, a tükrön keresztül. A síktükör szerepe az volt, hogy a torony tetején levő szkarabeusztetemekről visszaverődő BCP-fényt JCP-fénnyé alakítsa át a spektrum megőrzésével. A síktükör 45°-os dőlésszögének köszönhetően a választótérben tartózkodó élő bogár elé táruroló látvány a jobb és bal ingertérfélben azonos volt. Az egyetlen különbséget a bal és jobb oldal között a szkarabeusztetemekről visszaverődő fény polarizációjának BCP, illetve JCP volta jelentette (5. ábra).

E kísérlet alatt a bogarak két lehetőség közül választhattak: a bal ingertérfélbeli fajtárs szkarabeusztetemetek, amelyekről BCP-fény verődött vissza, vagy pedig a jobb ingertérfél tükrében JCP-fényűnek látszó fajtárs szkarabeusztetemeteket. A teszt doboz barna kartonpapírból állt, aminek belső felületét matt fehérre festettük, minimálisra csökkentve a fényvisszaverődésekből származó zavaró polarizációs jeleket a doboz belsejében. Mivel a vizuális csaliárgyakként szolgáló szkarabeusztetemek nem voltak teljesen egyformák (apróbb méret-, szín-, fényesség- és anatómiai különbségek miatt), ezért minden 5. teszt után a jobb és bal kartonlapkára ragasztott szkarabeusztetem-párt fölcseréltük egymással (egy adott szkarabeusz faj 100 egyede esetén 100/5 = 20 csere történt).

A 4. kísérletben azt vizsgáltuk, hogy a szkarabeusztetemekről visszaverődő BCP-fény képes-e odacsalni a szabadban élő szkarabeuszokat. Két szagcsapdás kísérletet végeztünk, az elsőt *Anomala vitis* és *Anomala dubia* szkarabeuszokkal, a másodikat pedig *Cetonia aurata* bogarakkal. Az MTA Növényvédelmi Kutatóintézetéből (NKI) származó CSALOMON® VARb3 típusú szagcsapdákat használtunk (6. ábra), amelyek korábban már nagyon hatékonyak bizonyultak [11]. A kísérlet a következőkből állt: (A) a csapdák átlátszó műanyag tölcserének belső falára szkarabeusztetemeteket (*Cetonia aurata*, *Anomala vitis*: 8-8 darab, *Anomala dubia*: 10 darab) ragasztottunk (Super Bond, Henkel Ltd., Dublin). E bogártetemek szagkibocsátásának kizárására – a fölragasztásuk előtt – 5 percig hexán-fürdőbe helyeztük azokat. A szkarabeusztetemeteket egymástól 1-2 cm távolságban ragasztottuk a tölcser közepére. (B) Negatív kontroll-

ként szkarabeusztetemek nélküli üres csapdákat helyeztünk ki. (C) Pozitív kontrollként szkarabeusztetemek nélküli, de szintetikus vonzó szagokat kibocsátó csapdákat használtunk.

Vonzó szagok gyanánt a kereskedelemben is kapható CSALOMON® szaganyagokat használtunk. Az *Anomala*-csapdák az *Anomala vitis/dubia* szexferomonját árasztották ki, aminek köszönhetően csak hím *Anomala* szkarabeuszokat fogtak. A háromkomponensű virággillatot kibocsátó *Cetonia*-csapdák hím és nőstény *Cetonia* szkarabeuszokat fogtak közel 1:1 arányban. Mindkét kísérleti elrendezés 3-3 egyforma blokkból állt, minden blokkban egymástól 10-15 m-re kihelyezett csapdákkal, a blokkok pedig 30-50 m távolságra voltak egymástól. A csapdákat hetente kétszer ürítettük. Az *Anomala*-csapdás kísérletet Halászteleken, egy meggyfás gyümölcsöskertben végeztük 2010. június 21. és 28. között. A csapdák a fák ágain függték 1,5 m magasan. A *Cetonia*-csapdás kísérletet 2010. június 10. és 25. között az MTA NKI budapesti Júlia majorjában végeztük egy tölgyerdő szélén, ahol főleg vadrózsák (*Rosa canina*) és galagonyák (*Crataegus*) fordultak elő. A csapdákat itt is a bokrok nap-sütötte ágaira függesztettük 1,5 m magasságban.

Az 5. és 6. kísérlet előkísérleteként megvizsgáltuk, hogy a tesztelt szkarabeuszok rendelkeznek-e pozitív fototaxissal. Ehhez a 6. kísérletben használt teszt dobozt használtuk azzal a módosítással, hogy az egyik ablakot eltakartuk egy fekete kartonlappal. Ekkor a bogarak egy sötét ablak és egy polarizálatlan fényt beengedő világos ablak közül választhattak. Az előkísérlet során véletlenszerűen változtattuk, hogy éppen melyik oldal legyen sötét, illetve világos. Az 5. és 6. kísérletben csak azon bogarakat teszteltük, amelyek az előkísérletben a világos ablakot választották, pozitív polarotaxist mutatva (85-90%). Ezen előzetes tesztek megmutatták, hogy a fényerősség, a kísérleti doboz mérete és a bogarak állapota megfelelő volt az 5. és 6. kísérletbeli viselkedési jellemzők megfigyeléséhez.

Az 5. kísérletet a laboratóriumban végeztük 2011. június 15. és 30. között 100-100 *Cetonia aurata*, *Potosia cuprea*, *Anomala vitis* és *Anomala dubia* szkarabeusszal. Ekkor a 2. kísérletben használt teszt dobozt (3.a-c ábra) használtuk azon különbséggel, hogy minden főszektorban a bal ablakból BCP-fény, a jobb ablakból pedig a vízszintessel 45° polarizációs szögű, teljesen lineárisan poláros fény szűrődött be (7. ábra). Minden ablakban egy virágzó galagonyabokor színes képe volt (3.i ábra), ami minden bal alszektorban egy BC polárszűrőn keresztül volt látható (a  $\lambda/4$ -es retarder lemez a bogár felé nézett, míg a lineáris polárszűrő a kép felőli oldalon volt), míg a jobb alszektorban egy fordított BC polárszűrőn keresztül (a lineáris polárszűrő a bogár oldalán, a  $\lambda/4$ -es retarder pedig a kép felőli oldalon). Ebben az elrendezésben a vizuális inger mutató ablakok spektrális összetevői (intenzitás, szín) azonosak voltak, az egyetlen különbséget a polarizáció jelentette (BCP és teljesen lineárisan poláros). A további részletek a 2. kísérletével voltak azonosak.

A 6. kísérletet 2011. július 1. és 15. között végeztük a laboratóriumban 100-100 *Cetonia aurata*, *Potosia cuprea*, *Anomala vitis* és *Anomala dubia* szkarabeusszal. Egy egyetlen főszeletoros tesztdobozt használtunk, amiben az egyik oldali ablakból BCP, míg a másik oldaliból polarizálatlan fény szűrődött be (8. ábra). Mindkét ablakban egy BC polárszűrő és egy fehér depolarizátor papírlap volt. A doboz belsejéből nézve az egyik oldalon a BC polárszűrő volt elől, mögötte pedig a depolarizátor. A másik oldalon ez az elrendezés fordított volt. Így az ingerablakok spektrális összetevői (intenzitás, szín) azonosak voltak, az egyetlen különbséget a polarizáció jelentette (BCP és teljesen polarizálatlan). A kísérlet során az ablakok szűrőfedését véletlenszerűen cseréltettük. A doboz anyaga matt barna farostlemez volt, ami a belső fényvisszaverődésekből eredő zavaró poláros tükröződések kizárta. A további részletek a 2. kísérletével voltak azonosak.

*Képpalkotó polarimetria és visszaverődési spektrumok:* a laboratóriumban képpalkotó polarimetriai méréseket végeztünk, aminek technikai részleteit [4] tartalmazza. A következőket mértük: (i) *Cetonia aurata*, *Potosia cuprea*, *Anomala vitis* és *Anomala dubia* kitinpáncéljáról visszaverődő erősen BCP-fény (1.a–d ábra), (ii) cirkulárisan polarizálatlan fény visszaverődése galagonya- és vadrózsalevelekről (1.e ábra), valamint a vizsgált szkarabeuszok 12 további gazdanövényének leveleiről (1.f ábra). A bogarakat és leveleket egy ablak fehér függönyén átszűrődő teljesen polarizálatlan fehér fény világította meg. A vizsgált szkarabeuszok kitinpáncéljának visszaverődési spektrumát egy, az ultraibolya és látható spektrumban működő üvegszálás spektrométerrel (Avaspec 2048/2) mértük polarizálatlan megvilágítás mellett [12].

A statisztikai elemzéseket a Statistica 7.0 (egyutas ANOVA és  $\chi^2$  teszt) és a StatView 4.01 (nem-parametrikus Kruskal–Wallis-teszt) programokkal hajtottuk végre.

## Irodalom

- Horváth, G.; Varjú, D.: *Polarized Light in Animal Vision – Polarization Patterns in Nature*. Springer-Verlag, Heidelberg–Berlin–New York, 2004.
- Wynberg, H.; Meijer, E. W.; Hummelen, J. C.; Dekkers, H. P. J. M.; Schippers, P. H.; Carlson A. D.: Circular polarization observed in bioluminescence. *Nature* 286 (1980) 641–642.
- Neville, A. C.; Luke, B. M.: Form optical activity in crustacean cuticle. *Journal of Insect Physiology* 17 (1971) 519–526.
- Hegedüs, R.; Szél, G.; Horváth, G.: Imaging polarimetry of the circularly polarizing cuticle of scarab beetles (Coleoptera: Rutelidae, Cetoniidae). *Vision Research* 46 (2006) 2786–2797.
- Michelson, A. A.: On metallic colouring of birds and insects. *Philosophical Magazine* 21 (1911) 554–567.
- Shurcliff, W. A.: Haidinger's brushes and circularly polarized light. *Journal of the Optical Society of America* 45 (1955) 399.
- Haidinger, W.: Über das direkte Erkennen des polarisierten Lichts und der Lage der Polarisationssebene. *Annalen der Physik und Chemie* 63 (1844) 29–39.
- Chiou, T. H.; Kleinlogel, S.; Cronin, T.; Caldwell, R.; Loeffler, B.; Siddiqi, A.; Goldizen, A.; Marshall, J.: Circular polarization vision in a stomatopod crustacean. *Current Biology* 18 (2008) 429–434.
- Brady, P.; Cummings, M.: Differential response to circularly polarized light by the jewel scarab beetle *Chrysina gloriosa*. *The American Naturalist* 175 (2010) 614–620.
- Blahó, M.; Egri, Á.; Hegedüs, R.; Jósavai, J.; Tóth, M.; Kertész, K.; Biró, L. P.; Kriska, G.; Horváth, G.: No evidence for behavioral responses to circularly polarized light in four scarab beetle species with circularly polarizing exocuticle. *Physiology and Behavior* 105 (2012) 1067–1075. + electronic supplement
- Imrei, Z.; Tóth, M.; Tolasch, T.; Francke, W.: 1,4-Benzoquinone attracts males of *Rhizotrogus vernus* Germ. *Zeitschrift für Naturforschung* 57C (2001) 177–181.
- Biró, L. P.; Kertész, K.; Vértesy, Z.; Márk, G. I.; Bálint, Z.; Lousse, V.; Vigneron, J. P.: Living photonic crystals: butterfly scales – nanostructure and optical properties. *Material Science and Engineering C* 27 (2007) 941–946.

# A TUDOMÁNYTÖRTÉNÉSZ ID. SZILY KÁLMÁN

Gazda István  
Magyar Tudománytörténeti Intézet

A fizikaprofesszorként elismert *id. Szily Kálmán* (1838–1924) műegyetemi éveiben kezdett el foglalkozni tudománytörténeti kérdésekkel és ilyen jellegű vizsgálódásainak korai eredményeit még a közreműködésével összeállított *Műegyetemi Lapok* 1876–1878-as évfolyamaiban tette közzé.

## Kutatásai az első magyar nyelvű matematikakönyvről (1577)

Ezekben az években elsősorban matematikatörténeti kérdésekkel foglalkozott, igyekezett választ adni arra, hogy vajon melyik lehetett a legrégebb magyar matematikakönyv és azt mely összeállítások követték. Arra a következtetésre jutott, hogy az 1577-ben Debrecenben

megjelent aritmetika a legrégebb magyar nyelvű matematikai kiadványunk, amelynek szerzője „úgy adta el kötetét”, hogy címlapjára ráírta, miszerint az *Gemma Frisius* nemzetközi hírű művének magyar változata. Szily azonban összevetette a magyar kiadást Frisiuséval, s megállapította, hogy a debreceni kiadványnak nincs köze az idézett munkához, Frisius nevét azért írták a címdalra, hogy a mű kelendőbb legyen. A kötetben a szerző vagy fordító neve nem szerepel, így a matematikatörténészeknek azóta is sok gondot okoz, valójában mi lehet azon mű forrása, amelyet 1577-ben magyarított formában adtak közre Debrecenben.

Jelen sorok szerzőjének véleménye az, hogy valószínűleg egy lengyel munka magyar fordításáról van szó, hiszen akkoriban számos lengyel kalendáriumot fordítottak le magyarra, komoly kapcsolataink alakul-

tak ki a krakkói tudósokkal, sok magyar tanult az ottani egyetemen, és lényegében a nyomdászat tudományát is a krakkóiaktól vettük át. Valószínűnek tűnik tehát, hogy ez a mű is egy ottani kiadványra épül (az 1570-es évekből több lengyel nyelvű algebrát is ismerünk), hogy pontosan melyik volt az alap, azt majd az elkövetkezendő évek kutatásai fogják tisztázni.

## Elsőként ismertettett egy magyar szerző által latin nyelven írt matematikát 1499-ből

A hamburgi városi könyvtárban *Hellebrant Árpád* bibliográfus rátalált *Magyarországi György* mester 1499-ben Deventerben megjelent latin nyelvű aritmetikájára, amelyben egyebek között a magyar pénznek átváltási táblázatát is közreadta a szerző, és más adatokból is következtetni lehetett arra, hogy magyar szakember munkájáról van szó. Hellebrant felhívta erre a munkára Szily figyelmét, aki azt az *Akadémiai Értesítő* 1893-as évfolyamában ismertette is. A mű első teljes hazai kiadását Szily Kálmán és munkatársa, *Heller Ágoston*, az Akadémiai Könyvtár akkori vezetője 1894-ben adta közre. Ezzel a művel Szily tovább tudta bővíteni a régi magyar aritmetikák sorát, hiszen az 1577-es debreceni magyar nyelvű kiadásnál talált egy korábbi kiadványt is: az 1499-es latin nyelvű, magyar szerző által írt aritmetikát. Mindkét mű részletes magyarázatokkal ellátott kiadását évtizedekkel később *Hárs János* matematikatanár készítette el, az 1499-es munka pedig 1965-ben ismét kiadott Hollandiában, idehaza legutóbb *Szabó Péter Gábor* elemezte a művet a *Magyar Tudomány* 2007-es évfolyamában.

## Szily kutatásai Sipos Pál matematikus életművének feltárása érdekében

Szily a későbbi hazai kiadványokkal is foglalkozott, köztük a kolozsvári aritmetikával, majd a későbbi matematikusok életművének feltárására koncentrált. Utóbbiak sorában elsők között írt *Sipos Pál*ról (1759–1816), a kiváló filozófusról és geometerről, akiről egy kicsit elfeledtek a magyar tudósok, miközben az egyik geometriai eredményét a nemzetközi szakirodalom számon tartotta.

Sipos Pál Erdélyben, majd Odera-Frankfurtban, Göttingenben és Bécsben tanult, 1805-től Sárospatakon, 1810-től kezdődően pedig Tordoson tanított. Ő készítette el a sárospataki református kollégium matematika tantervét is. Tagja volt annak az erdélyi tudós körnek, amely 1814 táján egy komoly tudós társaságot igyekezett létrehozni, tervük nem vált valóra, de hozzájuk kötődve megindult egy értékes periodika *Döbrentei Gábor* szerkesztésében, az *Erdélyi Múzeum*, aminek 1818-ig tíz száma jelent meg. Később Döbrentei a tudós társasággal kapcsolatos terveket hasznosítani tudta Pest-Budán, amikor az 1830-as évek elejétől ő volt a Magyar Tudós Társaság, vagyis az Akadémia első főtitkára.



id. Szily Kálmán (1838–1924)

Sipos Pál hírnevét a berlini tudományos akadémia által kiadott és aranyéremmel jutalmazott matematikai dolgozata alapozta meg. Az ellipszis területének meghatározására ma is kitűnő közelítő szerkesztési eljárása éppúgy elismerést érdemel, mint a körív tetszőleges arányban történő felosztására alkalmas izométernek nevezett, csigavonal (kochleoid) élű vonalzója.<sup>1</sup> Magyarországon ő használta először szögmérésre a negyedkör tízes rendszerű törtrészeit, és trigonometrikus táblájának szerkezete egyedül álló a maga nemében. Mint filozófus *Kant* és *Fichte* követője volt.

Szerencse, hogy Szily felhívta a figyelmet Sipos Pál munkásságára, mert erre építve a 20. században a két világháború közötti időszak legnevesebb magyar tudománytörténésze, *Jelítai József* mintaszerű monográfiát tudott összeállítani róla. Szily érdeme, hogy a tudós világ nem feledkezett meg Siposról, Jelítai pedig németországi és hazai levéltári források alapján ezt az életművet teljes részletességében feldolgozta és közreadta.

## Szily Poggenдорffról

Szily Kálmán tudománytörténeti kutatásaihoz a legfontosabb alapot a német *Johann Christian Poggenдорff* nagy tudománytörténeti biobibliográfiája (1863) adta, amelyben számos olyan elfeledett magyar természettudósról olvashatott, akikkel a magyar kutatók korábban részletesebben nem foglalkoztak. Ez a lexikon minden

<sup>1</sup> A kochleoid vonalzóról részletesen olvashatnak a következő írásban (a szerkesztő).



európai nemzetnél igyekezett felfigyelni azokra, akik a reáltudományok valamely ágában emlékezetre méltót alkottak, elsősorban a 16–19. században. Szily egyik tanítványával együtt kijegyzetelte ezt a hatalmas, kétkötetes forrásmunkát, le is fordították a régi magyar tudósokra vonatkozó biográfiai adatokat, s mindezt 1871-ben közreadták a *Természettudományi Közlöny*-ben.

*Czwittinger Dávid* 1711-ben Frankfurtban megjelent magyar vonatkozású könyvészete annyit már bizonyított, hogy fontos reáltudományi művek is megjelentek magyar szerzők tollából itthon és külföldön. A debreceni főorvos, *Weszprémi István* hihetetlen szorgalommal tárta fel a magyar orvosok által itthon és külföldön, önállóan vagy periodikákban közzétett publikációkat, más szakmák képviselői azonban nem követték példáját. Holott voltak itt fontos fizikák és matematikák, csillagászatok és botanikák, de azok feldolgozása még váratott magára.

A 19. század elején munkálkodó *Sándor István* a maga könyvesházában már szépen pótolta ezeket a hiányokat, amelyekről tudomást vett az irodalomtörténet-írás is, gondoljunk csak *Toldy Ferenc* irodalomtörténeti áttekintései reáltudományi fejezeteire.

Ekkor lépett színre J. Ch. Poggendorff, aki arra vállalkozott, hogy – az orvosokat leszámítva – a reáltudományok valamennyi múltbeli neves művelőjének rövid életrajzát és a publikációk lehetőleg teljes jegyzékét közreadja. Nem akármilyen feladatra vállalkozott ez a neves német szerkesztő, de feladatát becsületesen teljesítette. Olyan magyar tudósokra is ráirányította a figyelmet, akikről előtte nemigen olvashattunk a hazai történeti irodalomban, nyilván azért nem, mert elsősorban külföldön publikáltak és műveiket is többnyire ott hasznosították. De szólt olyanokról is, akik külföldön tanultak, azután Magyarországra tértek vissza és egy-két publikációjuk később idehaza is megjelent.

Nézzük, mit is írt Szily Kálmán összefoglalásként Poggendorff nagy kézikönyvéről.

„J. Ch. Poggendorff, az 'Annalen der Physik und Chemie' sok érdemű szerkesztője 1863-ban egy nagy terjedelmű s rendkívül becses munkát bocsátott közre 'Biographisch-Literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exacten Wissenschaften, enthaltend Nachweisungen über Lebensverhältnisse und Leistungen von Mathematikern, Astronomen, Physikern, Chemikern, Mineralogen, Geologen usw. aller Völker und Zeiten' cím alatt. E munkájában Poggendorff nem kevesebb mint 8447 természetbűvár életviszonyairól és tudományos működéséről közöl adatokat, a leghitelesebb irodalmi forrásokat követve mindenütt, és figyelmét minden nép, minden kor természettudósaira kiterjesztve egyaránt. Poggendorff munkája valódi nemzetközi pantheon, melyben helyet foglalhat és kell hogy helyet foglaljon minden tudós, ki az exact természettudományok terén irodalmilag működött, akárhol ringatták is bölcsőjét, és akármely nyelven művelte is a természettudományt.

A Biographisch-Literarisches Handwörterbuch megjelenése óta folyvást érdekelt megtudnom, mely arányban és mely tudósai által van Magyarország e pantheonban

képviselve. Egykori tanítványom, Gonda Béla műgyetemi hallgató szíves közreműködésével kijegyeztünk a 192 nyomatott ívre terjedő névtárból minden adatot, ami magyarországi vagy Magyarországon működött természettudósra vonatkozik. E jegyzékből, melyet a Természettudományi Közlöny egész terjedelmében fog közölni, kitűnik, hogy a 8447 tudós közül 91 és így az egésznek körülbelül egy század része magyarországi, de kitűnik továbbá az is, hogy sok érdemes magyar tudós, kikerül a jelenleg működő természettanárainknak még köz-tudomásuk van, hiányzik a gyűjteményből. E hiányért Poggendorff-ot legkevésbé sem lehet okolni. Az alább közölt kivonat eléggé meggyőzhet mindenkit, hogy ő a legnagyobb lelkiismeretességgel felhasználta a rendelkezésére jutott forrásokat. Irodalmunk elszigeteltsége s bibliographiánk nem léte megmagyaráz mindent.

Szerencsére a baj olyan, hogy azon egy kis ügyszeregettel sokat lehet enyhíteni. A Biographisch-Literarisches Handwörterbuch oly természetű munka, mely soha nem lesz, mert nem is lehet teljes és tökéletes. Bármily gonddal dolgozzák is ki az efféle lexicont, időjártával pótkötetre lesz szükség.

És éppen az a körülmény, hogy a Poggendorff-féle lexicon első pótkötetéhez már Európa-szerte gyűjtik az anyagot, indított bennünket e sorok közzétételére. Mint mondtuk, egy kis ügyszeregettel még kipótolhatnók a pótkötetben a törzsmunka észrevett hiányait. Irodalomtörténészeink, a főiskolák és tanító-szerzetek szaktanárai, könyvtárnokai pár hó alatt összeadhatnák a szükséges anyagot. A Természettudományi Közlöny szerkesztőisége a legnagyobb örömmel közölni fog minden megbízható adatot, s a legnagyobb készséggel vállalkozik arra is, hogy a hozzá beküldött adatokat rendszeresen egybe állítva Poggendorff-nak kezeihez juttassa.

Mindenekelőtt tudnunk kell, hogy mi van meg a törzsmunkában, s hogy ehhez képest mi még a pótlendő. Evégből jónak látja a Természettudományi Közlöny szerkesztőisége a fönnebb említett kivonatot egész terjedelmében közölni.

Az érdeklött tudománybarátokat végül arra kérjük, szíveskednének a birtokukban levő adatokat, bármily csekélyeknek látszassanak is, minden aggodalom nélkül beküldeni. A világ is csak parányi részecsek összetételéből áll.” (*Természettudományi Közlöny*, 1871)

De nézzük, hogy kik is azok a fizikatanárok, fizikai témákkal foglalkozó magyar szakemberek, akikről sikerült adatokat gyűjtenie Poggendorffnak és akikről – e gyűjtés alapján – hírt adhatott 1871-ben Szily Kálmán:

*Adányi András* (1716–1795) – Nagyszombatban, majd Esztergomban tanított, hittudor és bölcsész volt; 1744-ben, majd 1755/56-ban az általános fizika témakörében jelentek meg tankönyvei Nagyszombatban.

*Ambschel Antal* (1751–1821) – jezsuita, fizikatanár volt a laibachi líceumban, majd a bécsi egyetemen; Bécsben 1807-ben jelent meg hatkötetes fizikája; 1807-től pozsonyi kanonok (a szlovák nyelvű kézikönyvek születési évét 1746-ra teszik).

*Buchholtz György* (1688–1737) – természettudományi észleletei a boroszlói tudós társaság évkönyveiben jelentek meg.

*Butschbany (Bucsányi) Mátyás* (1731–1796) – Göttingenben és Hamburgban dolgozott, az elektromos jelenségek kutatója volt; publikációi német kiadványokban jelentek meg.

*Domín József Ferenc* (1754–1819) – a fizika professzora volt a pesti Tudományegyetemen; elsősorban az elektromosság orvosi alkalmazásaival foglalkozott.

*Gabon Antal* (1677–1735) – Nagyszombatban bölcséleti tanár volt, később Győrben, majd ismét Nagyszombatban, azután Kassán tanított; Nagyszombatban fizikakönyve jelent meg 1717-ben.

*Hadai Hadaly Károly* (1743–1834) – matematikát tanított Nagyszombatban, Győrben, Pécsen, Pozsonyban, majd a felsőbb mennyiségtan tanára lett 1809-ben a pesti Tudományegyetemen; hidrotechnikával és mechanikával is foglalkozott.

*Horváth Baptista János* (1732–1799) – a nagyszombati egyetem neves fizikaprofesszora volt, nagyszámú szakkönyv fűződik a nevéhez; aerosztatikával, statikával, mechanikával, hidraulikával is foglalkozott.

*Jaszlinszky András* (1715–1783) – jezsuitaként tanított Nagyszombatban, ahol fizikai tankönyvei is megjelentek.

*Klaus Mihály* (1719–1792) – fizikát tanított a bécsi Theresianumban, majd a bécsi egyetemen, később Nagyszombatban, Kassán, Pesten és Győrben; 1756-ban jelent meg kétkötetes fizikája Bécsben.

*Lipsicz Mihály* (1703–1766) – jezsuitaként tanított Grazban, Kolozsváron, Nagyszombatban, Kassán, Budán, Zágrábban és Győrben; írt algebra, statikát és csillagászatot.

*Makó Pál, Kerek-Gedei* (1723–1793) – korának legjelesebb jezsuita matematikusa és fizikusa, a bécsi Theresianum tanára, a Budára került Tudományegyetem igazgatója, királyi tanácsos; kora legnívósabb fizikai és matematikai tankönyveinek írója; közreműködött az 1777-es Ratio Educationis és az ahhoz kapcsolódó tankönyvek megírásában is.

*Martinovics Ignác József* (1755–1795) – a lembergi egyetem tanára volt, később Pesten működött; nevéhez számos tankönyv fűződik, köztük csillagászati, fizikai, kémiai és természetfilozófiai kötetek; a jakobinus per áldozata lett.

*Matsko János Mátyás* (1721–1796) – matematikatanár volt Rintelnben, majd Casselben; számos tankönyve és szakkönyve jelent meg a hidraulika, a mechanika és a csillagászat területéről.

*Pankl (Pankel) Mátyás* (1740–1798) – jezsuitaként tanított a nagyszombati egyetemen, azt követően pedig Pozsonyban; fizikatanár volt, több szakkönyve is megjelent.

*Radics Antal* (1726–1773) – jezsuitaként tanított Budán, majd Nagyszombatban; *Boskovich* természetfilozófiájáról Budán jelentetett meg könyvet, 1766-ban adta ki kétkötetes fizikáját, 1768-ban pedig egy háromkötetes fizikát írt.

*Revczky Antal* (1723–1781) – jezsuitaként tanított Nagyszombatban, majd a pesti Tudományegyetemen; matematikai és fizikai tankönyve jelent meg az egyetem kiadásában.

*Sárváry Pál* (1765–1846) – a debreceni református kollégiumban tanított mennyiségtant, fizikát és filozófiát, több értékes szakkönyve jelent meg, de akkoriban ezeket Poggenendorff még nem tudta jegyzékbe foglalni; Arany János róla írta *Agg Simeon* című költeményét.

*Segner János András* (1704–1777) – orvosdoktor, fizikus, matematikus, kezdetben Debrecenben működött, majd Jénában, később Göttingenben, azután Halléban lett professzor; korának nemzetközi hírű tudósa lett, akinek a nevéhez nagyszámú publikáció kapcsolódik; legismertebb találmánya a Segner-kerék.

*Szarka József* (1764–1827) – először Pécsen tanított fizikát, majd 1809-től a pesti Tudományegyetemen; több fizikai dolgozata ismeretes, ő adta ki 1807-ben Budán (posztumusz kötetként) Horváth János egyik fizikáját.

*Szent-Ivány Márton* (1633–1705) – jezsuitaként tanított mennyiségtant és teológiát Nagyszombatban és a rend más iskoláiban; az 1689-től közreadott többkötetes reáltudományi kézikönyve korának számos tudományát mutatja be, magas színvonalon.

*Tomcsányi Ádám* (1755–1831) – a pesti Tudományegyetemen a fizika professzora; az első magyarországi könyvet írta a galvanizmusról, *Kitaibellel* együtt könyvet írt a móri földrengésről, több értékes fizikakönyve jelent meg.

## Szily törekvései a Bolyaiak életművének megismertetése érdekében

Nem kis részben Szily Kálmánnak köszönhetjük, hogy felkarolta a Bolyaiak hazai és nemzetközi elismertetésének ügyét, az igazi kezdeményező azonban valószínűleg a Temesvárott született építész, *Schmidt Ferenc* volt. *Nagy Ferenc* kutatásaiból tudjuk (2003), hogy az építész édesapja, *Schmidt Antal* Temesvárott egykoron együtt dolgozott a hadmérnök *Bolyai Jánossal*. Egy francia kutató, *Jules Hoüel* 1867. február 15-én tőle kért adatokat Bolyai Jánosról, Hoüel ugyanis kézbe vette János 1832-es *Appendix*-ét, és azt korszakos dolgozatnak találta, majd 1867-ben egy periodikában meg is jelentette francia fordításban, Schmidt életrajzi kiegészítésével. 1868-ban az *Appendix* újabb francia kiadása már önálló kötetként látott napvilágot Párizsban.

Ettől kezdve lényegében már egyfajta folyamatos Bolyai-kutatásról számolhatunk be, sorra jönnek J. Hoüel, *G. Battaglini*, *G. B. Halsted*, *J. Frischauf*, *C. Spitz*, *S. Günther*, *R. Bonola*, *P. Stäckel*, *D. Hilbert*, valamint *Kürschák József*, *Riesz Frigyes*, *Schlesinger Lajos*, *Réthy Mór*, *Szabó Péter* és mások kutatási eredményei, szöveggözlései.

Időközben Schmidt kezdeményezésére levél érkezett külföldről *Eötvös József*hez – javasolván a teljes Bolyai kéziratok hagyaték áttanulmányozását – aki arról tudósította fiát, *Lorándot* is, 1869. július 9-én:

„A napokban levelet kaptam a római akadémia matematikus osztálya elnökétől, melynek örültem és elszomorodtam egyszerre, s melynek tartalmáról most sem tudom, büszkék legyünk-e rá, vagy piruljunk.

Az elnök tudósít, hogy ugyanezen postával Bolyai Jánosnak és Farkasnak Rómában kijött olasz biográfiját [küldi], hozzá egy Párizsban s egy Bordeaux-ban kijött biográfikus ismertetést, melyhez Bolyai Jánosnak a paralellák teóriájáról írt kisebb munkája szinte fordításba csatoltatott.

Ezen munka 834-ben jött ki németül [latinul], s állítólag, a római tudósok nézete szerint, a legnagyobb, mi a matematika körében e század alatt történt. Bolyai munkáját csak Gauss ismerte, kivel Bolyai János apja, Farkas, a dolgozatot közlé, és ki annak következtében egy hasontartalmú dolgozatát, melyen 35 évig dolgozott, eldobta, miután a kérdés, melyet ő megfejtetni akart, Bolyai által megoldatott. Csak Gauss korrespondenciájából, mely 59-ben kiadatott, lettek figyelmessé a tudósok Bolyaira, s miután róla egy mérnök ismerőse által cikk jelent meg Grunertban, nagy nehézséggel megszereztek végre egy példányt, mely most olasz és francia fordításban megjelent, és a legnagyobb szenzációt csinálja a matematikusok között.

Buoncompagni csak azért fordult hozzám, mert biztos tudomást szerezvén, hogy a két Bolyai irományai Marosvásárhelyen vannak, három év óta mind ő, mind a bordeaux-i és párizsi akadémiák tízszer írtak a marosvásárhelyi kollégiumhoz, de még választ sem kaphattak, s most – meg lévén győződve, hogy ilyen lángész irományai közt sok becses jegyzet lesz –, azért fordulnak hozzám, hogy az irományokra kezem tegyem, s azoknak érdemes részét vagy az akadémiánál adjam ki, vagy nekik engedjem át kiadás végett. – És ezen ember soha nem volt akadémikus, Erdélyben félbolondnak tartott, s míg Gauss vele éveken át levelezett, Ausztriában mint genie-hadnagy penzionáltatott; s ha örülünk, hogy nagy matematikust adtunk a világnak: lehet-e rosszabb bizonyosága barbarizmusunknak?”

Lényegében ez a levél indította el Magyarországon a Bolyai János-kutatást, s ezek sorában kéziratai átvizsgálását. Bolyai kéziratos hagyatékát 1869-ben Pestre szállították, ahol megkezdték annak áttanulmányozását, a munka hosszú éveket vett igénybe. (Szily 1871-ben cikket írt a *Természettudományi Közönyben* Báró Eötvös József és a természettudományok címmel).

1877-ben Schmidt azt javasolta az Akadémiának, tegyen lépéseket annak érdekében, hogy a *Bolyai Farkas – Gauss* levelezés másolatai eljussanak az Akadémiára, mert így mód nyílna a kettejük között folytatott levelezés hazai kiadására. Az Akadémia el is járt az ügyben, s ezt az eseménysort 1878-ban Szily részletesen ismertette a *Műegyetemi Lapok*ban. (A másolatok csak 1896-ban érkeztek meg Schmidt Ferenchez, tegyük hozzá, hogy a Gauss által Bolyai Farkasnak írt levelek eredetijét már 1856-ban átadta a német szakembereknek a Gauss-archívum számára Bolyai Farkas, így ezek másolatait is csak négy évtizedre rá kaptuk vissza.)

1884-ben Szily Bolyai János testvérével, *Bolyai Gergellyel* folytatott levelezése alapján igyekszik új adatokkal gazdagítani a Bolyai Farkas biográfiát, ezt először előadás formájában összegezte az Akadémián

1884. október 20-án, majd megjelentette a *Természettudományi Közönyben*, valamint az MTA egyik legelismertebb periodikájában, az *Értekezések a matematikai tudományok köréből* című folyóiratban. Ennél a periodikánál egy-egy értekezés egyben egy önálló kiadványt is jelentett.

1885-ben bukkant rá Schmidt Ferenc arra az értékes temesvári levélre, amelyet János 1823-ban vetett papírra Temesvárotra, s amelyben hírt adott arról, hogy geometriája segítségével egy új, más világot teremtett. Magát a levelet – Schmidt kérésére – Szily mutatta be elsőként az 1887. április 14-i akadémiai ülésen, majd annak főbb részleteit három helyen is közreadta: az MTA egyik folyóiratában, a *Mathematikai és Természettudományi Értesítőben*, azután annak német nyelvű változatában, valamint a közreműködésével szerkesztett *Természettudományi Közönyben*, utóbbi a Királyi Magyar Természettudományi Társulat ismert folyóirata volt. (A levél első teljes szöveggözlésére csak 1902-ben került sor, amint azt Kiss Csongor kutatásából tudjuk.)

Szily kutatásaival párhuzamosan 1886-ban a kolozsvári matematikaprofesszor, *Brassai Sámuel* közreadta Bolyai Farkasról írott nagy emlékbeszédét az Erdélyi Múzeum-egylet egyik periodikájában. (Később posztumusz közlésként jelent meg 1898-ban a konzervatív tudósként számon tartott Brassai *A XI. axioma* című dolgozata, a nem-euklideszi szemléletmód bírálataként.)

1887-ben *Koncz József*, a marosvásárhelyi Református Kollégium tudós könyvtárosa megírta a kollégium és az ahhoz tartozó nyomda történetét, mindkét munkában számos értékes adat olvasható Bolyai Farkasról és Jánosról is, sőt néhány fontos Bolyai Farkas kézirat is az ő közlésében jelent meg első alkalommal. Szily – Bolyai Gergely jóvoltából – 1887-ben mutatta be az Akadémián a Bolyai Farkasról készült értékes, 1844–45-ben készült festményt.



Szily 1889 és 1905 között az MTA főtitkára volt és vele párhuzamosan Eötvös Loránd töltötte be az elnöki posztot. Ezekben az években mindketten sokat tettek annak érdekében, hogy megismertessék a világgal mind Bolyai Farkas, mind Bolyai János életművét. Nézzük mindezt adatszerűen, időrendben.

Erdélyben elsőként emlékezett Bolyai János életművére a Kemény Zsigmond Társaság (1896. november 22-én), s ehhez kapcsolódóan 1896-ban a *Marosvásárhelyi Füzetek*ben megjelent *Bedőházi János* Bolyai Farkasról írt dolgozata, a következő évben pedig *A két Bolyai* című négy és félszáz oldalas monográfiája. Bedőházi munkája nem hibátlan, néhányszor igencsak félrevezető legendákra épít, de könyve végül is alapot adott a további kutatásokhoz.

Ennél talán fontosabb volt, hogy Schmidt Ferenc építész kezdeményezésére (és költségén) *Suták József* tanár úr fordításában 1897-ben megjelent Bolyai Jánosnak a tér tudományáról írt, egykoron latin nyelven megjelent munkája magyar fordítása. A kötethez Suták írt szaktudományi előszót, Schmidt pedig Bolyai János életrajzát

zát adta közre. Ugyanebben az évben *Rados Ignác* is lefordította az *Appendixet*, ami az Eötvös Loránd kezdeményezésére megindított *Mathematikai és Fizikai Lapokban*, a *Fizikai Szemle* elődjében jelent meg.

A német matematikus, Paul Stäckel 1897-ben is elkezdett foglalkozni a Bolyai–Gauss-levelezés feldolgozásával, amelynek eredményeként 1899-re realizálódott Szily korábbi óhaja: megjelent német és magyar előszóval, két különböző kiadásban a Bolyai Farkas – Gauss levelezés (a művet Schmidt Ferenc és Paul Stäckel együtt állította össze és látta el jegyzetekkel, az egyik kiadás Lipcsében jelent meg, a másik az Akadémia gondozásában, Budapesten). Ezek a művek a Bolyai Farkas-kutatás kiemelkedő darabjai.

Szily Kálmán továbbra is támogatta a két Bolyaira vonatkozó kutatásokat, s segített abban, hogy 1897-ben meginduljon az Akadémia költségén Bolyai Farkas *Tentamenjének* és Bolyai János *Appendixének* díszkiadása. A két művet az Akadémia három kötetben jelentette meg, *König Gyula*, Réthy Mór és *Tötösy Béla* szöveggondozó munkájának köszönhetően. A zárókötet 1904-ben került ki a sajtó alól.

Szily akadémiai főtítkárként segített abban is, hogy a *Mathematikai és Természettudományi Értesítőben* napvilágot lásson magyar fordításban Paul Stäckel *A képzetes számok elmélete Bolyai János hátrahagyott*

*irataiban* című dolgozata (1899), valamint *A nem euklidikus geometria története Bolyai János hátrahagyott irataiban* című publikációja (1900).

Bolyai János születésének 100. évfordulójára (1902) több megemlékezést is szerveztek, az egyik legkiemelkedőbb a kolozsvári volt, amelyre csak 1903. január 15-én kerülhetett sor, s amelyről emlékkötet is megjelent. Önálló közleményként is megjelent Eötvös Loránd, a Magyar Tudományos Akadémiát a kolozsvári ünnepségen képviselő tudós emlékbeszéde. Természetesen Marosvásárhelyen is rendeztek emlékünnepeket.

Szily Eötvös Loránddal, az Akadémia elnökével közösen jelentette be 1903-ban az akadémiai Bolyai-díj megalapítását, mégpedig a kolozsvári Bolyai-centenárium ünnepségen. A díjat első alkalommal 1905-ben adták át, az első kitüntetett *H. Poincaré* lett. Szily a későbbi években már nem főtítkárként, hanem az Akadémia főkönyvtárosaként működött, továbbra is folytatott tudománytörténeti kutatásokat, a Bolyai-témában pedig 1914-ben jelentette meg *Bolyai Farkas törekvései az erdészi pályára* című dolgozatát.

Ezek voltak tehát id. Szily Kálmán műgyetemi fizikaprofesszor, majd akadémiai főtítkár legfontosabb természettudomány-történeti kutatásai, nem szólván a természettudományi szaknyelv múltjára vonatkozó vizsgálatairól.

## A KOCHLEOID VONALZÓ

A kör négyszögesítése az eleve kilátástalan törekvés szinonimája. Kissé tárgyyszerűbben: a klasszikus körzős-vonalzós (euklideszi) szerkesztésekkel nem állítható elő olyan négyzet, amelynek területe, avagy kerülete egy adott kör területével (kerületével) egyezik.

Tehát egy tetszőleges körívvel egyező hosszúságú egyenes szakasz sem szerkeszthető.

Az elvi korlátokba ütköző, többé-kevés közismert szerkesztési feladatok nagyrészt az antik görög geometriából származnak. A szögharmadolás, kockakettőzés stb. feladatok azonban valamilyen különleges geometriai eszköz segítségével megoldhatók.

A magyar matematikai irodalom gyöngyszeme, *Szőkefalvi Nagy Gyula A geometriai szerkesztések elmélete* című kötete (Akadémiai Kiadó, Bp., 1968) nagyszerű bevezetést ad e tárgykörbe.

Az euklideszi eszközökkel *nem* szerkeszthetőség szabatos bizonyításai mellett különösen érdekesek a feladatok megoldását más úton biztosító, különleges vonalzók és csuklós mechanizmusok.

A matematikátörténet méltatlanul feledett tudósa, *Sipos Pál* (1759–1816) kochleoid vonalzója<sup>1</sup> a körív

„kiegyenesítésének” (rektifikálásának) igen ötletes eszköze.

Sipos Pál életútját és munkásságát az [1–4] források részletesen ismertetik. A kochleoid görbe rövid leírása az [5], a jelen cikkhez kapcsolódó, működő Maple worksheet a [6] Internet-oldalon található.

A  $k$  paraméterű kochleoidot<sup>2</sup> azon  $k = AP_0$  hosszúságú körívek  $P_0, \dots, P_p, \dots, P_m, \dots$  végpontjai alkotják, amelyek közös kezdőpontja  $A$ , és az  $A$  pontbeli közös érintőjük az  $A$  és  $P_0$  pontokra fektetett egyenes (*1. ábra*).

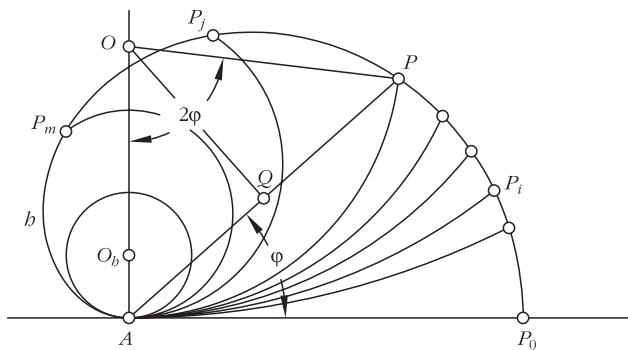
Az  $AP$  ív középpontja  $O$ , sugara  $OA = OP = R$ . Jelölje  $\varphi$  az  $A$  csúcshoz, a  $P$  és  $P_0$  pontokon átmenő szárakkal definiált szöget. Az  $AP$  húr hossza a húr  $Q$  felezőpontjával szerkesztett  $AQO$  és  $QPO$  (az  $OQ$  egyenesre tükrözött) derékszögű háromszögek alapján  $AP = 2R \sin \varphi$ . (Az  $O$  csúcspontú, az  $A$  és  $Q$  pontokon átmenő szárakkal definiált szög – a megfelelő szögszárak merőlegessége okán – nyilvánvalóan  $\varphi$ .)

Az  $AP$  ív hossza  $2R\varphi = k$ , azaz

$$R = \frac{k}{2\varphi},$$

<sup>1</sup> A különleges vonalzót a szakirodalom izométerként is említi.

<sup>2</sup> A görbe neve a latin cochlea = éticsiga, illetve csigaház kifejezésből származik [7].



1. ábra. A kochleoid görbe sajátosságai.

tehát az  $AP$  húr hossza

$$AP = k \frac{\sin \varphi}{\varphi}.$$

Az  $R \rightarrow \infty$  ív határalakzata a  $k$  hosszúságú  $AP_0$  szakasz, a  $P \rightarrow A$  határalakzat az

$$R = \frac{k}{2\pi}$$

sugarú (az 1. ábrán  $b$ -val jelölt,  $O_b$  középpontú) kör.

Az  $O$  középpontú  $AB$  körív hosszával megegyező  $AT$  szakasz szerkesztése a 2. ábra szerint történik.

1. A kochleoid  $\varphi = 0$  paraméterű  $AS$  polársugarát érintőként a rektifikálandó  $AB$  körív  $A$  kezdőpontjához illesztjük.

2. Megszerkesztjük az  $AB$  hűrt. A húr a kochleoidot a  $P$  pontban metszi. (A kochleoid  $P$  ponthoz tartozó polárszöge  $\varphi$ .)

3. A  $P$  pontot összekötjük a kochleoid  $S$  kezdő pontjával.

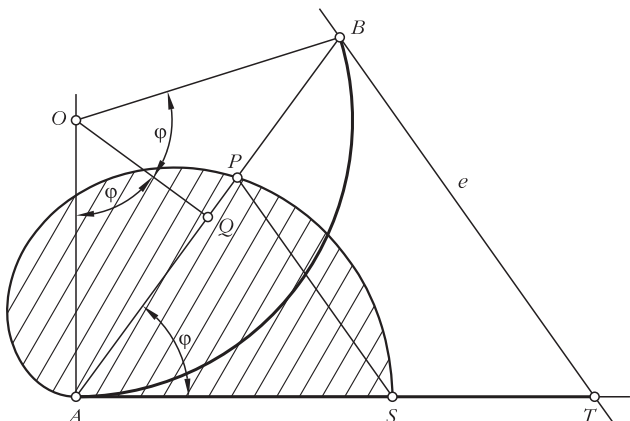
4. A körív  $B$  pontján át megszerkesztjük a  $PS$  szakasszal párhuzamos  $e$  egyenest, amely az  $A$  és  $S$  pontokon átmenő egyenest a  $T$  pontban metszi.

Az  $AT$  távolság éppen az  $AB$  körív keresett hosszával egyezik meg.

A szerkesztés helyessége könnyen igazolható.

Az  $AB$  körív  $O$  középpontjából az  $AB$  húrra állított merőleges a hűrt a  $Q$  pontban metszi. Az  $OQ$  szakasz az  $AB$  ív középponti szögét felezi. Az  $AB$  ív középponti szöge  $2\varphi$ , hiszen a kör  $OA$  sugara merőleges az  $AT$  egyenesre, az  $AB$  húr pedig  $OQ$ -ra.

2. ábra. Körív rektifikálása adott kochleoid segítségével.



Az  $AQ = QB$  fél húr hossz az  $AQO$  (avagy a tükörszimmetrikus  $QBO$ ) derékszögű háromszögekből  $AQ = QB = R \sin \varphi$ , a teljes húr hossz tehát  $AB = 2R \sin \varphi$ .

A kochleoid  $AP$  sugara

$$AP = k \frac{\sin \varphi}{\varphi}.$$

Az  $A$  csúcspontú,  $AP$ , illetve  $AT$  szárakkal adódó  $\varphi$  szöget a párhuzamos  $AS$  és  $BT$  szakaszokkal metszve az

$$\frac{AT}{AS} = \frac{AB}{AP}$$

arány adódik, tehát

$$AT = AS \frac{AB}{AP}.$$

Figyelembe véve, hogy  $AS = k$ ,  $AT = 2R\varphi$  éppen az  $R$  sugarú,  $2\varphi$  középponti szögű körív elvileg pontos hossza.

Sipos Pál a kochleoiddal végezhető szerkesztést is tárgyaló dolgozatát 1795-ben a Berlieni Tudományos Akadémia aranyéremmel díjazta. Sipos 1796-ban a Bécsben megjelenő *Magyar Hirmondó*-ban közreadott hirdetéssel matematikai instrumentuma megvásárlására előfizetőket próbált gyűjteni. A kochleoid vonalzó (az egykorú szöveg szerint) „...egyforma magassággal fognak készíttetni rézből, és mindegyik külön-külön kapszulában leszen; a nyomtatásban kiadandó magyarázat vagy utasítás is mindegyik mellé lesz adva német nyelven. Egy darabnak a hozzá tartozó készüllettel együtt az ára tétetett 4 forint 30 krajtzárra.”

Sajnos – megannyi kutatás ellenére – sem sikerült kideríteni, egyáltalán készültek-e vonalzó?

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gyártástudomány és -technológia Tanszékén elkészítettük a kochleoid vonalzó néhány mintapéldányát.

A kézi szerkesztési pontosság ( $\sim 0,03$  mm) biztosításához a kochleoidpontok alkalmas száma szükséges. A görbe

$$\rho = \frac{k \sin \varphi}{\varphi} \quad (1)$$

polár egyenletéből képzett

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} \rho = k \left( \frac{\cos \varphi}{\varphi} - \frac{\sin \varphi}{\varphi^2} \right) \quad (2)$$

deriválttal a görbe ívhossza a  $0 \leq \varphi \leq \pi$  tartományban.

$$L = \int_0^\pi \sqrt{\rho^2 + \left( \frac{\partial}{\partial \varphi} \rho \right)^2} d\varphi. \quad (3)$$

A  $k = AS = 140$  mm értéket felvéve, a (3) ívhossz  $L = 316,9842432$  mm,  $n = 10\,000$  görbepontra a szomszédos pontok közötti

$$\Delta = \frac{L}{n} \cong 0,032 \text{ mm}$$

állandó ívtávolság adódik.

Az egyenletes távolságokban felvett görbepontok koordinátáit a  $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$  szögparamétereknél határoztuk meg, ahol a  $\delta_i$  értékek ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) az

$$i\Delta = \int_0^{\delta_i} \sqrt{\rho^2 + \left(\frac{\partial}{\partial\varphi} \rho\right)^2} d\varphi. \quad (4)$$

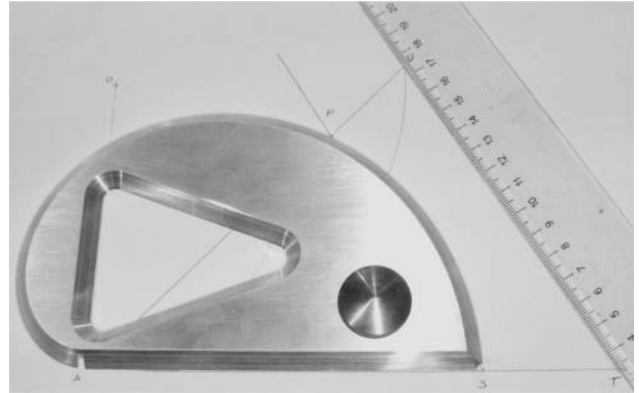
alakú egyenletek numerikus megoldásai. A pontok Descartes-koordinátái:

$$x_i = k \frac{\sin\delta_i}{\delta_i} \cos\delta_i, \quad (5)$$

$$y_i = k \frac{\sin\delta_i}{\delta_i} \sin\delta_i.$$

A kochleoid görbe 10 000 pontjának koordinátáit a Maple 12 szimbolikus matematikai rendszerrel számítottuk, majd az alakzat pontláncát DXF formátumban állítottuk elő. A megmunkálás CNC-programját a Mastercam X2-es CAM-rendszer segítségével készítettük el (3. ábra).

Aligha remélhetjük, hogy a geometria oktatásához nélkülözhetetlen lesz e kedves kis eszköz. Úgy érezzük azonban, hogy elkészítésével és elméleti háttérének közreadásával múltunk egy méltatlanul feledett tudós nagysága előtt tiszteleghetünk.



3. ábra. Az elkészült kochleoid vonalzó.

## Irodalom

1. Woyciechowsky-Jelitai József: Sipos Pál élete és matematikai munkássága. *Közlemények a Debreceni Tud. Egyetem Matematikai Szemináriumából VI* (szerk. Dávid Lajos) (1932) 11.
2. Jelítai József: Sipos Pál kézírata és a kochleoid. *Matematikai és Fizikai Lapok 41* (1934) 45–54.
3. Makkai Ernő: *Sipos Pál*. [http://mek.oszk.hu/05400/05407/pdf/Makkai\\_Mat\\_Sipos.pdf](http://mek.oszk.hu/05400/05407/pdf/Makkai_Mat_Sipos.pdf)
4. Weszely Tibor: A magyar matematika első aranyérmese, Sipos Pál (1759–1816), *Természet Világa 129* (1998) III. különszám, 11–15.
5. <http://mathworld.wolfram.com/Cochleoid.html>
6. <http://www.maplesoft.com/applications/view.aspx?SID=6706>
7. Finály H.: *A latin nyelv szótára*. Franklin Társulat, Budapest, 1884.

# AZ ORVOSI FIZIKA KIALAKULÁSA BUDAPESTEN

Fonyó Attila  
SOTE Élettani Intézet

Az MTA mai centenáriumi megemlékezésén voltaképpen csak kevés jogcímem van a megszólalásra. Ezek közül az *első*, hogy amikor az Orvosi Fizikai Intézet létesült – még orvostanhallgató koromban az Élettani Intézet tagjaként – ott voltam az Esterházy utca, a mai Puskin utca 9-ben, és szomszédként szemlélője a kezdeteknek. Ilyenek ma már nagyon kevesen vagyunk. A *másik*, hogy évtizedekkel később, amikor 1981-ben már az Élettani Intézet igazgatójaként visszatértem a Puskin utcai épületbe, nemcsak fizikai közelségbe kerültünk egymással *Tarján* professzorral. Engem, mint „fiatal” tanszékvezetőt – 54 évesen – nem nyomasztott többé a köztünk lévő, tizenöt évnyi korkülönbség – akkor mertem először visszategezni –, gyakori látogatója lettem a tőlem mindössze egyetlen emeletnyi távolságban lévő, 1982-től már nyugalomba vonult Professzornak. Élete végéig gyakran, olykor még az épületen kívül is találkoztunk, és ő ilyenkor sok mindent elmondott a múltrol, amiről hihetetlenül sokat tudott. Még egy összekötő kapocs fedez-

hető fel közöttünk: ő 1959–63 között, magam pedig 1985–91 között voltam a többször nevet változtatott Egyetem Orvostudományi Karának dékánja, így ebben a tárgykörben is volt mit megbeszélünk.

A következő percekben arról beszélek, hogy *milyen körülmények között létesült 1947–48-ban az Orvosi Fizikai Intézet* és hogyan kapcsolódott létesítése az Orvosi Vegytani Intézetéhez.

1945-ben megjósolható változások kezdődtek a magyar felsőoktatásban. Az orvosi felsőoktatást illetően két nevet kell említenem, *Szent-Györgyi Albert*-t, akinek nevét mindenki ismeri, és *Ernst Jenő*-t, akinek neve Pécsen kívül kezd feledésbe merülni. Mindketten – különböző módokon – induktív szerepet játszottak a budapesti Orvosi Fizikai Intézet megalapításában.

Szent-Györgyi szegedi professzorként az ostromot illegálisan Budapesten vészelte át. Szakmai múltja, Nobel-díja és közéleti szereplése alapján mindenki természetesnek tartotta, hogy Budapesten a Pázmány Péter Tudományegyetem Orvostudományi Karán ő lett a Biokémiai Intézet igazgatója – ezzel a meglévő intézet újjáélesztője – és a főbb változások *spiritus*

Megemlékezés a Magyar Tudományos Akadémián, Tarján Imre professzor centenáriumán, 2012. május 10-én.

rectora. (Magam az 1946/47-es tanév első félévében névleg őt hallgattam, a Biokémia akkor *egy féléves tárgy* volt vizsgakötelezettség nélkül. Szent-Györgyi az első előadást követően még *két* előadást tartott, az összes többit *Laky Kálmánra* bízta.) Szent-Györgyi Szegeden az Orvoskar Orvosi Kémiai Intézetének igazgatója volt, így Budapesten is a kémia és a felívelő biokémia tanítása állt közel érdeklődéséhez.

Budapesten az orvostanhallgatók az akkor még egységes Pázmány Péter Tudományegyetem bölcsészkarán – ebből vált le később a TTK – a vegyészhallgatókkal együtt hallgattak kémiát és végeztek analitikai gyakorlatokat. Szent-Györgyi 1945 októberében az első Tanácsulések egyikén javasolta, hogy az Orvoskaron belül létesüljön egy-egy önálló *Orvos-Kémiai* és *Orvosi Fizikai tanszék*. Látható, hogy Szent-Györgyi reformtervei túlmutattak a vegytan tanításán, megjelent az *orvosi fizika* gondolata is.

1947-ig tartott, hogy kormányhatározat rendelkezék az *Orvosi Vegytani Intézet* és az *Orvosi Fizikai Intézet* megalapításáról. 1948-tól már mindkét új intézet az addig csak az Élettani, a Biokémiai és a Közegészségtani Intézeteknek helyet adó Puskin utca 9. szám alatti orvostani épületben működött. A Közegészségtani Intézet addigra kiköltözött a Mária utcába, és a régi épületre egy további emeletet húztak (ma is ott éktelenkedik). Ez a szimbiózisnak is nevezhető felállás egészen 2008-ig, az Elméleti Orvostudományi Központ (EOK) megnyitásáig tartósan bizonyult.

A *de facto* 1948-ban – már Szent-Györgyi távozása után – létesült önálló Orvosi Vegytani Intézet alapító igazgatója *Straub F. Brunó* lett, akit ebben a körben nem kell bemutatnom; rangjától és címeitől függetlenül is nagy egyéniség volt. Straub egyébként egyike volt azoknak a keveseknek, akik az 1940-es évek elején „biokémiai doktorátust” szereztek, ehhez részben az orvosképzés, részben a vegyészképzés alaptárgyait vették fel. Az új intézet orvosokkal és vegyészekkel kémiát tanított, de elsőrendű biokémiai kutatásokat végzett. (Többek között itt fektették le 1949 és 1952 között az aktív iontranszport biokémiájának alapjait.)

Az Orvosi Fizikai Intézet első igazgatójának kiválasztása – összehasonlítva Straub F. Brunóval – nem bizonyult telitalálatnak. Ernst Jenő, aki korábban Szent-Györgyi szegedi intézetében kutatta az izomösszehúzó-dást, Pécssett 1945-ben már az orvoskarhoz tartozó Biofizikai Intézetet alapított. Ő volt, aki Szent-Györgyivel együtt szorgalmazta, hogy az orvostanhallgatóknak Budapesten is egy újonnan szervezendő Orvosi Fizikai Intézet tanítsa az adaptált fizikát. Ernst régebben együtt dolgozott *Koczkás Gyulával*, aki matematika-fizika szakos tanár, repülőtiszt, 1944-ben, mint ellenálló a sopronkőhidai fegyház fogja volt, így a politikailag erősen exponált Ernst számára elfogadhatónak tűnt. Így Koczkás Gyula kapott megbízást az új intézet megszervezésére.

Az Orvosi Fizikai Intézet felett rövidesen viharfelhők jelentek meg. 1948–49-et írtunk, a berendezkedő hatalom minden egyetemi intézetben biztosítani kívánta a politikai lojalitást. Az új Orvosi Fizikai Intézetben részben politikai alapon kiválasztott fiatal egyete-

mistákat helyeztek el. Közülük néhányan az akkori hiszterizált légkörnek megfelelően megkezdték az „osztályharcot”, megkeresték az „ellenséget”, meg is találták Koczkás Gyula személyében, aki sajnos partner volt a konfrontációban. Mindezek ezt a kezdő, jobb sorsra érdemes kis intézetet előbb harcmezővé, majd romhalmazzá változtatták.

1950-re az orvoskari vezetés – vagy ma kideríthetetlen felsőbb szerv – kényszerűségből változtatásra határozta el magát. Feltehető, hogy a változtatásban szerepet játszott az akkori dékán, *Gegesi Kis Pál*, de nyilván kellett hozzá a politikai hatalom beleegyezése is. A koreográfia az akkori korra jellemzően alakult: szinkronizáltan mentették fel és helyezték át az Országos Sugárfizikai Intézetbe Koczkás Gyulát és azonnali hatállyal került honvédségi kutatóintézetbe a helyi „osztályharc” exponense, az intézeti pártmegbízott. (Nemsokára meghalt, nevét kegyeleti okból nem említem.) A hangadó „ifjútörökők” rövidesen kikoptak az intézetből, akik pedig kevésbé vettek részt a küzdelmekben és szakmailag értek valamit, a továbbiakban megtalálták helyüket az Intézetben.

Koczkás távozása után jelent meg az intézetben egy fiatal, 38 éves fizikus, *Gyulay Zoltán* egykori munkatársa, egy ideig középiskolai tanárként, akkor éppen a budapesti Pedagógiai Főiskola tanszékvezető tanárként működő Tarján Imre, aki az Eötvös Kollégium egykori tagjaként magával hozta nem csak a szakma mindenek feletti tiszteletét, az igényességet, hanem a Kollégium felépítéséből adódóan az értelmiségi sokoldalúságot, a széleskörű műveltséget. A jelen lévők közül talán még vannak, akik tudják, hogy a Kollégiumban egymás mellett éltek a „filoszok” és a „dög-szek”, azaz akik nem tartoztak a filoszok nemesebb rendjébe. Tarján professzor onnan hozta humán műveltségét, a mások iránti kivételes toleranciát, a nyugodt érvelést. A mindenki iránti korlátlan udvariasság már inkább veleszületett tulajdonsága lehetett.

Tarjánnak az Intézetbe való kerülésekor jóformán a nulláról kellett kezdenie. Legelső feladata az oktatási rend kialakítása volt. A tárgy neve akkor *Orvosi fizika*, országszerte kialakulatlan tartalommal. 1948-ig a Pázmány Péter Tudományegyetem bölcsészkarának Fizikai Intézetében tanították és vizsgáztatták a *Kísérleti fizikát*. Ekkor *Eötvös Loránd* egykori munkatársa, *Rybár István* vezette a tanszéket, aki minden előadást saját maga tartott, lényegében megismételte a középiskolai tananyagot és magamnak friss érettségimmal nagyon kevés tanulással sem okozott gondot a szigorlat letétele. Ez a vonal követhetetlen volt. Pécssett Ernst Jenő professzor *Biofizika* címmel hirdette meg kollégiumát. Ernst professzornak nagy intelligenciája mellett különös nézetei is voltak, ezeket a Magyar Élettani Társaság Vándorgyűlésein, továbbá a *Bevezetés a biofizikába* című könyvében nyomon lehet követni. Ez sem tűnt járható útnak. Az *Orvosi fizika* budapesti önálló profilja lassan és megfontoltan alakult ki, elhagyva a középiskolai fizika ismétlését, beépítve a fizika orvosi vonatkozásait, továbbá fokról fokra a biofizika egyes elemeit. (Kisebb csöndes súrlódásokra adott alkalmat az anyag-

szerkezet tanítása, amit akkor egy ideig az Orvosi Kémiai Intézet is magának vindikált, a vita azonban magától elhalt.) Minthogy csak a kezdetekről számolok be, nem említem a folyamatos fejlődést, az *Orvosi fizika* átalakulását *Biofizikává*, erről a további előadók minden bizonnyal beszámolnak.

Az átvételkor az Intézetben nem álltak rendelkezésre megfelelő kvalifikációjú oktatók. Az új professzor régi kipróbált tanártársait hozta magával, bölcs, lehiggadt, pedagógusi kvalitásokkal rendelkező embereket, mint *Turcsányi Györgyöt*, *Újbelyi Sándort*, *Tamás Gyulát*, *Tarnóczy Tamást*, akikhez később az akkor még fiatal *Voszka Rudolf*, majd *Nagy János* csatlakozott. A régi intézetből – úgy emlékszem – igazán egy valaki maradt meg, *Sieglerné Somló Ágnes*, aki egy KFKI-intermezzo után tért később vissza az anyaintézetbe, ahol korai haláláig dolgozott. Egy további alapító tag *Karsainé Szemes Márta* 1951-ig volt az Intézet tagja. Az idősebb generációt kezdettől fogva egészítették ki azok az egyetemi hallgatók – orvos-, vegyész- és fizikushallgatók –, akik abban a korban teljesen természetesen részei voltak az Intézetnek – ez egyébként az összes Puskin utcai intézetre érvényes volt.

Csak később, érett fejjel és sok tapasztalat után fogtam fel, hogy mekkora csoda is történt az Orvosi Fizikán. Középiskolai tanárok, akik addig „teljes munkaidejükben” tanítottak rövid időn belül kiváló kutatókká váltak. Végig kell csak nézni Tarján Imre publikációs listáját, hogy milyen minőségű közleményekben voltak társszerzők az említettek. Kutatóként ugyanezek nem veszítették el pedagógiai érzéküket és lelkiismeretességüket sem.

A kutatómunkában Tarján professzor kiindulópontja régi munkaterülete, a kristályfizika volt, ami abban az időben tett szert igen nagy gyakorlati jelentőségre. Az 1940-es években még szinte egyeduralmú volt a nukleáris sugárzások mérésére a Geiger–Müller-számláló, de akkorra bontakozott ki a szcintillációs mérés technika. Valószínűleg mindenki emlékében él a jelenlévők közül, hogy az akkori szcintillációs detektorok külön-

böző aktivált kristályok voltak (a folyadékszintillációs mérés, a „Tri-Carb” csak később jelent meg külföldön, és sokkal később nálunk). Hirtelen megnőtt az egykristályok iránti kereslet, viszont ezek az akkori embargo következtében nem álltak rendelkezésre. Az Orvosi Fizikai Intézetben megindult a „kristálynövesztés”, és Tarján professzor későbbi elmondása szerint ez képezte az egyik alapját a hazai nukleáris mérőműszergyártásnak, ami a maga teljes vertikumában az akkori Gamma Művekben bontakozott ki. Beszámolómnak ez a része Tarján professzorral 1981 után folytatott beszélgetéseinkre épül, ugyanis akkori eszemmel nem igazán fogtam fel, mit is látok nap mint nap az Orvosi Fizikán. Személyesen – mint egykori szomszéd – emlékszem a „kristálynövesztésre” használt berendezések látványára, de ennek mélyebb értelméről nem volt fogalmam. Erről azonban sokkal szakavatottabban beszél majd utánam *Hartmann Ervin*.

Az Orvosegyetem történetében kisebb mérföldkő a radioaktív izotóplaboratórium létesítése. Tarján így írja: „Intézetünkben létesült Budapesten az egészségügy területén az első úgynevezett *meleglaboratórium*, amely otthont adott az első, együttműködésben elvégzett nyomjelzős vizsgálatoknak is. A labor mintául szolgált más meleglaborok felépítéséhez.” Egy fiatal fizikus, Nagy János kapott erre megbízást. Itt tanultuk akkor jóformán valamennyien a szakma alapjait. Sok egyetemi intézet és klinika munkatársai jártak ide részben tanácsot kérni, részben pedig egyes méréseket elvégezni. Végablakos és hengeres Geiger–Müller-csőveket használtunk (ilyeneknek 1942-ben még *Enrico Fermi* is jó hasznát vette Chicagóban), a mintákat kézzel váltottuk – automatikus mintaváltóról nem is hallottunk –, a számláláshoz bináris (64-es) scalereket és stopperórát vettünk igénybe. Szóval ezek olyan „hősi idők” voltak, amin ma valószínűleg mosolyognak, de Budapesten az Orvosi Fizikai Intézet izotóplaborja lehetővé tette a radioaktív izotópok mindennapi alkalmazását.

Eddig a történet kezdete. A folytatásról szólnak a következő előadások.

## TARJÁN IMRE A MAGYAR KRISTÁLYFIZIKÁBAN

Hartmann Ervin  
MTA Wigner FK SZFI

A kristályfizika magyarországi születési évének 1776-ot tekinthetjük. Az olasz származású *Giovanni Antonio Scopoli*<sup>1</sup> (1723–1788), aki tíz esztendőn keresztül volt tanár Selmechányán, ebben az évben publikálta *Crystatlographia Hungarica* című művét. Érdemes megjegyezni, hogy a krisztallográfia szó az angol nyelvben csak negyed századdal később (1802-ben) jelent meg.

<sup>1</sup> Ismert úgyis, mint Scopoli János Antal, Prof. Dr. Ioannes Antonius Scopoli, Johannes Antonius Scopoli, Ján Anton Skopoli (forrás: Wikipédia).

A 20. századi magyar kristályfizikai iskolát *Gyulai Zoltán* (1887–1968) és *Tarján Imre* (1912–2000) alapozta meg (*1. ábra*). Gyulai Zoltán a tudományos munkát Kolozsvárott kezdte, majd hét éves hadifogság után a szegedi egyetemen folytatta. Itt kapott lehetőséget arra, hogy több évig Göttingenben *R. Pohl* professzor mellett kutathasson. *R. Pohl* a Nobel-díjas *N. F. Mott* a szilárdtestfizika atyjának („the real father of solid state physics”) nevezte. A *Gyulai–Hartly-efektus* a világon először utalt arra, hogy plasztikus deformációkor ponthibák keletkeznek [1].





1. ábra. Gyulai Zoltán és Tarján Imre 1957-ben.

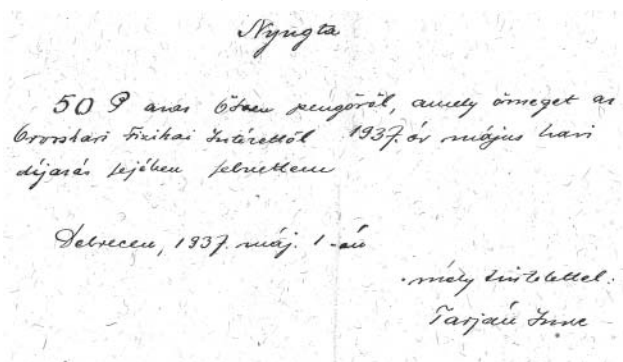
Gyulai Zoltánt 1935-ben a debreceni Orvosi Fizikai Tanszékre kinevezték egyetemi tanárnak. A következő év januárjában került hozzá gyakornoknak Tarján Imre, aki 1930-ban fizikából megnyerte az országos tanulmányi versenyt, majd elvégezte a matematika-fizika szakot Budapesten, és egyetemi éveit alatt az Eötvös József Kollégium „dögész” tagja volt. (Tréfásan dögészeknek nevezték a természettudománnyal foglalkozó kollégistákat.) Debrecenben igen nehéz körülmények között élt. Bár Gyulai elégedett volt vele (2. ábra), először csak egy tanársegédi fizetés felét, majd belső kutatási ösztöndíjat (évi 600 pengő) tudott biztosítani számára (3. ábra). Az egyik laboratórium-ban beállítottak neki egy ágyat és a menzán olcsón kaphatott ebédet és vacsorát.

Tarján Imre doktori értekezését (4. ábra, bal oldala) „summa cum laude” minősítéssel 1939-ben védte meg. A disszertációból írt cikk azonban a háború miatt csak tíz év elteltével jelenhetett meg.

Bár Gyulai nagyon szerette volna, hogy Tarján kövesse őt a kolozsvári egyetemre, útjaik 1940-ben szétváltak. Tarján középiskolákba (Ipolyság, Pestszentlőrinc, 1946-tól a Trefort-utcai „Minta”) került. Ez stabilabb helynek számított (a kinevezés határozatlan időre szólt). Tarjánt a háborúban többször behívták néhány hónapra katonának. A gyorshadtesttel Dnyepropetrovszkig jutott.

A háború után 1947-ben Gyulai Zoltán a műegyetemi Kísérleti Fizikai Tanszék élére került. Tarján Imre egy évig a Pedagógiai Főiskolán főiskolai tanár, majd 1950-ben a budapesti egyetem Orvosi Fizikai Tanszékére tanszékvezető professzornak nevezik ki. Gyulai körül kristálynövekedési, Tarján körül kris-

3. ábra. Tarján Imre havi díjazása 1937-ben.



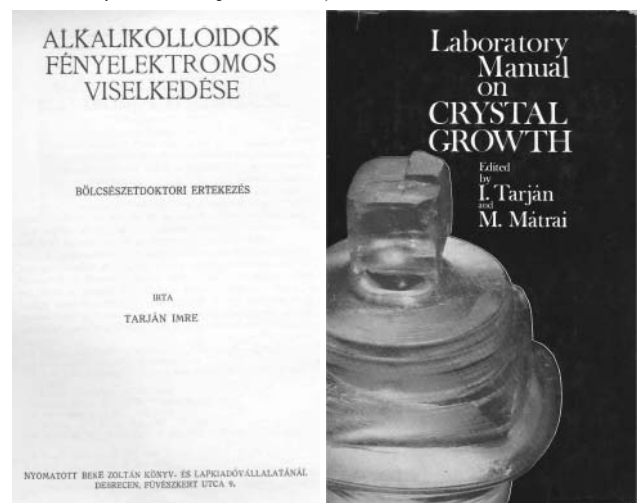
*Ami az utolsó elődöt illeti, természetesen kellene az előadandó anyagot látni és vizsgálni is. Tarján Imre, aki itt először gyűjtötte és kemmi fizetés mellett. Ez rendes ember, Pesten volt az Eötvös, most egy fejletlenebb problémában utózik és szeretne valami megoldást.*

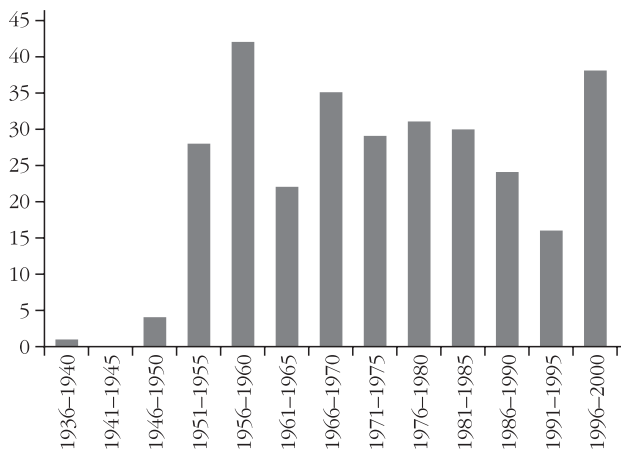
2. ábra. Gyulai Zoltán levele Ortway Rudolffhoz.

tályfizikai tanszéki kutatócsoportot szervezett 1960-ban az MTA elnöksége. A hatvanas évek közepén felmerült a gondolat, hogy a helyszűkével küszködő tanszéki kutatócsoportok új, korszerű épületben nyerjenek elhelyezést. Tarján így emlékezik vissza 1996-ban: „A Budaörsi úton a laktanya melletti akadémiai telek alkalmasnak mutatkozott erre a célra.... Az Akadémia Erdely-Grúz Tibor főtitkár elképzelése szerint kétszintű panelépületekre gondolt, amiket gyorsan és olcsón fel lehet építeni, gyorsan lehet tehát segíteni a szóban forgó kutatási egységek helyiségproblémáin. Az eredeti elképzelésbe előbb a Főváros nem egyezett bele, mert úgy képzelték a városatyák, hogy a Főváros legnagyobb nyugati kapujánál toronyépületnek kell lennie. Új terveket kellett tehát készíttetni. Ezekbe viszont a Honvédelmi Tárca nem egyezett bele, mert a magasan fekvő emeleti ablakokból be lehet látni a laktanya udvarára és vétünk az éberség ellen. Ismét át kellett tervezni az épületet, hogy a laktanya felőli oldalán ne legyenek ablakok, amikből a laborszemélyzet meglesheti az udvaron sarat taposó vagy esetleg éppen békaügető katonákat. Így azután fél év helyett 10 évig tartott az akadémiai épület elkészítése. Elmaradt a laborproblémák gyors megoldása és elmaradt az olcsó kivitelezés is. Teljesült viszont sok egyéb kívánság. Az elsődlegesek helyett a másodlagosak.”

A kristálynövekedési és kristályfizikai kutatócsoport egyesítésével létrejött Kristályfizikai Kutatólabo-

4. ábra. Tarján Imre doktori értekezése (balra) és az általa szerkesztett kristálynövesztési praktikum (jobbra).





5. ábra. Tarján Imre publikációinak időbeli eloszlása.

ratórium más akadémiai szervezetekkel együtt 1975-ben költözött a Budaörsi útra. Erdey-Grúz Tibor még a költözés előtt Tarján akadémikust jelölte ki a leendő kutatóközpont igazgatójának. Először Tarján igent mondott, később, alaposabb megfontolás után azonban nem vállalta az igazgatóságot, viszont a kutatólaboratórium életében tanácsadóként továbbra is részt vett. Főállásban az Orvosegyetemen maradt. A Kristályfizikai Kutatólaboratórium az akadémiai konszolidáció során, 1998-ban az SZFKI része lett, és felköltözött Csillebércre.

Tarján Imre a kandidátusi fokozatot 1952-ben kapta meg. Az 1966-os tudományos doktori disszertációjának címe: *Egykristályok előállításának és sugársérülésének néhány kérdése*. Akadémiai székfoglalói: *Egykristályok előállítása* (1971), illetve *A biológiai sugársérülés molekuláris problémái* (1977). Tarján Imre publikációi időbeli eloszlásán (5. ábra) világosan látható a háború befolyása. Tarján Imre publikációs jegyzéke közel háromszorosa Gyulai Zoltánénak. Ennek több oka van. Gyulai Zoltán munkásságába mind az első mind a második világháború beleszólt, Tarján Imre esetében csak a második. A publikációs szokások is megváltoztak negyedszázad alatt: sok új folyóirat kínált lehetőséget a publikálásra, és a több szerzős cikkek váltak uralkodóvá. Míg Gyulait főleg elvi jelentőségű témák (vannak-e kristályhibák, vannak-e „tökéletes kristályok”), addig Tarját főleg gyakorlatiasabb témák (kristálynövekedés helyett a kristálynövesztés) érdekelték. Legtöbbször idézett cikke is az extrém tisztaságú alkálihalogenid kristályok előállításával foglalkozik. Tarján Imre másik témája, a biofizika rohamosabban fejlődött, mint a kristályfizika. Gyulai életének végén sokat foglalkozott filozófiával és az ilyen műveit nemigen publikálta (publikálhatta), Tarján viszont utolsó öt évében sok visszaemlékezést, tudománysszervezéssel foglalkozó cikket írt.

Tarján Imrének már debreceni működése idején is volt „famulusa”, kristályfizikai tudományos iskola azonban csak később a budapesti Orvostudományi Egyetemen alakult ki körülötte [2]. Közvetlen tanítványai közül a kristályfizika terén öten lettek a fizikai tudomány doktorai, *Janszky József* az MTA rendes tagja lett. A Tarján-iskola 1951–1975 évekre vonatko-

zó publikációs jegyzéke 125 tételt tartalmaz. A kristályfizikai kutatólaboratórium publikációs jegyzékében az 1976–1997 évekre 577 tétel szerepel.

Mind Gyulai, mind Tarján erősen érdeklődött didaktikai kérdések iránt. Tarján Imre szerkesztette az UNESCO támogatásával 1972-ben kiadott kristálynövesztési kézikönyvet (4. ábra, jobbra), amelynek C. W. Bunn professzor szerint (*Nature* 242 March 9 1973) minden kristálynövesztő polcán ott kell állnia. A könyv tizenkilenc magyar kristálynövesztő munkája.

Gyulai Zoltán 1950 januárjában csak úgy vállalta a Távközlési Kutatóintézet (TÁKI) kutatási megbízását piezoelektromos kvarckristályok növesztésére, ha Tarján Imre főmunkatársként bekapcsolódik a kutatási munkába. Gyulai 1951. október 16-án már azt jelentette az MTA III. osztályának, hogy „az általunk kidolgozott és kipróbált eljárásokkal 2-3 centiméter méretű kvarz kristályok termelhetők a mostani méretű autoklávjainkban. A nagyobb kristályok növelése csupán az autoklávok méretezésének a kérdése”. Ezzel a magyarok nemzetközileg is az elsők között voltak a nagyméretű kvarc egykristályok előállításában, csak a Bell-laboratórium előzte meg őket néhány hónappal. Idegen nyelvű közléshez a TÁKI nem járult hozzá. Gyulai még Göttingenben ismerkedett meg mesterséges alkálihalogenid kristályok olvadékból történő előállításával. Tarján Imre az ötvenes években *Turchányi György* és *Voszka Rudolf* munkatársaival együtt több éves munkát fektetett abba, hogy a GAMMA Művek évtizedeken keresztül, *Stéger Ferenc* és *Keszthelyiné Lándori Sára* irányításával, évente több tonnányi mennyiségben és nemzetközileg elismert kiváló minőségben NaI(Tl) szcintillátor kristályokat tudjon gyártani.

Az Orvosegyetemen Tarján Imre egyszer dékán másszor rektorhelyettes volt. Az MTA III. Osztályán közel fél évszázadon keresztül végzett óriási munkát. Mint *Nagy Károly* akadémikus az emlékülésen kiemelte, minden ülésre írásos jegyzetekkel készült. Osztályelnökként jelentős szerepe volt abban, hogy a fizikusok 1990-ben önálló osztályt alakíthattak. Az ELFT Kristályfizikai Szakcsoportjának tiszteletbeli elnöke volt. Tarján erőfeszítése révén lett Magyarország a Nemzetközi Krisztallográfiai Unió tagja 1963-ban. Az IUCr magyar nemzetközi bizottságának először titkára, majd 1966 és 1973 között elnöke, az IUPAP magyar nemzeti bizottságának tagja. 1967–1971 közt a *Journal of Crystal Growth*, 1966–1989 közt a *Crystal Research and Technology*, valamint a *Czechoslovak Journal of Physics* szerkesztőbizottságának tagja. Működése során számos díjat, kitüntetést kapott. Leginkább az akadémia aranyéremnek örült [3].

Tarján Imre szeretett anekdotázni. Talán célszerű ismét leközölni egyik anekdotáját a *Wigner*-családról, figyelembe véve, hogy a jelen évben alakult meg az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont és indult el a sokmilliárdos CERN@WIGNER projekt.

„Wigner papa egy újpesti börgyár igazgatója volt. Barátai ügyes üzletembernek tartották, akinek a kezé-

ben minden arannyá válik. Más szavakkal: szerencsés ember az üzleti életben, de szerencsétlen a gyerekeivel. Jenő fiából valami éhenkórász lett, fizikával foglalkozik. A lánya is szerencsétlen, ugyancsak egy éhenkórászhoz ment feleségül. A leány férje: *P. A. M. Dirac* (1902–1984).”

## Irodalom

1. Hartmann E.: Hetvenöt éves a Gyulai–Hartly effektus; Ötvenévesek Gyulai tükristály mérési. *Magyar Tudomány* 48 (2003) 1559–1565.
2. [http://www.otka.hu/index.php?akt\\_menu=3746](http://www.otka.hu/index.php?akt_menu=3746)
3. Gimes Júlia rádióinterjúja Tarján Imrével 1998-ban. Ismétlése elhangzott a Kossuth Rádióban 2004. március 3-án: *Aranyemberek*.

# TARJÁN PROFESSZOR HAGYATÉKA

Rontó Györgyi  
SOTE Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet

„Exegi monumentum aere perennius  
Regalique situ pyramidum altius”

– jelentette ki a költő mintegy két évezreddel ezelőtt. *Horatius*, mint a szellem embere az „ércnél marandóbb” emlékműben a saját műveire utalt, és ez igaz *Tarján* professzor esetében is: szellemi hagyatéka képezi azt az emlékművet, amely ércnél marandóbb, magasabb a piramisoknál is és aminek nem árthattak, nem is fognak ártani a vad viharok, vagy a felhőszakadás, sem pedig a múlt idő.

Tarján Imre szellemi hagyatéka két forrásból fakad: egyrészt a szülői ház, másrészt a sokat emlegetett Eötvös Kollégium szelleméből. Az előbbi a pedagógus szellemet, a második az új eredmények iránti érzékenységet, nyitottságot jelenti. Az újat Tarján professzor mindig kihívásnak tekintette.

A következőkben – a teljesség igénye nélkül – néhány ilyen „hagyatékot” említek meg, ami ma is teljeshíti, sőt a kornak megfelelően tovább viszi a több évtizeddel ezelőtt kitűzött feladatot.

1. Tarján professzor 1950-ben nyert kinevezést az Orvosi Fizikai Intézet élére. Világosan látta, hogy az orvosegyetemi környezetben az intézet számára feltehetően szükségesek orvosi-biológiai feladatok, kutatások. A kihívás tehát megvolt. Így létesült Tarján professzor kezdeményezésére az ötvenes évek közepén végén *az első orvosi célú radioaktív izotóp-laboratórium Budapesten*, ami a Puskin utcában nyert elhelyezést. A laboratórium elvi és mérés technikai bázisát az Intézet képezte. A pedagógiai háttér azt jelentette, hogy az intézet oktatói tanulták és egyúttal az egyetemi kollégáknak tanították a radioaktív nyomjelzéssel, a magsugárzások mérésével kapcsolatos elméleti és mérés technikai ismereteket. A laboratóriumban pedig együttműködtek a mérések kivitelezésében. Mindezeket az alapvető elvi és gyakorlati ismereteket – a mai igények szerint – a hallgatók ma az orvosi biofizika tárgy keretében szerezhetik meg. A szakorvosok továbbképzésére az akkor orvosi izotóp-tanfolyamként elindított kurzus most mint *bővített fokozatú sugárvédelmi tanfolyam* folytatódik: szervezésében kezdettől fogva a mai napig kiemelkedő szerepet játszanak az intézet vezető oktatói (*Nagy János, Györgyi Sándor, Voszka István*).

2. Tarján professzor biztos volt abban, hogy számos biológiai probléma tanulmányozása fizikai szemlélettel, fizikai módszerekkel lehet/lesz eredményes. Ebben a vonatkozásban a kihívást 1961-ben *Ernst* professzor kezdeményezése jelentette, aki akkor a Magyar Biofizikai Társaság szervezésén fáradozott. Tarján kezdettől fogva csatlakozott a szervezéshez, a Magyar Biofizikai Társaság alapító és vezetőségi tagja, majd haláláig tiszteleti elnöke volt.

A problémák interdiszciplináris kezelése ma már, több mint fél évszázad elteltével nem kérdéses, számos kutatóhelyen teljesen természetes, azonban a molekuláris biofizikai kutatások bölcsőjénél nem volt ez így. A nehézségek leküzdésénél, a kételkedők megnyugtatásánál, sőt a kicsinyhitű vagy nagyképzű gáncsoskodók leszerelésénél Tarján professzor pedagógusi vénája gyakran döntő volt. *A biofizikai kutatás Budapesten* a háttérben Tarján kristályfizikai szemléletével egyszerű molekulák/makromolekulák (nukleinsavak, nukleoproteidek, membránok) szerkezetének megismerésére irányult, és a szerkezet változásához kapcsolható funkció megváltozását vizsgálta. Tarján irányításával az évek során az Intézetben olyan fizikusokból, biológusokból, vegyészekből, orvosokból, gyógyszerészekből álló kutatócsoportok alakultak, amelyek képesek voltak közös nyelven beszélni, közös problémákat felvetni és azokat eredményesen megoldani.

3. A 20. század kutatóinak a számítógépek megjelenése újabb kihívást jelentett. A hetvenes évek elején már látszott, hogy a felhasználóbarát számítógépek nélkülözhetetlenek lesznek az élet számos területén. Tarján Imre, aki akkor egyetemünkön tudományos rektorhelyettesi posztot töltött be, keményen kiállt egy *központi egyetemi számítógép* beszerzéséért és alkalmazásáért. Megemlítem, hogy az idő tájt a gáncsoskodók a klinikák lepedő-ellátásáért aggódtak. Ma már, harmincegynéhány év múltán el sem tudnánk képzelni a klinikai munkát, a kutatást vagy az egyetemi adminisztrációt, de egész életünket számítógépek nélkül!

4. Tarján professzori kinevezésétől, azaz az ötvenes évektől kezdve törekedett arra, hogy elszakadjon a „hagyományos,” korábban a bölcsészek számára összeállított, és „mellékesen” a leendő orvosok számára

is előírt fizikai ismeretek tárgyalásától. Ez a kihívás indította el az „*orvosi irányultságú fizika/biofizika oktatását Budapesten*”. Tarján professzor több mint 30 éven keresztül állt a katedrán és ez alatt rendszeresen, gondosan készült minden egyes tantermi előadására. Mindig igyekezett hozzáfűzni az előadáshoz a legújabb tudományos eredmények alapján egy-egy mondatot, egy-egy érdekességet. Gyakran előfordult, hogy amit az egyik évben még csak említett, azt már a következő évi előadásban sokkal részletesebben taglalta, és végül tankönyvi adattá/bekezdéssé alakult. Az előadási anyag tehát évről-évre változott, lépést tartott a fizika és az orvostudomány kapcsolódási pontjaival.

A biofizika mint multidiszciplináris téma esetében nehéz feladat a hallgatóság számára *szükséges és elégséges* tananyag kialakítása. Tarján professzort a helyes arány létrehozásában kiváló pedagógiai érzéke segítette. A fejlődést jól mutatják a Tarján által írt/szerkesztett tankönyvek egyre újabb és újabb kiadásai. (Összesen 10 kiadásról van szó.) Az első tankönyv a hatvanas években készült magyar nyelven, amely *Fizika orvosok és biológusok számára* címen, három kiadásban (Medicina, 1964, 1968 és 1971) jelent meg,

ezt orosz (1969) és lengyel (1975) nyelvre is lefordították. A negyedik kiadás már fokozottabban orvosi-biológiai irányultságú volt; szerző-, illetve később szerkesztőtársakkal együtt készült *A biofizika alapjai* címmel a Medicina (1977, 1981, 1987, 1991), majd a Semmelweis Kiadó (1997, 1999, 2002) adta ki. A könyv a német, illetve az angol nyelvű oktatás érdekében mindkét idegen nyelven is megjelent három, illetve négy kiadásban.

A 20. századi Magyarországon kevés tanárnak adott meg, hogy több ezer, akár tízezer hazai (és külföldi) orvos vallhatta őt tanárának generációkon keresztül. A hallgatók biofizikai tanulmányaik legelső napjaitól kezdve megsejthették, hogy az élő és élettelen természetire vonatkozó törvények általánosan érvényesek, és későbbi hivatásukban nagy fontosságot nyernek. Különösen szerencsések voltak azok, akik az ő precíz fogalmazású tankönyvei és előadásai révén ismerhették meg az orvos által alkalmazott diagnosztikai-terápiás módszerek mélyén rejlő fizikai alapokat.

Tarján Imre gazdag szellemi hagyatékát áttekintve joggal tarthatjuk őt az eötvösi gondolat megvalósítójának: „Nem csak magunknak születtünk, hanem hazánk, szüleinknek és barátainknak is.”

## KOZMIKUS SUGÁRZÁS EXTRÉM ENERGIÁKON – I. RÉSZ

Kövesi-Domokos Zsuzsa

Department of Physics and Astronomy  
The Johns Hopkins University  
Baltimore, USA

A tudományos világ idén, 2012-ben ünnepli a kozmikus sugárzás felfedezésének centenáriumát. A huszadik század első évtizedeiben sok kutató vett részt annak felismerésében, hogy a világűrben nagy energiájú ionizáló sugárzás érkezik. *Victor Hess* osztrák fizikus 1912-ben hidrogénnel töltött léggömbjével számos alkalommal nagy magasságba emelkedett és mérte a sugárzás erősségét. E meglehetősen veszélyes léggömbutazások eredményeként kétséget kizárólag megállapította, hogy a sugárzás az atmoszférán kívülről jön és a Nap nem domináns forrása e kozmikus sugárzásnak. 1912 óta nagyon sok adat gyűlt össze a bejövő fluxus energia-eloszlásáról és kémiai összetételéről.

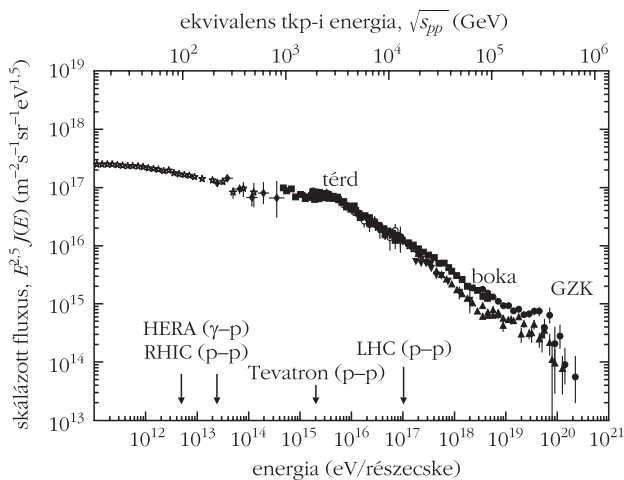
A kozmikus sugarak fizikája hagyományosan a Naprendszerünkön túlról érkező részecskékkel foglalkozik. Az atmoszféra tetejére érkező részecskék főleg nagy energiájú ( $E > 10^{10}$ – $10^{11}$  eV) protonok és könnyű atommagok ( $\approx 99\%$ ), a maradék 1% pedig elektronok és gamma-fotonok.

Írásomban főleg a kozmikus sugárzás részecskefizikai aspektusaival foglalkozom a legnagyobb energiákon. A csillagászati források, a gyorsítás és a világűrben való terjedés kérdéseit nem tárgyalom részletesen.

### A primér kozmikus részecskék energiaspektruma és sok minden más is

Sok-sok évtized méréseit és különböző mérési módszerek eredményeit gyűjti össze az *1. ábra*. Érdekes egy kis időt eltölteni a rengeteg információval, amit ez az egyetlen ábra magában foglal.

*Először:* a vízszintes tengelyen haladva vegyük észre, hogy a bejövő primér részecskék energiája  $10^{12}$  eV-től  $10^{20}$  eV-ig változik – ez nyolc nagyságrendet fog át. Kozmikus sugárzással foglalkozó fizikusok kedvenc példázata, hogy egy  $10^{20}$  eV energiájú elemirész annyi energiát hordoz, mint amennyi energiát nyer egy teniszlabda a világranglista-vezető teniszezők szervájánál. Az utóbbi évtizedek legfontosabb gyorsítói ütközőnyalábos gyorsítók – mint például a Tevatron vagy az LHC – az energiatengelyen bejelöltük ezek ekvivalens energiáját rögzített céltárgyas kísérleti elrendezésben. Az egyre nagyobb energiájú gyorsítók kulcs szerepet játszottak és játszanak az alapvető kölcsönhatások és részecskék (kvarkok, leptonok) elmélete, a Standard Modell felépítésében. Úgy tűnik, hogy az LHC CMS és ATLAS detektorai az utolsó, hiányzó ré-



1. ábra. Primér kozmikus részecskék spektruma az energia függvényében.

szecskét a Higgs-bozont is detektálják. Ugyanakkor a részecskefizikusok kevés dologban biztosabbak, mint abban, hogy a Standard Modell nem az utolsó szó egy alapvetőbb elmélet megtalálásában. (Túl sok tömegparaméter szükséges, nincs mód a sötét anyag beillesztésére, nincs egy elméletté egyesítve a gravitáció és a többi kölcsönhatás.) Az 1. ábra azt is mutatja, hogy a kozmikus részecskéket gyorsító „égi gyorsítók” legalább két-három nagyságrenddel nagyobb energiájú protonokat, atommagokat tudnak előállítani, mint az LHC. Az elemirész-fizikában (és a csillagászatban is) a legmeglepőbb új eredményeket általában akkor értük el, amikor a kísérletek egy új energiatarományba léptek. Ez az egyik ok, amiért az extrém energiájú ( $E > 10^{18}$  eV) kozmikus sugárzási kutatás oly fontos és a mérési eredmények nemcsak a csillagászokat izgatják, hanem a részecskefizikusokat is.

Másodszor: nézzük meg az 1. ábrán a függőleges tengelyen a  $J(E)$  fluxusadatokat! A beérkező részecskék (protonok, atommagok) száma négyzetméterenként, másodpercenként és 1 eV-os energia-intervallumonként nagyon gyorsan csökken az energia növekedésével. Az energiaspektrum struktúráját jobban meg lehet érteni, ha „mesterségesen” enyhítjük a függvény meredekségét és ezért  $E^{2.5}J(E)$ -t ábrázoljuk. A fluxus az energia negatív hatványával csökken. A kitevő két energiánál drámaian megváltozik:  $E \approx 10^{15}$  eV-nál a fluxus meredekebb csökkenésbe megy át, majd  $E \approx 10^{18}$  eV-nál kicsit ellaposodik megint. A fizikusok *térdnek* és *bokának* becézik ezt a két törést – így kapva egy teljes lábat. Az extrém energiájú kozmikus sugarak a boka feletti energiatarományban vannak. Ez az intervallum nagyon fontos kérdéseket ad fel a részecske- és az asztrofizikusoknak is. A részecskefizikusoknak olyan energiatarományba kell kiterjeszteniük a Standard Modellt, amelyet a gyorsító kísérletek nem ellenőrizhettek. Ugyanakkor óriási lehetőséget ad az új fizika megismerésének.

Nem valószínű, hogy új, nagyobb energiájú gyorsító hamarosan épülne. *Zeldovics*, a híres orosz fizikus ezt úgy mondta, hogy a „Világegyetem a szegény ember gyorsítója”. Sajnos az égi gyorsítók által szolgálta-

tott nyáláb kétségbeejtően kevés részecskét produkál a mi légkörünk tetején és a csillagászok kezdenek kifogni azokból az égi gyorsítókból (speciális neutroncsillagok, gammakitörések, különféle aktív maggal rendelkező galaxisok), amelyek ezekre az extrém energiákra képesek a protonokat, atommagokat gyorsítani és ráadásul elég közel vannak. Erről a problémáról eddig nem tettünk említést. Amikor a mi galaxisunk, a Tejútrendszer közelében keressük az extrém energiájú gyorsítókat, körülbelül 150 millió fényév sugarú gömbön belül nagyon keveset találunk. Ez a  $150 \cdot 10^6$  fényévnyi sugár nagyon jelentős, annyira, hogy saját neve is lett: *GZK-sugár*. *Greisen*, *Zatsepin* és *Kuzmin* ismerte fel, hogy a mikrohullámú háttérsugárzásban egy proton háborítatlanul közlekedik, amíg energiája  $\approx 5 \cdot 10^{19}$  eV alatt van. Ennél nagyobb energiánál a mikrohullámú háttérsugárzás fotonja és a proton ütközésében egy pion keletkezhet és a proton energiája drámaian csökken. Még a legnagyobb várható energiákon is néhány ütközés után a proton energiája leesik a pionkeltés küszöbe alá. Így alig várhatunk protonokat olyan forrásokból, amelyek a GZK-sugáron kívül esnek és energiájuk túllépi a fent említett küszöbenergiát. A primér részecskék számában emiatt bekövetkező jókora csökkenést *GZK-levágásnak* nevezzük. Az atommagok sem sikeresebbek, a háttérsugárzáson kívül más energiatarományba eső fotonokkal is ütközhetnek és alacsonyabb energiájú darabokra esnek szét.

*Harmadszor*: tanulmányozzuk egy kicsit, milyen módon lehet mérni a kozmikus részecskéket! Az 1. ábra adataiból kiszámíthatjuk, hogy hány részecskét várunk a légkör tetején különböző energiákon, vagy még inkább hány részecskét várunk egy adott energiánál nagyobb energiával:

$$E > 10^{14} \text{ eV} \approx \frac{10}{\text{m}^2 \text{ nap}},$$

$$E > 5 \cdot 10^{15} \text{ eV} \approx \frac{0,1}{\text{m}^2 \text{ év}} \text{ (kb. a „térd” felett),}$$

$$E > 10^{18} \text{ eV} \approx \frac{10}{\text{km}^2 \text{ év}} \text{ (kb. a „boka” felett),}$$

$$E > 10^{20} \text{ eV} \approx \frac{1}{\text{km}^2 \text{ évszázad}}.$$

Ezek a számok jól mutatják, hogy míg a „térd” környéke alatti energián a fluxus elég nagy ahhoz, hogy léggömbbel, repülővel vagy műholddal felküldhető kisméretű detektorokban történjen a primér, beérkező részecskék első kölcsönhatása, a „térd” feletti fluxus már túl alacsony erre a közvetlen megfigyelésre. Ugyanakkor óriási szerencse, hogy a „térd” feletti részecskék energiája elég jelentős ahhoz, hogy egy „levégőmaggal” (oxigénnel, vagy nitrogénnel) ütközve *légizápot* hozzon létre. Tehát ezeken az energiákon a légkört használjuk céltárgynak és a légkörben törté-

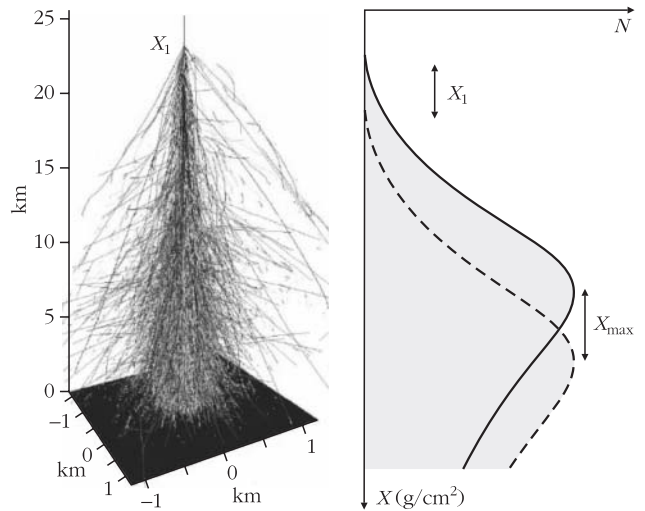
nő második, harmadik, sokadik kölcsönhatásban keletkező részecskéket figyeljük meg a Föld felszínén. Így elég nagy felületű detektorokkal az egyre vérszerűbb primér részecskeszám is megfigyelhető. A rossz hír és a tekintélyes probléma az, hogy a primér részecske mibenlétét és energiáját csak közvetett módszerekkel lehet kihámozni a mérhető adatokból. A következőkben a légizáporok tulajdonságait tanulmányozzuk és a közvetett mérési berendezések lehetőségeit arra, hogy a záport elindító primér részecske energiáját, kémiai összetételét és beesési irányát meghatározzuk.

## Kiterjedt légizáporok és detektorok

A *Heitler-modell* nagyszerűen leírja egy légizápor várható *átlagos tulajdonságait*. Ha egy nagyenergiájú gamma-foton indítja el a záport akkor *elektromágneses záporról* beszélünk. A gamma-részecske egy levegőmaggal kölcsönhatva – párkeltéssel átlagosan egy kölcsönhatási hossz után – két részecskét (egy elektront és egy pozitront) ad, amelyek átlagosan egyenlően osztják meg az energiát. Ezek fékezési sugárzással egy-egy gamma-fotont keltenek; a második kölcsönhatási hossz befutása után már átlagosan négy részecske rohan lefelé lényegében fénysebességgel. Ez a duplázódási folyamat akkor fejeződik be, amikor már nincs elég  $E_{kritikus}$  energia a duplázódásra és más folyamatok is jelentősekké válnak. Ekkor a záporban keltett részek  $N_{max}$  maximális számára jó közelítéssel igaz, hogy  $E_{primér} \approx E_{kritikus} \cdot N_{max}$ . Vegyük észre azt is, hogy a zápor maximális lehatolási mélysége a légkörben érzékenyen függ az első kölcsönhatás helyétől.

Az elektromágneses zápor ismerete sarkalatos annak ellenére, hogy a primér részecskék főként protonok vagy atommagok. Ezek erősen kölcsönható részecskék, és a légkör tetején (a földfelszíntől körülbelül 20 km magasságban) egy levegőmaggal ütközve nagy számú nagyenergiás részecskét, főleg pionokat (semlegeseket és pozitív vagy negatív töltésűeket) keltenek. A semleges pionok szinte azonnal két gamma-fotonra bomlanak, amelyek egy-egy elektromágneses záport indítanak, ahogy ezt előbb megismertük. A csökkent energiájú proton (az atommagokat később megint előveszjük) és a töltött pionok erős kölcsönhatással további semleges és töltött pionokat keltenek. A semleges pionok újabb elektromágneses záporokat indítanak. Az energia csökkenésével a töltött pionok bomlási folyamata válik meghatározóvá, amelynek során müonokra és müonneutrínókra esnek szét. Ezek a müonok a földfelszínt általában eléri és alkalmas detektorokkal megfigyelhetők. A zápor végül olyan, mint egy „elektromágneses palacsinta” (azaz nagyszámú elektron, pozitron és foton): meglehetősen vékony és átmerője lassan növekszik, ahogy közel fénysebességgel söpör lefelé az atmoszférában.

Foglaljuk össze egy proton által keltett légizápor lényeges tulajdonságait. Az első kölcsönhatás után, az erős kölcsönhatásban résztvevő záporcentrum vonal-



2. ábra. Bal oldalon látható a légizápor lefolyása,  $X_1$  jelöli az első kölcsönhatás helyét. Jobb oldalon  $N$  a töltött részek száma a levegőben megtett út függvényében.

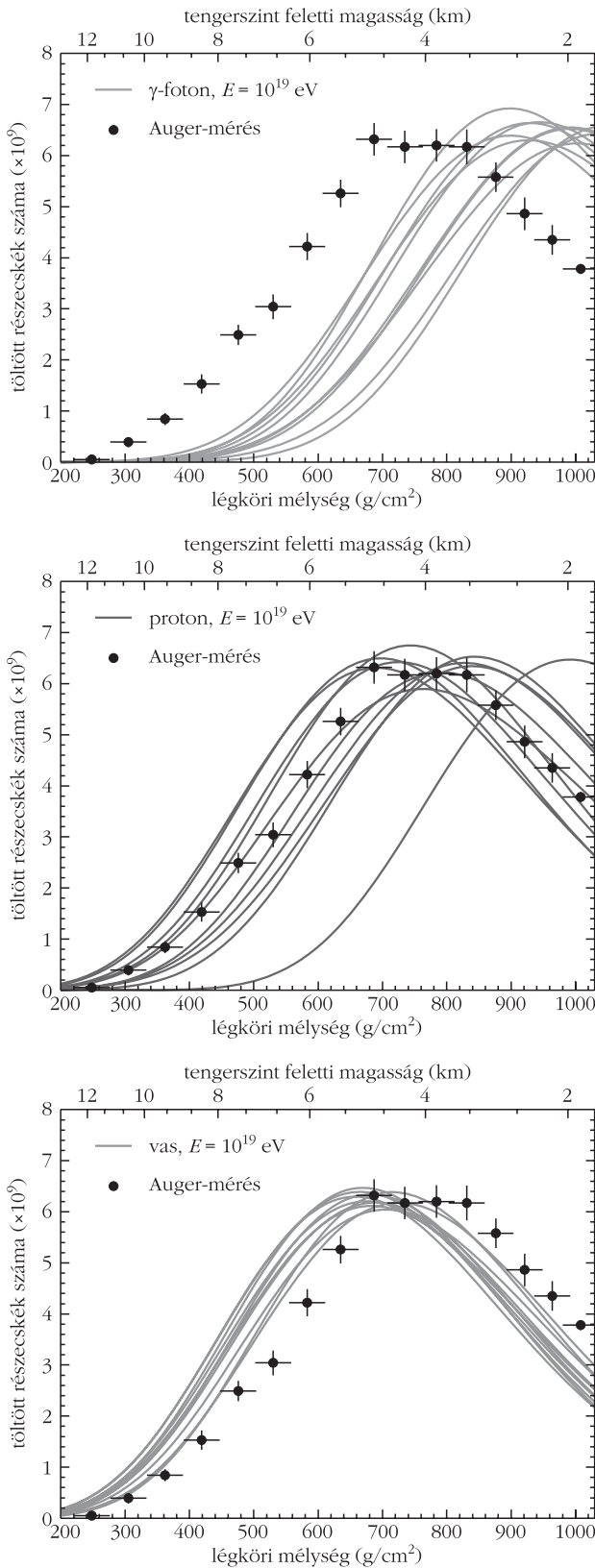
forrásként semleges pionokon keresztül sok elektromágneses záport kelt. A záporfejlődés leírható a gamma-záporok szuperpozíciójaként (2. ábra).

Természetesen a zápormaximum (ahol a záporban lefelé rohanó részek száma maximális) érzékeny arra, hogy gammazáport figyelünk-e meg, vagy egy ugyanolyan energiájú proton által indított záport. A protonzápor semleges pionjaiból származó gamma-fotonok jóval alacsonyabb energiával rendelkeznek, mint a primér energia. így kevesebb duplázódás után esik a részecskék energiája az  $E_{kritikus}$  érték alá. Azaz a protonzápor maximuma rövidebb út után következik be. A primér atommagot – nagyon leegyszerűsítve – úgy tekinthetjük, mint a magban lévő protonok és neutronok összességét, amelyek egymás között demokratikusan osztják el a teljes primér energiát. Egy-egy proton vagy neutron kisebb energiával indul, mint a mag primér energiája, megint azt várjuk, hogy a zápormaximuma rövidebb út után következik be. Azonban itt több proton/neutron által keltett elektromágneses zápor összességét kapjuk és emiatt a záporról záporra várható fluktuáció a zápor maximumában jóval kisebb, mint egy protonzápor esetén. Az előbbiekből világos, hogy *a zápor longitudinális fejlődésének ismerete az információk kincsésbányája a primér részecske tulajdonságait illetően* (3. ábra).

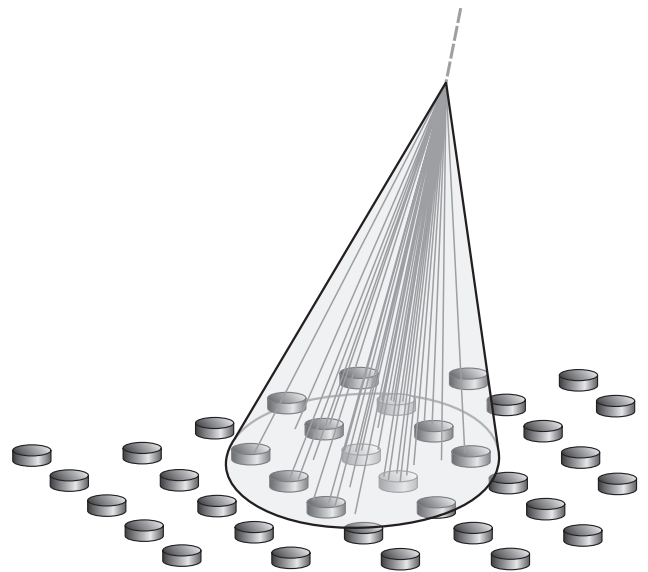
Egy dolgot nem szabad elfelejteni: az előbbi megfontolások az *átlagos* tulajdonságokat írják le, egy légizápor fejlődésében óriási fluktuációk lehetségesek. Az átlagos viselkedést sok-sok kiterjedt légizápor megfigyeléséből állapítjuk meg.

A kozmikus záporok mérésének igáslovai a *felszíni kiterjedt légizápor-detektorok*. Éjjel, nappal, esőben, hóban, holdfényben és felhős időben egyaránt működnek. Nagy területen elhelyezett detektorok mintát vesznek a beérkező részecskeszám-eloszlásból (4. ábra).

Ez a longitudináliszápor-fejlődésnek (a záporokúpnak) egy metszetét méri csak. Nagy körültekintéssel felépített légizápor-szimuláló programok eredményei támogatják



3. ábra. Mindhárom ábrán ugyanabban, az Auger Observatórium által megfigyelt záporban észlelt töltött részecskék számát jelölik a fekete pontok a légköri mélység függvényében. A folytonos vonalú, különböző szűrkeségű görbék záporosimulálás eredményei:  $E = 10^{19}$  eV energiájú gamma-foton, proton és vas primér feltételezésével. Jól megfigyelhetők a szövegben hangsúlyozott tulajdonságok (M. Unger, Snowpac 2010).

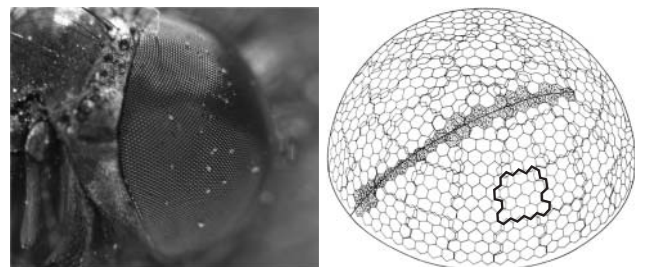


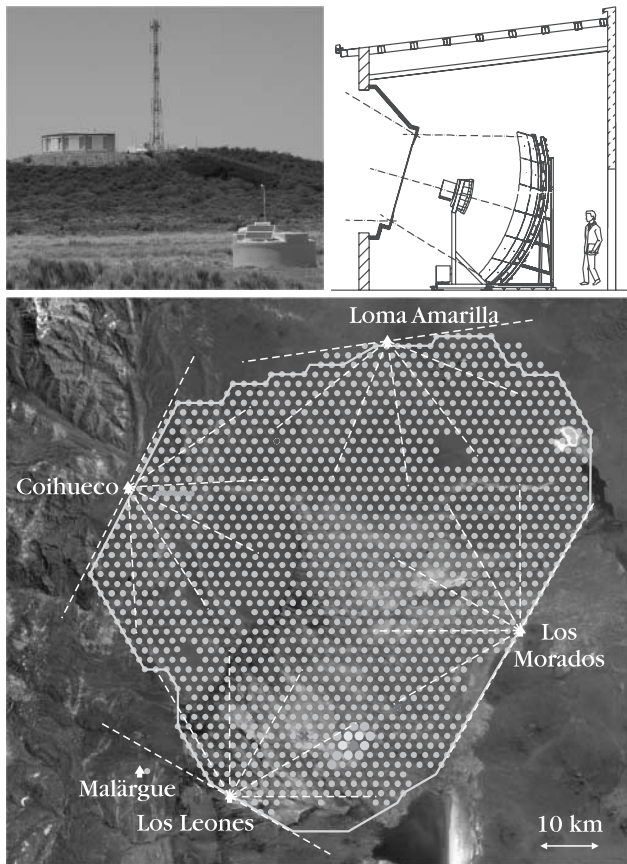
4. ábra. Felszíni részecske-detektorok hálózata mintát vesz egy záporból. Extrém energiákon a zápor „lábnyma” néhányszor tíz  $\text{km}^2$ . (Nature-ből adaptálva).

a mért eloszlás alapján kapott energiabecslést. Ezek a záporosimuláló programok érzékenyen függnek az erős kölcsönhatási rész modellezésétől, ezáltal növelve az energiabecslés szisztematikus hibáját. Minél nagyobb energiájú záporokat tanulmányozunk, annál nagyobb területre kell szétosztani a mintát vevő detektorokat, hogy a primér részecskefluxus csökkenését ellensúlyozzuk. Néhány éve hagyta abba működését a sokáig legnagyobb felszíni zápor-detektor, a Japánban épített AGASA (Akeno Giant Air Shower Array). 111 darab, egyenként  $2,2 \text{ m}^2$  felületű detektor és 27 műondetektor volt szétterítve  $100 \text{ km}^2$ -nyi területen.

Az extrém energiás adatok legnagyobb része az AGASA csoporttól jött, mialatt az első megbízhatóan működő *fluoreszcens detektorok* megépültek. Az alapvető fizikai elv jól ismert és egyszerű: a záporban sebesen száguldó töltött részecskék a levegő nitrogénmolekuláit gerjesztik, majd azok közeli ultraibolya hullámhossztartományba eső fotonok *izotróp* kisugárzásával térnek vissza alapállapotukba. Ez ugyan egy elég kis hozamú folyamat, de extrém energiájú kozmikus sugarak esetén már több milliárd töltött részecske gerjeszti a molekulákat. Így a folyamat elegendő fényt termel, amelyet nagy konvex tükrökkel

5. ábra. A bal oldalon látható légy szeméhez hasonlóan a Fly's Eye leképezi az eget. A vastagon körülrajzolt folt az egy tükör által leképezett égboltot mutatja és benne a kis hatszögek pedig az egy-egy fotoelektron-sokszorozó által „látott” foltot mutatják. A sötét csig egy zápor fényjelét illusztrálja.





6. ábra. A szürke pontok az 1600 „mintavevő”, hexagonális rácsban elrendezett felszíni detektorokat jelzik. A szomszédok távolsága 1,5 km. Négy teleszkópállomás (balra fent) – mindegyik hat fluoreszcens teleszkóppal (jobbra fent) – nézi a háromezer km<sup>2</sup>-nyi területet. Ezek látószögét a sugárirányban menő szaggatott vonalak jelzik.

gyűjtenek és fotoelektron-sokszorozókra fókuszálva mérik az intenzitást. Egy detektor sok-sok tükörből áll és mindegyik az égbolt különböző, egymást érintő foltjára van beállítva. A detektor egy légy szeméhez hasonlóan rakja össze a teljes képet (5. ábra).

Több okból is a jó szerencse kíséri a fizikusokat ezen a nehéz kutatási területen. Először is ebben az ultraibolya hullámhossztartományban a levegő meglehetősen átlátszó, messziről is jól „látható” a zápor. Másrészt a fényjel az egész longitudinális záporfejlődést pontosan mutatja, ennek fontosságát főleg a primér részecske megállapításánál (gamma-foton, proton, mag) hangsúlyoztuk már. Még egy jelentős tény a listán: a légkör úgy működik, mint egy kaloriméter, a teljes kisugárzott fény arányos a primér részecske energiájával. Az energiabecslés sokkal megbízhatóbb, mint a felszíni zápor-detektoroknál. Egyetlen kellemetlen tulajdonsága van: csak felhőtlen, holdfénymentes éjszakákon használható. (Ez körülbelül 10–15%-a felszíni zápor-detektorok lényegében folytonos adatgyűjtésének.)

A Fly’s Eye (Légyszem, 1981–93) volt az első jól funkcionáló fluoreszcens detektor, majd ennek alaposan feljavított változata a sztereoszkopikusan is működő kettős Légyszem, avagy HiRes detektor (High Resolution Fly’s Eye). HiRes 1999-ben kezdte a méréseket és hét évig gyűjtött adatokat.

Jelenleg a legnagyobb detektor a Pierre Auger Observatórium Argentínában, amely egy *hibrid detektor*. Egy óriási felszíni légizápor-detektor területét négy fluoreszcens detektor is figyeli, ahogy ezt a 6. és a 7. ábra mutatja. Az adatgyűjtés már 2004-ben megkezdődött, ám a teljes detektorrendszer 2008-ra épült meg. Az Auger-berendezés nagyságát jól érzékelteti a 8. ábra. Megjegyzésre méltó, hogy egy *hibrid detektor* nagyban javítja a felszíni zápor-detektor energiameghatározását. A *hibrid események* (9. ábra), amikor mindkét detektorrendszer ugyanazt a záport figyeli meg (körülbelül 10–15%-a az összes megfigyelt zápornak) keresztkalibrálást tesznek lehetővé. A fluoreszcens komponens sokkal megbízhatóbb energiabecslésével újralibrálható a felszíni zápor-detektor és ez az összes megfigyelt zápor jobb energiameghatározását garantálja.

Az északi féltekén a Teleszkóprendszer (Telescope Array) egy már működő hibrid detektor (a HiRes fluoreszcens detektorait felhasználva egy felszíni zápor-detektort is építettek), amely azonban kisebb méretű, mint az Auger Observatórium. Az adatgyűjtés 2008-ban kezdődött el. Az Auger North (Auger Észak) is a tervezőasztalon van, de megépítésére egyelőre nincs pénzügyi fedezet.

7. ábra. Fölül az 1600 Cserenkov-detektor egyike és fizikusok helyi barátaikkal. Alul az egyik fluoreszcens detektor tükre és kamerája látható.

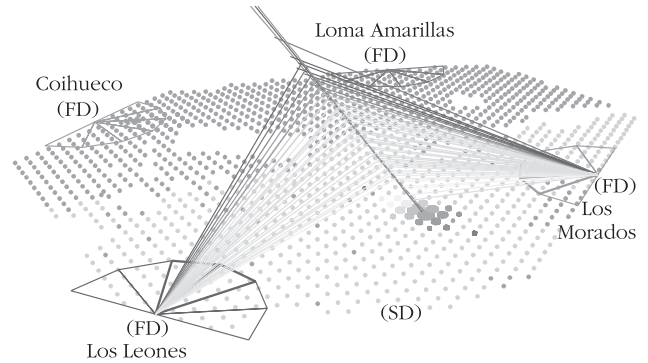






8. ábra. A teljes Auger Observatórium a Balaton környékre vetítve.

Ezen a ponton jobb, ha megállunk és értékeljük az extrém energiatarományban működő fluoreszcens detektorok bevezetése által nyújtott jelentős új lehetőségeket. Először is a longitudinális fejlődés megfigyelhetősége, az átlagoszapor-maximum és fluktuációjának mérése segít megállapítani a bejövő magok átlag-



9. ábra. Hibrid esemény megfigyelése az Auger Observatórium-ban. Két fluoreszcensdetektor-állomás (FD) és a felszín-detektorrendszer (SD) is mér.

gos összetételét. Ez a felszíni légizápor-detektor mérések egyik Achilles-sarka. Az energiámérés nagyobb pontossága és a hibrid módban történő újrakalibrálás nemcsak a hadron-modellezés bizonytalanságai-ból adódó szisztematikus hibát csökkenti, hanem a keresztkalibrálás által a hasznos adatgyűjtési időt egy teljes naptári nappá növeli a felhőtlen, holdfénymentes éjszakák helyett.

A következő számban sorra kerülő folytatás első része a gyorsítókkal már ellenőrzött részecskefizika kiterjesztésével foglalkozik az extrém energiák tartományába. Azután a fluoreszcens detektorok és a két új hibrid detektor legújabb megfigyeléseit tárgyalja kiemelve az Univerzum korai fejlődéséről szóló szigorú korlátokat.

## ÚTON AZ EXTRASZOLÁRIS HOLDOK FELFEDEZÉSE FELÉ

Simon Attila

MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont  
Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet

A Földhöz hasonló bolygó létezésének kérdésével már az ókori görögök (*Démokritosz*, *Epikurosz*) is foglalkoztak. Először *Huygens* (1698) próbált meg kimutatni bolygót más csillagok körül, de hamar rájött, hogy egy ilyen bolygó kimutatása messze meghaladja legjobb távcsöveinek lehetőségeit is. A 19. században *William Stephen Jacob* és a 20. század első felében *Peter van de Kamp* ez irányú próbálkozásai sem jártak sikerrel. Az első megerősített exobolygóra egészen 1992-ig kellett várni (*Aleksander Wolszczan* és *Dale Frail*, a PSR 1257+12 jelű pulzár bolygója [1]), majd 1995-ben *Michael Mayor* és *Didier Queloz* a rádiálissebesség-módszerrel felfedezte az első olyan exobolygót, amely a Napunkhoz hasonló csillag, az 51 Pegasi körül kering [2].

Az eltelt húsz év alatt az exobolygók felfedezése szinte hétköznapi jelenséggé vált, napjainkban több mint 700 távoli kísérő létezését mondhatjuk bizonyítottnak. Emellett a Kepler-űrtávcső sikerességét mutatja, hogy több ezer exobolygójelölt vár még meg-

erősítésre. Az exobolygók számának ugrásszerű növekedése a kutatókat arra ösztönözte, hogy részletesebben is megvizsgálják a következő kérdést: melyek azok a feltételek, amelyek az élet kialakulásában szerepet játszanak egy exobolygón. Az egyik ilyen fontos szerepet éppen az exobolygók körül keringő holdak (és Holdunk) töltenek be, ugyanis stabilizálják a bolygó (Földünk) forgástengelyét, ami az élet kialakulásának és fennmaradásának egyik elengedhetetlen feltétele.

Ahogy néhány évtizeddel ezelőtt még merész gondolatnak számított, hogy távoli csillagok körül exobolygók után kutassunk, úgy ezen bolygók körüli holdak keresését is egy kicsit a sci-fi világába tartozónak érezhetjük. Azonban bolygók keresésének merész gondolatából valóság lett, a távoli bolygóholdak keresése sem fikció többé, már több mint egy évtizede elkezdődött az olyan módszerek kidolgozása, amelyekkel egyre közelebb kerülhetünk egy távoli bolygó holdjának felfedezéséhez.

## Exobolygó-exohold fénygörbe

A exoholdak felfedezésére irányuló kutatásokban elsősorban olyan rendszereket vetettek vizsgálat alá, amelyben az exobolygó-exohold páros elhalad a csillag korongja előtt (ezek a fedési vagy tranzit rendszerek). A nagyobb bolygók 1-2 százalékkal, míg a kisebbek (Föld-méretűek) 0,01%-kal csökkentik a Napunkhoz hasonló csillagok fényét. Ez az érték holdak esetében két nagyságrenddel kisebb, amely a legtöbb esetben (Földnél kisebb holdméretek esetén) meghaladja a legjobb űrtávcsövek teljesítőképességét is. A hold által okozott fényességcsökkenés közvetlen megfigyelésére így kevés lehetőségünk van, csak a bolygó fénygörbéjére gyakorolt közvetett hatást tudjuk vizsgálni. Ehhez azonban elengedhetetlen a bolygó-hold modellezett fénygörbéjének pontos ismerete: a hold egyedi fénygörbéje hasonló a bolygóéhoz, a különbség a kettő között mindössze annyi, hogy a hold kisebb méretű lévén kevesebb fényt takar ki a csillagból, így az általa okozott fényességcsökkenés is kisebb, a fénygörbéje sekélyebb (1. ábra felső panel,  $\Delta m_B$ ,  $\Delta m_H$  fényességcsökkenés). Azonban a bolygó és a hold is más-más időpontban takarja ki a csillag egy részét, így fénygörbe-minimumainak időpontjai különbözni fognak (1. ábra felső panel,  $\tau_B$ ,  $\tau_H$  időpontok). Vezető hold esetén ez azt eredményezi, hogy a csillag elé először a hold lép be, majd követi a bolygó is. A csillag előtt együtt haladva először a hold éri el a csillag peremét, megkezdja a kilépést, majd követi a bolygó is. A fénygörbében ez úgy mutatkozik meg (1. ábra), hogy egy sekélyebb vállal indul a fénygörbe (belép a hold), majd bolygó belépése után az együttes fénygörbe első fele kicsit mélyebben halad, ezután a hold fedésének befejeztével megemelkedik, végül a bolygó kilépésével végződik [3].

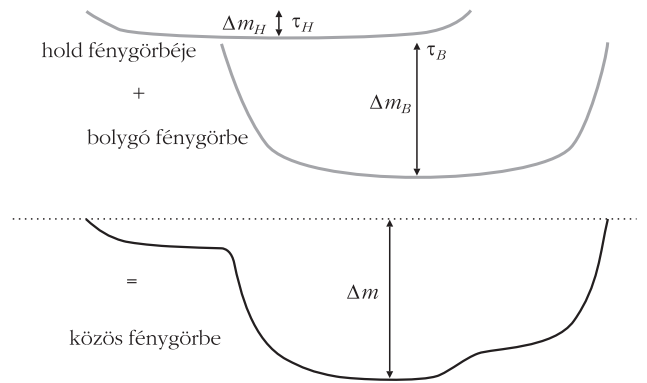
## Az exoholdak kimutatására javasolt módszerek

Az ezredforduló környékén Paola Sartoretti és Jean Schneider tanulmányozta először az exoholdak kimutatásának lehetőségét [4]. Modelljükben (S2 modell) a bolygó-hold rendszer tömegközéppontja egyenletes sebességgel kerüli meg a csillagot, és a hold ezen tömegközéppont körül keringve „megrángatja a bolygót”. Ennek következményeként a bolygó és a hold adott térbeli konfigurációjától függően az egymást követő bolygófedések időpontjai egyszer előbb, máskor később következnek be ( $TTV_b$  értékkel csúsznak el, lásd a 2. ábrán). A jelenséget baricentrikus tranzit-időpont-eltolódásnak nevezzük ( $TTV_b$ ).

Munkájuk során olyan formulát vezettek le, amelylyel a  $TTV_b$  ismeretében becsülhető a rendszerben keringő hold tömege. Mivel az effektus nagysága arányos a hold tömegének és pályasugarának szorzatával,

$$TTV_b \propto a_H m_H \quad (1)$$

(ahol  $m_H$  a hold tömege,  $a_H$  a holdpálya fél nagytengelye), így a holdtömeg becsüléséhez a hold pálya-

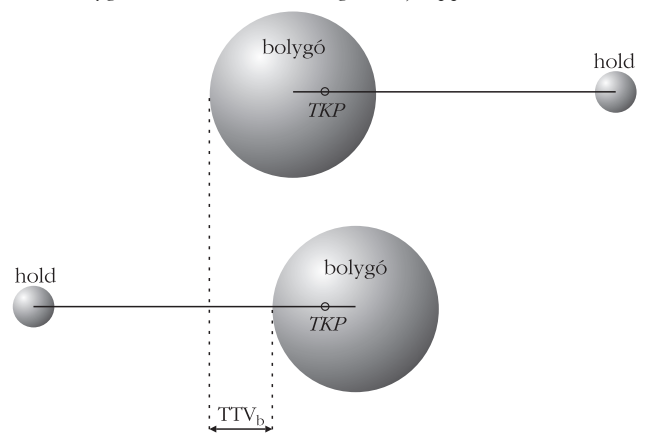


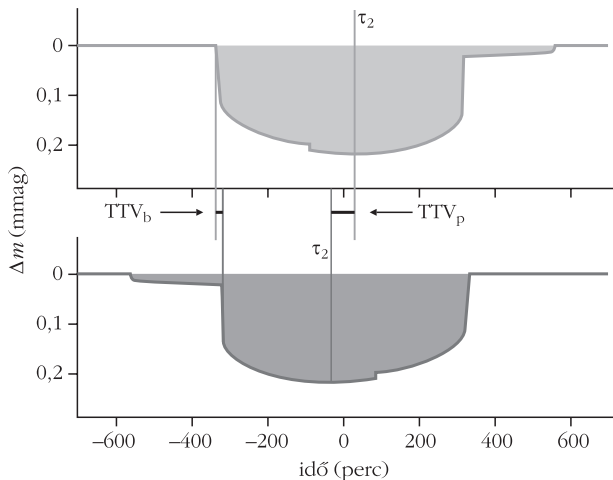
1. ábra. A bolygó és a hold fedési fénygörbéje külön-külön és a közös fénygörbe (a vízszintes tengelyen jobbra múlik az idő, a függőleges tengelyen a fényesség van feltüntetve magnitúdóban).

sugarára előzetes feltevést kell tennünk. Jason Barnes és David O'Brien 2002-ben az exoholdak keringésére a következő feltételeket szabta meg: a holdak pályája hosszú időskálán csak akkor maradhat stabil, ha fél nagytengelyük maximális értéke nem haladja meg a Hill-sugár harmadát [5]. Az így becsült pályasugarat használva a módszert később többen is alkalmazták egy-egy hipotetikus exohold maximális tömegének megbecslésére, illetve végeztek vizsgálatokat a tranzitidőpontok eltolódásának magyarázatára.

Az S2 modell használhatóságát korlátozza, hogy a hold által okozott fotometriai effektust nem veszi figyelembe, a hold magában a fedésben nem vesz részt, így nem ad járulékot a fényességcsökkenéshez. Habár a hold a legtöbb esetben nem okoz akkora torzulást a fénygörbén (1. ábra), hogy az közvetlenül kimutatható lenne, de nagy hatással van bolygó-hold fénygörbe „súlypontjának” helyzetére (3. ábra  $\tau_1$  és  $\tau_2$ ). Az utóbbi vizsgálatával Szabó M. Gyula és munkatársai egy teljesen új oldalról közelítették meg az exoholdak által okozott fotometriai effektust, a fedés időpontját a fénygörbe súlyvonalával definiálták [6]. Ebben a fotocentrikus modellben a fedés idő-

2. ábra. A bolygó fedésének időpontjai keringésről keringésre változnak a tömegközéppont (TKP) körüli keringés miatt. Az ábrán a bolygófedések időpontjának eltolódásai láthatóak a maximális érték esetén, amely akkor következik be, ha két egymás utáni tranzit során a bolygó és a hold térbeli konfigurációja éppen ellentétes.



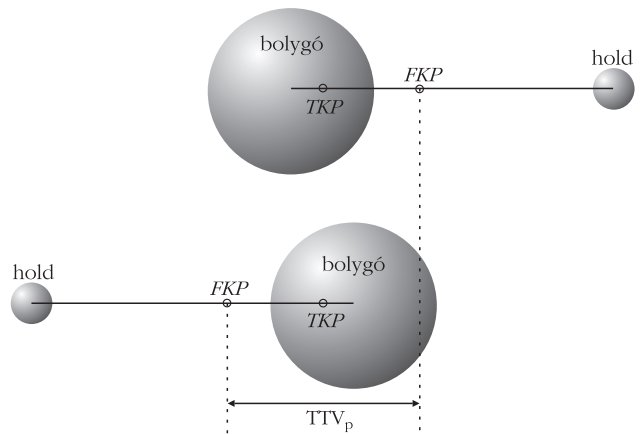
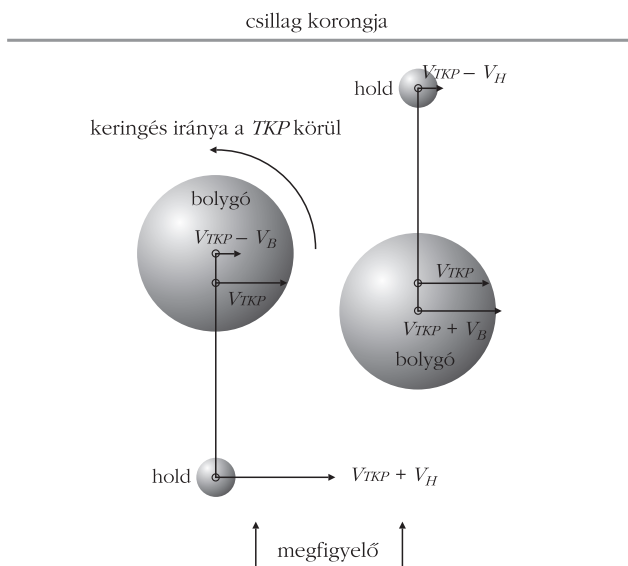


3. ábra.  $TTV_p$ : A fotocentrikus modellben a súlyvonal helyzetének ( $\tau_1$  és  $\tau_2$ ) és ezzel a fedés időpontjának változása két ellentétes bolygó-hold konfiguráció esetén.  $TTV_b$ : a bolygótranszit időpontjának változása Sartoretti és Schneider baricentrikus modelljében. Látható, hogy a  $TTV_p$ -effektus nagysága többszöröse a  $TTV_b$ -effektusnak, előjele pedig ellentétes. A Nap–Föld–Hold-rendszerben a  $TTV_b$  és a  $TTV_p$  értékei rendre  $\pm 2,6$  és  $\pm 15,2$  perc.

pontja abba az irányba tolódik el, amerre a hold járulékos fényességcsökkenése található a bolygóhoz képest. Ez a fotometriai tranzitidőpont-eltolódás ( $TTV_p$ ). A hold ezen fotometriai hatása a legfontosabb, ugyanis a bolygó körüli keringés miatt a hold fedései nagyon eltérő időpontokban következnek be, így alkalmasak a fénygörbe súlyvonalában jelentős elmozdulást okozni amellet, hogy maga a hold jele közvetlenül nem figyelhető meg a fénygömbében (3. ábra).

A fotocentrikus modell részletes analízise azt mutatja, hogy a fénygörbe súlyvonalának megfeleltethető a bolygó-hold egyenesén egy fix pont (4. ábra, FKP), a

5. ábra. A bolygó és hold látszólagos sebességének nagysága a csillag korongja előtt. Látható, hogy két ellentétes térbeli konfiguráció esetén a jobb oldali konfigurációban a bolygó gyorsabban halad el a csillag korongja előtt, így a fedés időtartama rövidebb lesz, mint a bal oldali esetben.



4. ábra. Az FKP fotometriai középpont kering a TKP tömegközéppont körül, aminek hatására a fénygörbe súlyvonalával definiált tranzitidőpontok fedésről fedésre változnak. Az ábra a  $TTV_p$  lehetséges maximális értékét mutatja, amely ellentétes konfigurációk esetén jöhet létre.

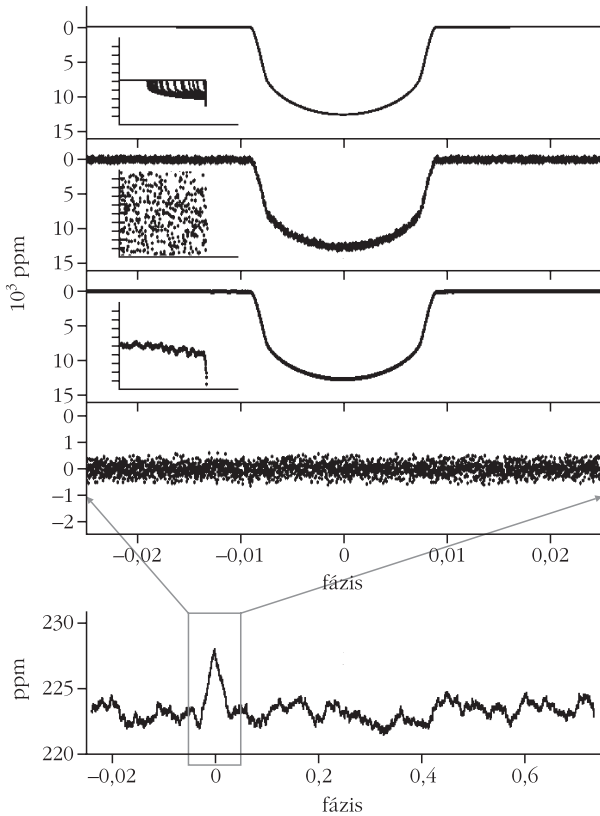
fotometriai középpont. A fedési bolygó-hold rendszerünk a mérendő mennyiség szempontjából helyettesíthető egy olyan képzeletbeli égitesttel, amely ebben a fotometriai középpontban helyezkedik el. A fotometriai középpont képzeletbeli testként kering a rendszer közös tömegközéppontja körül, aminek eredményeképpen a fénygörbe súlyvonala, azaz a tranzitidőpont keringésről keringésre változik.

Alapelgondolásban a Sartoretti–Schneider-modell csak azt a dinamikai effektust veszi figyelembe, ahogy a bolygó a tömegközéppont körül kering, míg utóbbi megközelítés a keringő fotometriai középpontra fekteti a hangsúlyt, amely kombinálja a hold dinamikai és fotometriai hatásait a fedés folyamata során.

A rendszer maximális fotometriai időpont-eltolódásának és a bolygó-hold paraméterek felhasználásával a hold sugara és tömege becsülhető. Lényeges, hogy a fotometriai tranzitidőpont-eltolódásnak létezik maximuma, amelynél nagyobb becslt értékek nem származhatnak egy fizikailag értelmes bolygó-hold rendszertől [3]. A tranzit időpontjának periodikus elcsúszása így nemcsak egy hold jelenlétére utalhat, hanem egy perturbáló bolygó vagy a periasztron vándorlása is okozhatja. A  $TTV_b$  vagy  $TTV_p$  nullától különböző értéke így előre jelezheti egy exohold jelenlétét, de önmagában nem elegendő a megbizonyosodáshoz.

A hold egy újabb effektusát, a tranzit időtartamának változását mutatta be David M. Kipping 2009-ben [7]. Ez a jelenség a bolygófedés időtartamához köthető, azt szintén a testek tömegközéppont körüli keringése okozza. A tömegközéppont egyenletes sebességéhez képest a bolygó sebessége a rendszer térbeli konfigurációjától függően hol nagyobb, hol kisebb. Ebből az következik, hogy egyszer gyorsabban, máskor lassabban halad el a csillag korongja előtt, ami mérhető változást okoz a bolygótranszit időtartamában (TDV-effektus, 5. ábra).

Eredménye szerint a TDV-effektus nagysága arányos a hold tömegével és fordítottan arányos a hold pályasugarának gyökével:



6. ábra. A szórásicsúcs-módszer kiértékelésének lépései. Fentről lefelé: a modell fénygörbe, a zajjal terhelt fénygörbe, a mozgó medián átlag, a reziduál görbe és a szórásgörbe látható a keringés fázisa szerint ábrázolva. A kis beillesztések a hold különböző időbeli lefolyású hatásait mutatják a bolygó belépő fázisa előtt.

$$TDV \propto \frac{m_H}{\sqrt{a_H}}, \quad (2)$$

ahol  $m_H$  a hold tömege és  $a_H$  a holdpálya fél nagytengelye.

Felhasználva, hogy a  $TTV_b$ -effektus nagysága egyenesen arányos a hold tömegével és fél nagytengelyével – lásd az (1) egyenletet – és képezve az (1) és a (2) egyenletek hányadosát, látható, hogy a hold tömege eliminálható, a hold pályasugarát pedig a két effektus mérésével közvetlenül becsülni tudjuk. A pályasugár ismeretében viszont a hold tömege meghatározható. Feltéve, hogy a hold pályájának excentricitása közel nulla értéket vesz fel, Kepler III. törvényét felhasználva a hold keringési periódusát is ki tudjuk számolni.

Szemléltetésül képzeljünk el egy Föld-tömegű, 2,5 nap keringési periódusú exoholdat a GJ436b bolygó körül. A jóslott  $TTV_b$ -effektus nagysága 138 másodperc lenne, míg a TDV-effektusé 57 másodperc. *Roi Alonso* és munkatársai 2008-ban a másfél méteres *Carlos Sánchez* teleszkóppal  $\approx 13$  másodperc pontossággal tudták meghatározni a fedés középidejét, míg a tranzit időtartamára  $\approx 50$  másodperces pontosságú értéket kaptak [8]. Ez azt jelzi, hogy a hold által okozott  $TTV_b$ -effektust már földi eszközökkel, míg a TDV-effektust a közeljövő eszközeivel detektálni lehet.

A fentebb tárgyalt módszerek azon alapulnak, hogy figyelik az egymást követő tranzit időpontjaiban bekövetkező változásokat. A problémát új szemszögből vizsgáltuk meg, és az úgynevezett szórás csúcs (scatter peak) fogalmát bevezetve az eddigiektől eltérő módszert dolgoztunk ki az exoholdak jelének kimutatására [9]. A módszer lényege, hogy elegendően sok tranzit fénygörbéjét nagyon pontosan fedésbe hozzuk egymással, korrigálva az olyan hatásokra, amelyek a fedés középidejében változásokat okozhatnak (TDV, TTV). Az így kapott fénygörbéből egy mozgó mediánablakkal levonva a bolygó jelét a visszamaradt reziduál – amely nem más, mint magának a fénygörbének a szórása, benne a hold jelével – lokális szórásának ingadozását elemezzük (6. ábra).

Az egyedi fénygörbéken a hold effektusai a bolygó tranzitja előtt vagy után jelennek meg, a tranzit geometriájától függően hosszabb-rövidebb ideig. A fázisgörbében így a hold különböző időbeli lefolyású hatásai egymásra rakódnak, és megnövelik a fénygörbe szórását a fedésen kívüli értékhez képest, amely a szórásgörbén a bolygó fedésének ideje alatt egy csúcsként jelenik meg, utalva a hold jelenlétére (6. ábra, legalsó sor).

A módszert négy különböző minőségű szimulált adatsoron – Kepler-úrtávcső hosszú és rövid mintavételezésű, a legjobb földi, és egy tervezett úrtávcső, a PLATO mintavételezésének megfelelő adatsorokon – teszteltük, és arra kerestük a választ, hogy az adott műszerrel mekkora méretű az a hold, amely még kimutatható. Eredményeink szerint egy Ganymedes-méretű holdat a PLATO<sup>1</sup> vagy az ahhoz hasonló úrtávcső képes lesz kimutatni, de elméletileg a Kepler rövid (körülbelül percnkénti) mintavételezésű adatsorában is lehetőségünk van már Föld-méretű hold detektálására. Az esetek egyharmadában erre a földi minőségű adatsorok is alkalmasak, míg a hosszú integrációs idejű adatokban az *elkenődés* jelensége miatt a hold kicsiny hatása elvész.

A módszer eredményes használatához legalább 100 fedési fénygörbe analízisére van szükség. A sikerhez elengedhetetlen az is, hogy a bolygó tranzitja előtt és után elegendően sok mérési pontunk legyen, azaz az észlelések kivitelezésénél a tranzit idején kívül is mérni kell a csillagot legalább annyi ideig, ameddig a tranzit tart. Fontos, hogy a műszeres trendek eltávolítását úgy kell elvégezni, hogy azok ne legyenek hatással a bolygó be- és kilépésének közvetlen környezetére, valamint a fénygörbe fázisba rendezésénél ügyelni kell a nem holdtól származó effektusok pontos eltávolítására.

A fentebb tárgyalt módszerek mindegyike a legsikeresebb bolygófeldező módszer, a tranzit fotometriáján alapul, de az irodalomban olvashatunk egyéb, nem a csillag fényességváltozását monitorozó módszerekről is. Ezekről teszünk említést néhány gondolat erejéig a következőkben.

<sup>1</sup> Meg kell azonban említeni, hogy a PLATO-úrtávcső terveit és megvalósítását az ESA 2011 októberében felfüggesztette.

Karen Lewis és munkatársai 2008-ban pulzárok jelének periodikus késését vizsgálták, és arra keresték a választ, hogy egy rendszerben keringő exohold milyen mértékben módosítja a vizsgált pulzárjelek periódusát. Eredményeik szerint a hold jelének detektálására akkor van a legnagyobb esély, ha mind a bolygó, mind a hold nagy tömegű és nagy távolságra keringenek egymás körül [10].

A radiális sebesség-mérés a Rossiter–McLaughlin-effektus révén jelentős szerepet játszik a fedési exobolygók kutatásában, az egyre pontosabb adatok eléggé biztatóak egy exohold felfedezésére. Simon Attila és munkatársai megmutatták, hogy lehetőség van egy exohold torzító jelét megfigyelni a Rossiter–McLaughlin-görbén [11]. A módszer a hold sugarára a legérzékenyebb, és csak olyan csillagok körül érdemes exoholdak után kutatni, amelyek alacsony aktivitást mutatnak.

2010-ben Christine Liebig és Joachim Wambsgans kísérletezett olyan szimulációkkal, amelyekben Föld-méretű holdak mikrolencsézését vizsgálták. A korábbi eredményekkel ellentétben azt találták, hogy olyan esetben figyelhetünk meg a holdtól származó, nem elhanyagolható nagyságú jelet, amikor a bolygó-hold távolság hasonló vagy nagyobb, mint a bolygóhoz tartozó Einstein-gyűrű sugara. Elsősorban törpecsillagok közül kerülhetnek ki a potenciális jelöltek, mivel az óriáscsillagok esetében a holdtól származó minden jel kisimul. Emellett az is feltétel, hogy a források Ein-

stein-gyűrűjének szögátmérője kisebb legyen, mint 0,001 radián. Ezek a 8 kpc távolságban lévő, Nap-méretű vagy annál kisebb csillagok [13].

Az irodalomban eddig csak az exoholdak kimutatására vonatkozó módszerek születtek meg. Arra még nincs példa, hogy egy exohold Naprendszeren kívüli létét sikeresen bizonyították volna, de a technika fejlődését, az egyre pontosabb adatokat és a jövőbeli űrtávcsöves küldetések terveit látva a Naprendszeren kívüli első hold detektálása remélhetőleg a 2010-es évek második felében vagy a 2020-as évek elején megtörténik.

#### Irodalom

1. Wolszczan, A., Frail, D., *Nature* 355 (1992) 145.
2. Mayor, M., Queloz D., *Nature* 378 (1995) 355.
3. Simon, A. E., Szatmáry, K., Szabó, Gy. M., *A&A* 470 (2007) 727.
4. Sartoretti, P., Schneider, J., *A&AS* 134 (1999) 553.
5. Barnes, J. W., O'Brien, D. P., *ApJ* 575 (2002) 1087.
6. Szabó, Gy. M., Szatmáry, K., Dívéki, Zs., Simon, A., *A&A* 450 (2006) 395.
7. Kipping, D. M., *MNRAS* 392 (2009) 181.
8. Alonso, R., Barbieri, M., Rabus, M., Deeg, H. J., Belmonte, J. A., Almenara, J. M., *A&A* 363 (2008) 81.
9. Simon, A. E., Szabó, Gy. M., Kiss, L. L., Szatmáry, K., *MNRAS* 419 (2012) 164.
10. Lewis, K. M., Sackett, P. D., Mardling, R. A., *ApJ* 685 (2008) L153.
11. Szabó, Gy. M., Simon, A., Szalai, T., *Fizikai Szemle* 61/7–8 (2011) 217.
12. Simon, A. E., Szabó, Gy. M., Szatmáry, K., Kiss, L. L., *MNRAS* 406 (2010) 2038.
13. Liebig, C., Wambsgans, J., *A&A* 520 (2010) A68.

## VÉLEMÉNYEK

# AZ ENTRÓPIAPROBLÉMA – I. RÉSZ

Oláh Károly  
BME, Fizikai Kémia Tanszék

Egy fogalomnak sincs olyan kalandos története, mint az entrópiának.

1999 decemberében jelent meg Harvey S. Leff figyelemreméltó cikke az *American Journal of Physics*-ben *What if entropy were dimensionless?* címmel [1]. Ebben az entrópia rejtélyes („puzzling”) energia/hőmérséklet jellegét elemzi és von le hat következtetést. Ezek között van a javaslat a dimenziómentes entrópiavariáns használatára. Egy másik javaslat a hőmér-

séklet-fogalmat illeti: javasolja a hőmérséklet ( $T$ ) helyett az  $RT$  energiajellegű mennyiség használatát. Nevet is ad: *tempergia* („tempergy”).

## Clausius, a hőhatás entrópiája

Másfél évszázada már, hogy az entrópia fogalma megszületett (Clausius, 1865) [2]. Ez időben a természettudomány egyik fő témája az energiakérdés volt. Mi történik a gőzgépben? Hogyan lehet kazánban termelt „hőt” hasznos munkára fogni?

Megszületett a hét alappennyiség rendszere.

*A három extenzitás* ( $E_i$ ): az energia ( $U$ ), a térfogat ( $V$ ), az anyagmennyiség ( $N$ ).

*A három potenciál* ( $F_i$ ): a hőmérséklet ( $RT$ ), a nyomás ( $P$ ), a kémiai potenciál ( $\mu$ ).

*És a hetedik*: az entrópia.

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.

Ismert volt már öt mennyiség ( $U$ ,  $T$ ,  $P$ ,  $V$ ,  $N$ ), de kellett még két új fogalom: az anyagmennyiség mellett egy potenciál, ez lett a kémiai potenciál ( $\mu$ ) és kellett a hőmérséklet mellé egy extenzív mennyiség, ez lett az entrópia ( $S_{cl}$ )<sup>1</sup>. Végülis megszületett az energiamérleg (*Gibbs*) [3]:

$$dU = TdS_{cl} - PdV + \mu dN. \quad (1)$$

Olvasata: az anyag (belső) energiájának  $dU$  változása történhet  $dS_{cl}$  („hő”),  $dV$  (térfogati munkavégzés), vagy  $dN$  anyagmennyiség-változás hatására. Érdekes megfigyelés: az entrópia, ha nincs egyensúly és valamennyi konzervatív mennyiség (energia, térfogat, anyagmennyiségek) rögzítettek – tehát a rendszer teljesen zárt –, anélkül, hogy külső hatás táplálná, növekszik.

Az entrópia a természetes folyamat során, az egyensúly felé tartva növekszik. Ez a viselkedés Clausius óta foglalkoztatja a laikusokat és a szakembereket. Sok szó esett a „hőhalál”-hipotézisről: ha az entrópia a „hő” valamilyen mértéke és nő a hőmérséklettel, és ha az Univerzum entrópiája folyton nő, a világ hőmérséklete is növekszik a végső egyensúly, egy halálos hőmérséklet felé. Az egyirányú változást ma is sokan az entrópia kizárólagos tulajdonságának tartják. A kérdés: „mi az entrópia?” azóta foglalkoztat fizikusokat, matematikusokat, vegyészeket, csillagászokat és másokat.

Az IUPAC-terminológia<sup>2</sup> szerint [4]:<sup>3</sup> „Ha reverzibilis folyamat során a rendszerbe hő adódik át állandó hőmérsékleten, az okozott változás, osztva a hőmérséklettel: az entrópiaváltozás.”

*P. W. Atkins Physical Chemistry* [5] című könyvében (1990. Clausius után 125 évvel), a 87. oldalon a jól ismert „definíció” látható:

$$dS = \frac{\delta q_{rev}}{T}. \quad (2)$$

Egy fizikai kémia tankönyv (2004): „A  $TdS$  mennyiség a belső energia csak hőhatással előidézt változása.” *Clifford Truesdell* ehhez hozzáfűzi (*Rational Thermodynamics*, 1971) [6]: „...az olvasó ... eljut a termodinamika fejezethez, ahol ... azt várják el tőle, hogy elhiggye, hogy egyik differenciál lehet nagyobb, mint egy másik, sőt még azt is, hogy egy differenciál lehet nagyobb, mint valami, ami nem differenciál”. *Clifford Truesdell* egy másik írásában (*Tragicomedy of the Classical Thermodynamics*, 1971) [7] – amikor a 19. század termodinamikájának a kritikai elemzésében eljut az

<sup>1</sup> A  $Cl$  indexszel azt jeleztük, hogy ez az úgynevezett „clausiusi entrópia”.

<sup>2</sup> International Union of Pure and Applied Chemistry – Tiszta és Alkalmazott Kémia Nemzetközi Uniója. Legfőbb feladata az egységes nemzetközi nomenklatúra kialakítása. A kémiában, a fizikai kémiában és a termodinamikában az IUPAC által meghatározott jelöléseket használjuk. (Wikipédia)

<sup>3</sup> „Entropy is the change in which is equal to the heat brought to the system in a reversible process at constant temperature divided by that temperature.”

1865 évhez és Clausius-hoz – ezzel fejezi be a történetet:<sup>4</sup> „E naptól kezdve vibrál folyamatosan, csillapítatlanul és disszipáció nélkül a kérdés: »mi az entrópia?»”

*Harvey S. Leff* (1996) szerint [8]:<sup>5</sup> „Miért keressük az entrópia új megközelítését? Az idézett  $dS = \delta Q/T$  egyenletnek nincs nyilvánvaló jelentése.” Leírja, hogy tanítványai értetlenül hallják, ha  $\delta Q = 0$ , de a rendszer nincs egyensúlyban, az entrópia mégis nő. Súlyosbítja a megértést, hogy ezek után azt hallják, hogy<sup>6</sup> „azt tételizzük fel, hogy az entrópia a rendezetlenség mértéke ... ez az értelmezés teljesen misztikus az (1) egyenlet értelmében”.

*Több mint száz év óta kavarnak a kérdések:* Van-e entrópiája egy testnek, ha az nincs egyensúlyban? Mindig mindennek van entrópiája, vagy van, aminek nincs? Reális fizikai mennyiség az entrópia? Van entrópiaváltozás, ha nincs hőfelvétel? Beszélhetünk entrópiaváltozásról, ha a hőfelvétel nem reverzibilis? Miért nő és meddig nő az entrópia és mi fedezi a növekedést? Hogyan értendő a rendezetlenség? Valóban a legrendezetlenebb állapotban a legnagyobb az entrópia? Mértéke az entrópia az irreverzibilitásnak? Van entrópiája egy olyan testnek, aminek nincs hőmérséklete? Van entrópiája egy negatív hőmérsékletű testnek és negatív vagy pozitív? Véges vagy végtelen az entrópia, ha a hőmérséklet végtelen? Van entrópiáram? Világmindenség, hőhalál, fekete lyuk: ezek mögött a jelenségek mögött is az entrópia van? Folytathatnánk.

Az entrópiával egy újfajta mennyiség, a „redukált” energia, az energia/hőmérséklet (J/K) jelent meg. Ez a fajta mennyiség újabb és újabb elvi problémát szült. Egyik probléma: a clausiusi entrópia dimenziójában ott van a kelvini (celsiusi) hőmérséklet. Számértéke tehát függ a hőmérséklet-skála (Celsius vagy Fahrenheit) megválasztásától!

Ez a kérdés sokakat foglalkoztatott. Idézzük *Fényes Imre* egy előadásából (1955) [9]: „A megértés nehézségeinek okai: ... Az entrópiafogalom formális értelmezése nem egyszerű osztás, hanem az úgynevezett integráló osztó fogalmával kapcsolatos. ... Midőn a sűrűséget két mennyiség hányadosaként értelmezzük, a hallgató mindjárt konkretizálja, mert megfelelő konkrét képekkel már rendelkezik és a konkrétum kapcsán alkot magának az absztraktról fogalmat. Sajnos, az integráló osztóval kapcsolatban ez nem mondható el, a konkrétum nem jelenik meg magától, csak jól átgondolt és keresztülvitt didaktikai ténykedés után. A termodinamikai entrópia tehát különleges forma és különleges tartalom együttese.”

Tehát, a  $\delta Q/T$  nem egyszerűen hányados. A hőmérséklettel történő formális osztás nem egyszerű osztás, hanem speciális művelet. Ez a művelet itt, erre a jelenségre történik, erre a jelenségre érvényes. Az a tény, hogy e mennyiség fizikai dimenziója J/K, nem

<sup>4</sup> „From this day to this the question 'What is entropy?' has vibrated ceaselessly without damping or dissipation.”

<sup>5</sup> „Why seek a new approach to entropy? Eq. (1) has no evident meaning.”

<sup>6</sup> „entropy is supposed to represent a measure of disorder ... an interpretation that is entirely mysterious within the context of Eq (1)”

jelenti azt, hogy bármilyen energiát osztva a hőmérséklettel, entrópiát kapunk.

Példa:  $x$  irányú  $p_x$  impulzust szorozhatunk  $x$  irányú vagy  $y$  irányú sebességgel is. Fizikai dimenziójuk:  $\text{kg m}^2/\text{s}^2$ . De míg  $p_x v_x$  energia,  $p_x v_y$  már nem energia.

Mindez óvatosságra int. A matematika szabályai megengednek akármilyen szorzást vagy osztást. De az ezek mögött álló fizikai jelenség nem lehet akármilyen. Megtörténhet, hogy matematikailag szabályos művelet értelmezhetetlen eredményre vezet. Elgondolkodtató például ezek után az energiaméreg „hőhatás”-tagja:

$$TS_{Cl}$$

Fölvetődhetnek kérdések: ez a szorzás olyan, mint a többi szorzás? Vagy egy speciális művelet, az integráló osztás ellentéte? És egyáltalán, értelmes-e a hőmérsékletet bármi mással szorozni, mint az  $R$  gázállandóval? Mi indokolja a szorzást az entrópiával?

Ezzel a „redukált energia” jellegű entrópiával, mint láthatjuk, napjainkig lebeg a bizonytalanság.

## Boltzmann: a struktúra kinetikája

A clausiusi, a Gibbs-egyenleten alapuló entrópiafogalom fenomenológiai fogalom, a nem-redukcionista szemlélet fogalma. E szemléletnek azonban megvannak a korlátai. A fenomenológia ugyanis a felszín. Hogy mi történik a felszín alatt, a belső dinamika megismerése nélkül nem érthető meg teljesen. Ami történik, végülis valahol a Törvényekben van megírva. A Törvények vezérlik, működtetik a Kinetikát. A Kinetika alakítja a Struktúrát, az egyensúlyi struktúra pedig olyan lesz, amilyené a Kinetika formálta. És a felszín olyan és úgy viselkedik, ahogyan a Struktúra formálta. Ha nem fordítunk figyelmet a részletekre – ha a víz tulajdonságait úgy tárgyaljuk, hogy közben nem gondolkunk arra, hogy a víz  $\text{H}_2\text{O}$  molekulák halmaza és semmi más –, akkor sok makroszkopikus, fontos ismeretet is kizárunk. Ezt tapasztalhattuk az irreverzibilis termodinamika esetében is, amelyik sokáig elzárkózott a molekulár-kinetikai struktúra figyelembevételétől.

Fontos fejlemény nem sokkal Clausius után: elkezdődött a makroszkopikus rendszerek – ez időben elsősorban a gázok – molekuláris-dinamikai (redukcionista) feldolgozása. Nem kisebb nevekhez fűződik, mint *James Clerk Maxwell*, *Ludwig Boltzmann* és *Paul Dirac*. Ez a viselkedés azonban nem ismeretlen és nem is misztikus. Abból a tényből származik, hogy ellentétben a megmaradó alapmennyiségekkel (energia, impulzus, anyagmennyiség) a globális entrópia szorzat vagy szorzatok összege, egy additív mennyiség ( $x_i$ ) és egy minőség ( $\ln x_i$ ) szorzata. És  $\ln x_i$  monoton függvénye  $x_i$ -nek.

A növekedési tendencia mechanizmusa hasonlít a kereskedeleméhez. A kereskedő árut vásárol (alacsonyabb áron) és azt magasabb áron adja el. Az áru mennyisége nem változik, csak gazdát cserél. Az áru értéke azonban, az árumennyiség és egységárának szorzata már nem megmaradó mennyiség. A kereske-

dő vagyona a vételi és az eladási ár különbsége arányában növekszik. (Ahogyan nő az entrópia, ha energia egy térfogatelembe magasabb hőmérsékletből lép be és alacsonyabb hőmérsékletre lép ki.)

A növekedés *a folyamat természetes iránya*. A törvény nem tiltja az ellenkezőjét: vásárolni drágán és eladni olcsón, ekkor azonban a kereskedő tönkremegy, tevékenysége előbb-utóbb megszűnik.

## Az entrópia növekedése, az entrópiamaximum

Ez a jelenség már dinamika, változás az időben. A második főtétel nem az egyensúlyokról, hanem az irreverzibilis állapotokról szól. Ezzel a fenomenológiai szemlélet – azon túl, hogy leírja a megfigyelhető történeteket – nem sokat tud kezdeni. Ebben az időben már tudott volt, hogy a gáz mozgó molekulák sokasága. Maxwell ismerte fel, hogy azok sebessége, kinetikus energiája nem mind ugyanakkora, és nem is teljesen rendezetlen, hanem szabályos, exponenciális eloszlású. Majd Boltzmann [10] fogalmazta meg az energiasztruktúra evolúciójának kinetikáját. Modellje szerint, ha két molekula ütközik, energiacsere történhet: vagy a nagyobb energiájú ad át energiát a kisebb energiájúnak – ezáltal csökken a különbség –, vagy fordítva, a kisebb energiájú ad át energiát a nagyobb energiájúnak, növelve a különbséget. Az ütközések gyakorisága arányos a két részecskefajta koncentrációjának (számsűrűségének,  $x_i$  részarányainak) szorzatával:<sup>7</sup>

$$\frac{dx_i}{dt} = \frac{dx_j}{dt} = -\vec{k} x_i x_j. \quad (3)$$

És minden, időben lejátszódó (és egyenletében az idő első hatványát tartalmazó) eseménynek van időtükrözött változata is (ha filmre vennénk és fordított irányban vetítenénk le):

$$\frac{dx_k}{dt} = \frac{dx_l}{dt} = -\overleftarrow{k} x_k x_l. \quad (4)$$

Ami pedig lehetséges, előbb vagy utóbb meg is történik. Egy gázban ezen eseményeknek és fordítottjainak is nagy a gyakorisága, sőt összemérhető lehet. Egyensúly akkor áll be, amikor valamennyi ellentétes energia-átadás ugyanakkora gyakorisággal történik meg: ez Dirac *Részletes Egyensúly*<sup>8</sup> elve [11]. Joggal állítható, hogy ez minden termodinamikai egyensúly alapjelensége. Ahol ez nem történik meg, az egyensúly csak látszólagos lehet. Egyensúlyban

$$x_i x_j = x_k x_l. \quad (5)$$

Már csak azt kellett megfogalmazni, hogy amikor (még) nincs egyensúly, a természetes folyamat az egyensúly irányában változtatja az eloszlást, és pedig mindkét irányból: ha túl lapos az eloszlás, azt szétfe-

<sup>7</sup> Ezt nevezzük tömeghatásnak.

<sup>8</sup> Detailed Balance

szíti, ha túl széles, akkor összehúzza. Kiderült, hogy definiálható egy negatív  $H$ -függvény ( $H_B$ ):

$$H_B = \sum_i x_i \ln x_i. \quad (6)$$

Az  $x$  eloszlási arányok időbeli változásait ezzel a  $H$ -függvénnyel összekapcsolva adódott, ha nincs egyensúly:

$$\frac{dH_B}{dt} = -k(x_i x_j - x_k x_l) (\ln x_i x_j - \ln x_k x_l) \leq 0. \quad (7)$$

Ugyanis, mivel  $\ln x$  monoton függvénye  $x$ -nek, akkor vagy mindkét különbség pozitív, vagy mindkettő negatív, a szorzatuk mindig pozitív. És mivel a  $k$  tömeghatás-kinetikai sebességi állandó mindig pozitív,  $H_B$  értéke mindig csökken, tehát  $-H_B$  mindig nő.<sup>9</sup> De itt már azt is láthatjuk, hogyan és miért növekszik. Egyensúlyban pedig valamennyi különbség zérus, a  $H_B$  függvény nem csökken tovább, eléri minimumát, ezzel a  $-H_B$  a maximumot.  $-H_B$  tehát úgy viselkedik, mint a clausiusi entrópia. És azzal arányos. Még egy érdekes eredmény: amikor egyensúly áll be, az energiaeloszlás logaritmusjellegűvé alakul. Valamennyi energia előfordulási részaránya

$$\ln x_i = -\frac{E_i}{RT} + M, \quad (8)$$

tehát az  $\ln x$  mennyiségek az energia lineáris függvényei. Az egyik arányossági szorzó az egész rendszerre közös hőmérséklet, az  $RT$  mennyiség (a tempergia), a másik ( $M$ ) az „állapotösszeg” logaritmus, szintén közös mennyiség. Érdekes dolgokat tudtunk meg:

a) Az összenergia is és az egyes  $E_i$  energiaértékek az egyensúlyon kívül is létező, de rögzített mennyiségek.

b) Az  $x_i$  részarányok egyensúlyon kívül is léteznek, de amíg a rendszer az egyensúlyt nem érte el, változnak, nem rögzített mennyiségek.

c) A hőmérséklet egyensúlyban minden elemi részecskepárra ( $i, j, k, l$ ) ugyanakkora, az egész rendszernek van közös hőmérséklete.

d) Ha nincs egyensúly, ezek a hőmérsékletelemek nem mind ugyanakkorák, tehát ha nincs egyensúly, a teljes rendszernek *nincs hőmérséklete*.

e)  $M$ , a dimenziómentes kémiai potenciál ( $\mu/RT$ ), szintén csak egyensúlyban közös mennyiség.

A test teljes energiája a részenergiák  $x_i$  részarányokkal súlyozott összege (a közös  $M$  mennyiségnél  $\sum x_i M = 1M$ ):

$$\sum_i x_i \ln x_i = -\sum_i x_i \frac{E_i}{RT} + M. \quad (9)$$

Az energiaösszeg a teljes energia, a  $H$  entalpia:

$$\sum_i x_i E_i = H = U + PV. \quad (10)$$

<sup>9</sup> A csökkenés, a csillapodás jelensége gyakori, „nem érdekes”. De  $-1$ -gyel szorozva már pozitív és nő, ezért „érdekes”.

És az  $\ln x_i$  részarány-logaritmusok átlaga Boltzmann  $H_B$  függvénye:

$$\sum_i x_i \ln x_i = H_B. \quad (11)$$

Vessük össze Gibbs energiamérlegével (egy mól anyagmennyiségre):

$$\frac{U}{RT} = \frac{S_{Cl}}{R} - \frac{PV}{RT} + M, \quad (12)$$

$$\frac{U}{RT} = -H_B - \frac{PV}{RT} + M. \quad (13)$$

A dimenziómentes  $-H_B$  nem más, mint Leff dimenziómentes  $S$  entrópiája:

$$S = \frac{S_{Cl}}{R}. \quad (14)$$

Tehát az entrópia szerepében megjelent egy új mennyiség. Eltérően a „misztikus” értelmű clausiusi  $S_{Cl}$  entrópiától, egyszerű, világos, érthető és egyértelmű mennyiség. Ha a „részarányról” van fogalmunk, már megérthető ez az entrópia is. A dimenziómentes  $S$  entrópia már nem tartalmaz sem „hőt”, sem hőmérsékletet, kizárólag részarányok függvénye. Minden elemző egyetértett abban, hogy a valós, korrekt entrópia a boltzmanni  $H_B$  függvény, és ez az entrópia valódi struktúráját mutatja meg. Minden konkrét esetben tapasztaljuk, hogy sok előnnyel jár a dimenziómentes  $S$  entrópiával számolni.

A célszerűség gyakran követelte meg a dimenziómentes entrópiát. Kísérleti eredmények kiértékeléseinél is mindig előnyös az  $S_{Cl}/R$  ( $= S$ ) mennyiséget használni. Ezek az entrópia-számértékek világos jelentésűek, összehasonlíthatók más dimenziómentes mennyiségekkel, például a kitevőkben gyakori  $H/RT$  energiahányadossal. Amikor pedig kitevőben fordul elő, kötelező a dimenziómentes változat. Sok érv szól amellett, hogy ezt a  $-H_B$  mennyiséget használjuk entrópiaként. Merjük ezt a döntést vállalni?

Már két entrópiaváltozatunk van:

$S_{Cl}$ : a clausiusi, „hőhatás” entrópia (Az energia és  $T$  hányadosa), és

$S$ : a struktúra, az összetétel dimenziómentes entrópiája.

A két entrópia csak egy konstans szorzófaktorban különbözik, de fizikai jellegük lényegesen eltér. A történet egy sajnálatos fejleménye következett.

## A kettős identitású entrópia

Az entrópia nevet és fogalmat már Clausius lefoglalta a  $J/K$  hőhatás entrópia számára.<sup>10</sup> *Max Planck* a két fajta entrópia összekapcsolására azt javasolta, hogy a  $H_B$  függvényt szorozzuk a  $k_B$  „Boltzmann-állandó”

<sup>10</sup> *Neumann Jánost* ez nem gátolta abban, hogy *Shannonnak* az „entrópia” szót egy információelméleti fogalomra javasolja.



arányossági szorzóval ( $k_B$  az egy részecskére számított  $R$  gázállandó) [12]. Egy mólrá

$$S_{Cl} = -RH_B = RS. \quad (15)$$

Dimenziója ennek ismét J/K, ez megnyugtató megoldásnak látszott. Hanem a megértés problémája ezáltal nem lett kisebb. Az entrópia értelmezése újabb tételekkel bővült: struktúra, eloszlás, valószínűség, információ, fázistér. Amikor a szakirodalomban előkerül a kérdés: „Mi az entrópia?” ilyeneket olvashatunk:

- Az entrópia mértéke az elérhetetlen munkának.
- Az entrópia mértéke az energia szétszóródásának.
- Az entrópia mértéke az irreverzibilitásnak.

És ugyanakkor (szorozva a Boltzmann-állandóval):

- Az entrópia mértéke a rendezetlenségnek.
- Az entrópia méri az elérhető mikroállapotok számát.

- Az entrópia egy állapotvalószínűség logaritmus.

Bár mindegyik állításnak megvan a valóság tartalma, nem világos, hogy ez mind hogyan lehet ugyanazon entrópia? Most már mindkét fajta entrópia fizikai dimenziója ugyanaz: energia/hőmérséklet (J/K). Ez a fajta mennyiség azonban ugyanannyira misztikus, mint maga az entrópia.

Az entrópiának ettől kezdve különös kettős értelme volt. Ha energiáról, hőről, gőzgépről volt szó, akkor hőhatás-entrópiaként, ha pedig eloszlásról, összetételről, akkor struktúra-entrópiaként jelent meg.<sup>11</sup> Ennek forrása az a tény, hogy immár az  $S_{Cl}$  entrópia két tényező szorzatának tekinthető: az egyik tényező ( $R$ ) tartalmazza a („redukált”) energia tulajdonságot, a másik ( $S$ ) a struktúrát ( $\lambda \ln \lambda$ ). Ez a helyzet azonban nem mindenkit nyugtatott meg. A kérdés hol erősebben, hol gyengébben rendszeresen fölvetődött: melyiket használjuk, melyiket nevezük entrópiának? Lehet a két hatást szétválasztani? A kérdésfeltevés látszólag lényegtelen, hiszen csak egy konstans szorzótényező az eltérés.

Úgy látszik azonban, még egy kérdést tisztázni kell.

## A „hőmérséklet-probléma”

$R$  és  $T$  vagy  $RT$ , az 1990-es években többen felvetették, hogy a probléma megoldásra vár. *B. H. Lavenda* (1991) és mások azt javasolják [13–16]: hagyjuk el a gázállandót (valamint a Boltzmann-állandót), és a hőmérsékletet energiaegységekben ( $RT$ ) mérjük. (Ez így már nem függ a Celsius-skálától). Így a formulák is szimmetrikusabbak lesznek:

$$S_{Cl} = RS \text{ és } TS_{Cl} \rightarrow RTS.$$

Azonban van egy elvi probléma is, újra érdemes azon gondolkodni, mi végül is a gázállandó? A gázállandó ( $R$ ) a gázhőmérséklet, a Kelvin-skála szülötte. A gáz mért  $PV$  szorzata (a moláris kinetikus energia) a Cel-

sius hőmérsékletskálával jó közelítéssel párhuzamosnak bizonyult, így a Celsius-skála módosításával született a Kelvin-skála ( $T$ ). Ez a hőmérséklet arányos a gáz  $PV$  energiájával, az arányossági szorzó az  $R$  gázállandó (J/Kmol) lett. És semmi több.

$$PV = RT. \quad (16)$$

Mint sok hasonló arányossági szorzó,  $R$  nem önálló fizikai mennyiség, a hőmérséklet nélkül nincs értelmes funkciója, és más fajta kapcsolatait semmi sem indokolja. Nincs értelme például az  $R \ln x$  mennyiségben. Semmi sem indokolja a szorzást a  $H_B$  függvénnyel ( $RS$ ).<sup>12</sup> Merész következtetés: az  $R$  mennyiséget csak  $T$  hőmérséklettel együtt használjuk! Amikor Planck a dimenziómentes  $S$  entrópiát szorozta a gázállandóval, azt energijellegű szorzattá „öltöztette” az energiamérleg kedvéért. Még súlyosabb a probléma a Boltzmann-állandóval. Ma már tudjuk, hogy a hőmérséklet ( $RT$ ) az exponenciális energiaeloszlás meredeksége, és egyetlen részecskének, egyetlen tömegpontnak nincs hőmérséklete(!). A sűrűn előforduló  $k_B T$  szorzat ( $1/\beta$  helyett), ilyen formában „problémás”. Ez valójában egyetlen részecske kinetikus energiája (Leff: tempergia,  $\tau$ ), hőmérsékletnek itt nincs keresnivalója.

Az elmondottakból kiderül, hogy a termikus rendszerek, a termodinamika megértését egy csoport „problémás” mennyiség gátolja, immár több, mint száz év óta:  $TS_{Cl}$ ,  $RS$ ,  $k_B H_B$ ,  $U/T$ ,  $\delta Q/T$ ,  $R \ln x$ ,  $\mu/T$ ,  $PV/RT$ .

„Nem problémás” ezzel szemben:  $RT$ ,  $RTS$ ,  $U/RT$ ,  $RT \ln x$ ,  $PV/RT$ ,  $\mu/RT$ .

A probléma abból származik, hogy egyes fizikai mennyiségek, így a hőmérséklet („Kelvin”), vagy a gázállandó (J/K) egy adott kapcsolatban születtek, ezt a kapcsolatot szétbontani, más kapcsolatokba bevinni „problémás” lehet, annak ellenére, hogy azt a matematikai szabályok engedik.  $R$  és  $T$  kapcsolata büntetlenül nem bontható. Akár  $R$ , akár  $T$  másfajta kapcsolata nehezen vagy egyáltalán nem értelmezhető fogalmakat, állításokat eredményez.

Bár az alapegyenlet, Gibbs energiamérlege kiállta a tapasztalat kontrolljait, eredeti változata a két új mennyiség, az entrópia és a kémiai potenciál definíciója a megértést nem tette könnyűvé. (Az utóbbi egy külön történet lehetne.) Bár a problémák újra és újra felmerültek, a mérlegegyenlet eredeti formája és az eredeti értelmezések mindmáig érintetlenséget, védettséget élveztek. Ez kötötte meg Max Planck kezét is. A merev hagyománytisztelet nem minden tudományterületre jellemző. Idézzük ismét Clifford Truesdell [6]:<sup>13</sup> „A tizenhetedik és tizennyolcadik század-

<sup>12</sup> A  $h_p$  Planck-állandó a fotonenergiát kapcsolja össze a fény frekvenciájával. Dimenziója nem egyszerűen energia szorozva idővel, helyesebb: fotonenergia per fényfrekvencia. Nincs értelme más frekvenciákra, például szívdobogásra alkalmazni és más fajta energiákat sem értelmes a Planck-állandóval osztani.

<sup>13</sup> „In the seventeenth and eighteenth centuries, mathematical theories of mechanics were created, studied, applied, and reformulated again and again. As a result, mechanics became more precise, briefer, easier to learn, and more widely applicable.”

<sup>11</sup> Hasonló problémával másutt is találkoztunk már, gondoljunk a részecske-hullám dualizmusra.

ban a mechanika matematikai elméleteit újra és újra alkották, vizsgálták, alkalmazták, átalakították. Ennek eredményeként a mechanika precízebb, rövidebb, könnyebben megtanulható és tágabban alkalmazható lett.” Nem úgy a termodinamika.

Ennek a termodinamikában is elérkezett az ideje. Erről szól majd a második rész.

#### Irodalom

1. Harvey S. Leff: What if entropy were dimensionless? *Am. J. Phys.* 67(1999) 1114–1121.
2. Clausius, R., *Annalen der Physik und Chemie* CXXV(1965) 390.
3. Gibbs, J. W.: *The scientific papers of Willard Gibbs*. Dover, New York, 1961.
4. IUPAC-IFCC Terminology PAC. 68 (1996) Recommendations. 972.
5. Atkins, P. W.: *Physical Chemistry*. Oxford Univ. Press, 1990.
6. Truesdell, C.: *Rational Thermodynamics*. McGraw, 1969.
7. Truesdell, C.: *Tragicomedy of the Classical Thermodynamics*. Springer, 1971.
8. Leff, H. S.: Thermodynamic entropy: the spreading and sharing of energy. *Am. J. Phys.* 64(1996) 1261–1271.
9. Fényes Imre: A termodinamika fejlődésének áttekintése. – előadás, 1955. dec. 9. Szakosztályi füzetek (TTTT), Fizikai kémia.
10. Boltzmann, L.: *Lectures on Gas Theory*. Barth, Leipzig, 1896.
11. Dirac, P. A. M., *Proc. Roy. Soc.: 106 A* (1924) 581–596.
12. Planck M.: *The Theory of Heat Radiation*. Dover, New York (1991) 172–173, eredeti: (1901) 216.
13. Lavenda, B. H.: *Statistical Physics: „A probabilistic Approach”*. Wiley (1991) 14–15.
14. Lavenda, B. H.: What is entropy? *Il Nuovo Cimento B* 110(1995) 433–439.
15. Harvey S. L.: Thermodynamic entropy: The spreading and sharing of energy. *Am. J. Phys.* 64(1996) 1261–1271.
16. Baierlein, R.: Entropy and the second law. *Am. J. Phys.* 62 (1994) 15–26.

## NEUTRÍNÓ – ÁLTUDOMÁNY?

A *Fizikai Szemle* 2012/5 számában (két további szerzőtársunkkal) [1] bemutattuk a neutrínó sebességének mérésére vonatkozó OPERA-kísérletet, amely előbb fénynél gyorsabb neutrínókról számolt be, majd néhány hónap múlva visszavonta eredményeit, mert hibát találtak az időmérésben. Cikkünk befejezéseként amellet érveltünk, hogy bár a mérés hibásnak bizonyult, mégis előremutató hatással volt a fizika fejlődésére. Cikkünket követően *Patkós András* megírta véleményét *Neutrínó – Áltudomány* címmel [2]. Kifejtette, hogy a kísérlet vezetői helytelenül jártak el amikor olyan kísérleti eredményt tettek közzé, amely nyilvánvalóan hibás volt, hiszen alapvető elméleti megfontolásoknak mond ellen. Jelen írásunkban szeretnénk vitába szállni e véleménnyel, és megerősíteni, hogy nem volt szó volt áltudományról, annak ellenére, hogy az események utólagos ismeretében valóban felmerülhet a gyanú, hogy a kísérlet résztvevői nem végeztek el minden ellenőrzést az esetleges hibák kiszűréséhez.

Az OPERA-kísérlet előtt már történtek próbálkozások a neutrínó sebességének mérésére. Cikkünkben is beszámoltunk a MINOS-kísérletről, amely ugyan fénynél gyorsabb neutrínósebességet mért, de a mérés szisztematikus bizonytalansága olyan nagy volt, hogy fénysebességnél gyorsabb neutrínókra vonatkozó állításuk nem lehetett szignifikáns. Az OPERA-kísérletben gondosan végigelemezték, hogyan lehet a MINOS-kísérletet úgy megismételni, hogy a szisztematikus hibát minden lehetséges módon csökkentsék. Valóban sikerült is szellemes megoldásokkal jelentősen (közel tizedére!) csökkenteni a szisztematikus hibát, és így a mérés pontosságát jelentősen javítani. Minthogy a tudományos felfedezéseket a méréseink pontosságát célzó technikai fejlesztések teszik lehetővé, az OPERA mérését semmiképpen nem nevezhetjük áltudománynak.

Az OPERA-kísérlet kiértékelése vakon történt. A korszerű részecskefizikai kísérletek e nagyon lényeges feltevése azt jelenti, hogy a szisztematikus bizonytalanságokat – igazi mérési adatok nélkül – a legapróbb részletekig kidolgozzák. A OPERA-kísérletben részt vevők – bizonyosok lévén szisztematikájukban – az adatok gyűjtése után rögtön közölték az eredményt, még ha az ellent is mondott az elméleteknek. Gondoljunk bele: ha nem így tennénk, akkor nem tehetnénk olyan új felfedezést, amely a már ismert elméletek érvényességének határait feszegeti. A kísérletező feladata éppen az, hogy eddigi ismereteinket megkérdőjelezve, saját mérésének pontosságát tárgyilagosan, a lehető legjobban meghatározva adjon új mérési eredményeket. Az OPERA ezt tette, de sajnálatos módon elcsúsztak egy banánhéjon. Talán elfogadhatjuk azt a kritikát, hogy igazán nagyszabású eredmények különlegesen gondos ellenőrzést kívánnak. Ugyanakkor az is tény, hogy a bejelentés készítette az ICARUS-kísérletet a mérés megismétlésére, és az ő negatív eredményük után az OPERA gyorsan megtalálta a hibát, amit nyilvánosan el is ismertek. Ez utóbbi mozzanat nem jellemző az áltudomány terjesztőire.

Vajon veszített-e a tudomány bármit az OPERA-bejelentést követő gondolatviharban? Bizonyosan állíthatjuk, hogy nem. Születtek ugyan kétes értékű munkák nagy számban, azonban ezek szinte nyomtalanul tűntek el, a hivatalos bírálatot követően többségük nem jelent meg szakmai folyóiratokban. Ugyanakkor születtek érdekes gondolatok, amelyek kiállták a kételkedő kérdezők próbáját, megjelentek nyomtatásban, és gazdagították a fizikát.

A Standard Modellen (SM) túlmutató elméleti elképzelések nagy része úgy próbált magyarázatot adni a fénynél gyorsabb neutrínókra, hogy közben ne sértse a Lorentz-szimmetriát – legalábbis ne a Coleman-Glashow-cikkben [3] megfogalmazott közvetlen módon –, és ezzel kerülje meg a Cohen-Glashow-közle-

ményben [4] írott feltételeket. Fontos kiemelni, hogy az új elméleti modellek egyrészt nem mondanak elent az eddigi mérési eredményeknek, másrészt felvetik a modell további kísérletekkel történő ellenőrzését. Ezek közül csak érintőlegesen említünk kettőt.

Például a hipotetikus steril neutrínók az elhanyagolhatóan gyenge tömegvonzáson kívül nem hatnak kölcsön más SM-részecskékkal, és az SM-neutrínók is csak oszcilláció révén csatolódnak hozzájuk. Ha feltételezzük, hogy a steril neutrínók extra térdimenziókban is mozoghatnak, akkor repülési idejük rövidebb lehet a fénynél. Ha megköveteljük azt is, hogy sem a steril, sem a szokásos neutrínók nem léphetik túl a fénysebességet a szokásos 3+1 dimenzióban, akkor a Lorentz-szimmetria nem sérül, ellenben az oszcilláció miatt – a szokásos neutrínók esetén is – a féynél gyorsabb repülést tapasztalunk. Ekkor a Cohen–Glashow-cikk megszorítása nem érvényes, hiszen nem szükséges, hogy a szokásos 3+1 dimenzióban a féynél gyorsabb legyen a neutrínó.

Egy másik példa szerint az ötödik erő feltételezése alapján létezhet olyan új fizikai mező, amely más módon csatolódik a neutrínókhoz, mint a többi SM-részecskéhez. Az új mező és a neutrínók közti kölcsönhatás a neutrínók számára úgy módosíthatná a téridő geometriáját, hogy lehetővé válna a fény vákuumban mért sebességénél gyorsabb terjedés a Lorentz-szim-

metria közvetlen sértése nélkül. Tehát ismét azt kapjuk, hogy az elmélet megkerüli a Cohen–Glashow-közleményben kirótt feltételeket.

Volt azonban más hozománya is a történetnek. Egyrészt összehozta a fizika különböző részterületein dolgozó kutatókat. Olyan kutatók között indult eszmecsere, akik általában nem szoktak egymással érintkezni. Másrészt a történet tanulságos lehet a fizikát kedvelő diákok és nagyközönség számára is. Példát mutatott arra, hogy az igazi tudományban semmi sincs bebetonozva, mindennek meg lehet kérdőjelezni, sőt rendszeresen meg is kérdőjelezzük az érvényességét. Előfordulhat, hogy kevésbé ismert fizikai egyedek viselkedésének megértése céljából a jelenleg biztosnak gondolt tudományos tézisek érvényességi körét felül kell vizsgálni, ismereteinket új elméletekkel szükséges bővíteni. Ez alól nem kivétel a Lorentz-szimmetria sem.

Nándori István, Trócsányi Zoltán

#### Irodalom

1. Horváth D., Nagy S., Nándori I., Trócsányi Z.: A féynél gyorsabb neutrínók tündöklése és bukása. *Fizikai Szemle* 62/5 (2012) 145–152.
2. Patkós A.: Neutrínó – Áltudomány. *Fizikai Szemle* 62/5 (2012) 152–153.
3. S. R. Coleman, S. L. Glashow: High-energy tests of Lorentz invariance. *Phys. Rev. D* 59 (1999) 116008.
4. A. G. Cohen, S. L. Glashow: Pair Creation Constrains Superluminal Neutrino Propagation. *Phys. Rev. Lett.* 107 (2011) 181803.

## A FIZIKA TANÍTÁSA

# DERMESZTŐ HAJTÓSUGÁR ÉS 120 N TOLÓERŐ

## Sugárhajtómű a rakétaindító sínen

Joó Árpád

MH 43. Nagysándor József Híradó és Vezetéstámogató Ezred, Székesfehérvár

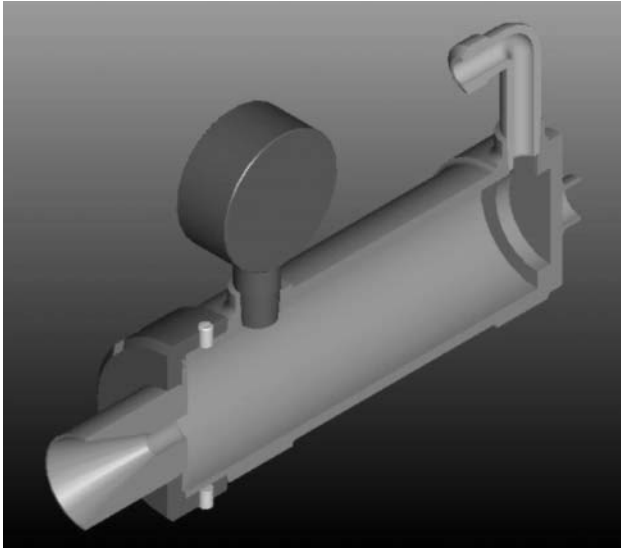
*A középiskolai fizikaoktatásban vagy a tanárképzésben nem jellemző, hogy a szifonpatronon vagy a pillepalackból készült rakétán kívül más eszközzel demonstrálnák a sugárhajtást. Mindezek hiába készíthetők el egyszerűen, nem alkalmasak mérési feladatok elvégzésére, hiszen pusztán a reaktív hajtás elméletét igazolják a gyakorlatban.*

*Minden fontosabb, gazdaságilag prosperáló térségben a válság ellenére is zajlik az űrkutatás és ahhoz kapcsolódóan a rakétatechnika fejlődése. A világűr meghódításában pedig a reaktív hajtásnak nincsen alternatívája: „Minden nebezgség nélkül felismerhető (...), hogy a légüres térben mint hajtóeszköznek páratlan jelentősége van.” [1]*

*A sugárhajtás, rakétahajtás és az ezekhez szükséges alapvető technikai megoldások a fizikaórákon és előadásokon fontosságukhoz mérten több megbeszélést és minőségében más kísérleteket érdemelnének.*

Demonstrációs célokra, sőt kooperatív oktatási módszer központi eszközeként komplex mérési feladatok végrehajtására egy olyan eszköz fogadható el, ahol az üzemidő percekben mérhető és nincsenek a mérést nehezítő, forró füstgázok; ahol nem zajlik kémiai reakció, amely nyomásnövekedés során ellenőrizhetetlenül felgyorsulhat. A hajtóművet inert gázzal célszerű megtáplálnunk, vagy például – a látványos üzem és a mérhető paraméterek biztosítása érdekében – megfelelően nagy kamranyomást és térfogatáramot nyújtó (inert gázt tartalmazó) sűrített levegővel.

Munkacsoportunk a sugárhajtást kívánta bemutatni, működését mérésekkel kicsit közelebből is megvizsgálni. Berendezésünket tágabban értelmezve autogén sugárhajtóműnek is tekinthetjük, hiszen ez a berendezés is egységes rendszerként foglal magába mindent, ami a hajtósugár előállításához szük-



1. ábra. A hajtóműmodell metszeti rajza.

séges. Az égéskamramodellben viszont kémiai átalakulás nem történik. Ami a kísérletekkel megvalósult: tiszta fizika.

A közepes nyomású rakétahajtóművek jellemző üzemi nyomástartományára H. Mielke szerint „20–50 atmoszféra” [2] közé esik. Biztonsági okokból mi is ezt a tartományt céloztuk meg.

## A berendezés bemutatása dióhéjban

A munkavégző gáz sűrített levegő, amelyet egy 46 l-es, 6,9 m<sup>3</sup> gáztérfogatú levegőpalack biztosít, reduktor nélkül. A palack mint *hajtóanyagtartály* fogható fel, tehát a tolóerővel egyenesen arányos  $dm/dt$  kiáramlási sebességű *tömegsugár* is tisztán hideg levegőből áll, így az fulladás veszélye nélkül teszi lehetővé a zárt térben való alkalmazást. A palackot hidraulikus köti össze a kamra bevezetésével.

Az *égéstér modell* egy hidraulikus munkahenger, amelynek anyagminősége, falvastagsága kizárják a fizikai robbanás lehetőségét; rendeltetéséből adódóan több száz bar nyomásig használható (1. ábra). A henger lezárásának furatába helyeztük be a bronzból készült, cserélhető, pontosan illeszkedő *fúvócsövet*, amelynek peremét a kamranyomás préseli a lezáráshoz. A két gyári, nyomásálló csatlakozó közül az egyiket vezettük be a munkavégző gázt, a másikhoz pedig nyomásmérő órát csatlakoztattunk, amely egy csőrugós *manométer* 2 bar-os osztásokkal.

Kettő fúvócsövet készítettünk úgy, hogy azok a katonai célú kiserakétákra jellemzően a „kettős kúpos alakú fúvóka” [3] kialakításához állnak a legközelebb; a szűkülő részt viszont elhagytuk, így vált lehetővé a táguló rész megfelelőbb kialakítása. Ezzel meg tudtuk oldani, hogy a táguló rész 21°-os fél nyílásszöge közelítsen az ideális értékhez, amely a hivatkozott szakirodalom szerint „12° és 18° közt van” [4]. A másik kettő fúvócsövet pedig táguló rész nélkül alakítottuk ki. Két fajta keresztmetszetet választottunk:

6 mm és 11 mm átmérővel. A fúvókák kialakítása felelős a zajártalomért, ami azonban hallásvédő eszközzel kivédhető.

Az *erőmérőhöz* megfelelő rugók felkutatása, összehasonlítása során egy 150 mm-es nyomórugót választottunk. Mérlegsúlyok segítségével az elért összenyomódások és mérések ismételtetésével meghatároztuk az átlagos direkciós erőt ( $D = 13,26$  N/cm), ezt az átlagot tekintjük rugóállandónak. Ennek ismerete lehetővé teszi, hogy a modell által összenyomott rugó hosszából számítsuk a tolóerőt.

## Célok

A *sugárbajtás elvét*, a működés *mechanikai alapjait* a gyakorlatban, közvetlen közelről kívántuk bemutatni, akár *egy pedagógiai projekt* részeként. A legfontosabb mutatószámokat (tolóerő, nyomás és üzemidő) szinte „kézzelfoghatóvá” akartuk tenni oly módon, hogy egy igazi *sugárbajtómű* és a *gyakorló modell* közötti határok elmosódjanak. Az üzemeltetéssel mód nyílhat újszerű tevékenységek elsajátítására, hiszen az említett mutatószámok mindenki által mérhetőek. Különböző típusú és legszűkebb keresztmetszetű fúvócsöveket alkalmazva képesek vagyunk megvizsgálni, hogy miként változik a kamranyomás, a tolóerő és a közepes tömegáram.

## Motiváció

Az elvégzett indítások, megfigyelések és a beszámoló során bebizonyosodott, hogy a demonstrációs hajtóművel való munka és a videofelvétel is motiváló hatású. Ez igaz mind a kísérletek előtti (tervezési), mind pedig az azt követő (elemzési) időszakra. Egy olyan hajtómű, ami rögzített pályán el tud mozdulni, működését pedig erős hanghatás és a környező levegő hőmérsékletének zuhanása kíséri, sőt aminek a hajtósugarát a diákok akár meg is „érinthetik” egyértelműen *felkelti és fenntartja az érdeklődést*. Izgalmas projektoktatás valósítható meg, hiszen a működtetést megelőzően a csoport tagjainak külön mérési feladatok adhatók ki, felelősöket jelölhetünk ki, a közösen elvégzett indítást pedig előre meghatározott szempontok szerint, közösen értékeljük.

## A dolgozó hajtómű

A hajtóműmodellel végzett *nyolc kísérleti indítás* során született mérési adatok képezik az írás alapját.

Az esetlegesen leváló szilárd szennyeződések ellen arcvédő sisakkal védekeztünk. A palack szelepét teljesen kinyitva a dolgozó hajtómű az első 14 s alatt elérte a maximális kamranyomást – közben tolóerejének megfelelő mértékben összenyomta a rugós erőmérő (ismert direkciós erejű) nyomórugóját –, valamint a legnagyobb gázkiáramlási sebességet és tömegáramot (hajtóanyagáramot) is. A manométert és a

stoppert figyelve kiderült, hogy melyik pillanatban érte el a kamra a legnagyobb nyomást. Természetesen ugyanakkor mértük a rugó maximális összenyomódását is. A hajtóműmodell működése regresszív – visszafejlődő – jellegű, vagyis a fontosabb mutatószámok értékei hamar elérik a maximumot, majd csökkenést mutatnak. A palackot addig ürtettük és az időmérés is addig végeztük, amíg a szelepen át érzékelhető volt az áramlás.

## Mérési feladatok

Próbapadra helyezett rakétahajtómű esetén a szakirodalomhoz hűen elsősorban a  $\dot{G}$ -tal jelölt hajtóanyag-áramot, és a  $P$ -vel jelölt tolóerőt kell meghatározni. Esetünkben a tolóerőt abban a rövid időszakban vizsgáltuk, amikor elérte maximális értékét.

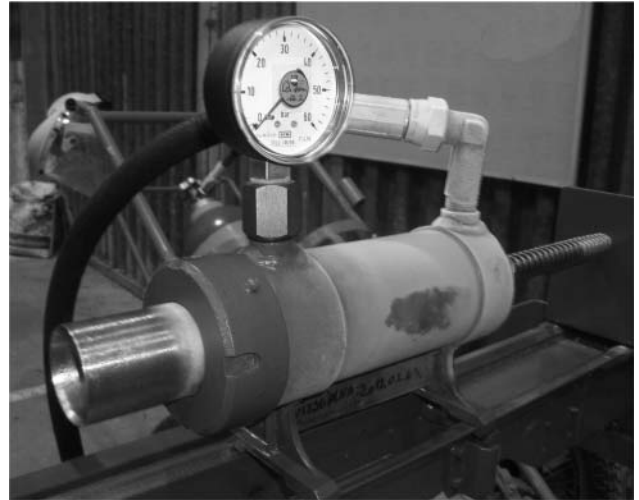
Drága ipari mérőberendezés híján a palacknyi töltet tömegének ismeretében, a kamra pillanatnyi nyomása és a teljes üzemidő mérése után a közepes hajtóanyagáram értéke mellett, a 8. indítást vizsgálva a tömegáram, továbbá a kiáramlási sebesség értékét is meghatároztuk.

Az égéskamrát egy néhai páncéltörőrakéta-rendszer indítósinjén, vízszintesen helyeztük el (2. ábra). Modellünk a sínen csúszva röviden elmozdult. Ezt az  $x_{\max}$  utat, vagyis a rugós erőmérő rugójának összenyomódását mértük. Ideális esetben ebből és a már meghatározott  $D$  direkciós erő segítségével kiszámíthattuk a hajtómű  $P_{\text{eff}}$  tolóerejét:

$$P_{\text{eff}} = D x_{\max}.$$

Gyakorlatban azonban figyelembe kell venni az elmozduláskor fellépő  $F_s$  súrlódási erőt is, így a  $P_{\text{effm}}$  módosított tolóerő:

$$P_{\text{effm}} = D x_{\max} + F_s.$$



2. ábra. A kész modell egy mérés után.

$F_s$  csúszási súrlódási erőt lemérve értékére 6,75 N-t kaptunk. Az 1. táblázat tartalmazza  $x_{\max}$ ,  $P_{\text{eff}}$  és  $P_{\text{effm}}$  értékeit. A manométerről leolvastuk a maximális kamranyomást.

Az üzem utolsó perceiben a tömegsugár hőmérsékletét mértük megfelelő üveghőmérővel.

### A 8. számú próba üzemnyomás-vizsgálata

Az indítások közül a nyolcadik viszonylag magas mért értékeket adott. Az 1. táblázatból láthatjuk, hogy a tolóerő megközelítette a 120 N-t, a kamranyomás pedig elérte a 35 bart, a működési idő a legrövidebb volt: a rendszer elérte teljesítőképessége határát. A működés jellegzetes lefutása miatt célszerűnek tűnt annak nyomásvizsgálata. Videofelvétel segítségével, a szelep teljes kinyitásától, manométeren követtük nyomon az üzemi nyomás exponenciális csökkenését. Az értékeket szabályos időközönként lejegyezve, azokat táblázatba foglalva és a nyomás-

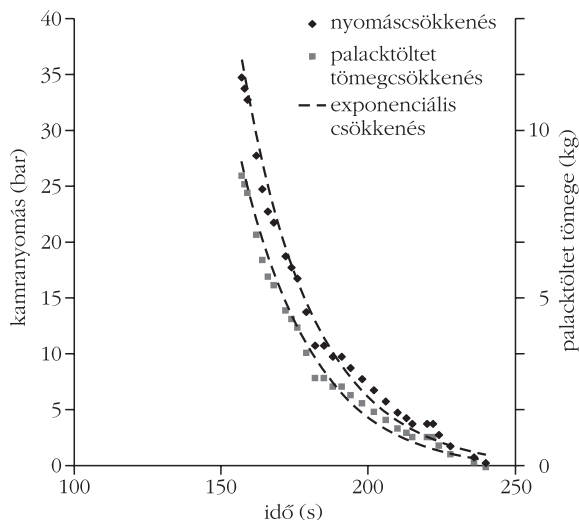
1. táblázat								
Elvégzett kísérletek mérési eredményei és egyes számított értékek								
próba sorszáma	$p_{\max}^{\text{kamra}}$ maximális kamranyomás (bar)	$x_{\max}$ maximális összenyomódás (cm)	$P_{\text{eff}}$ tolóerő, reakcióerő (N)	$t$ teljes üzemidő (s)	$\dot{G}$ közepes hajtóanyag-áram (kg/s)	$F_i$ akcióerő (N)	$P_{\text{effm}}$ módosított tolóerő (N)	fűvócső minimális átmérője (mm) és típusa
3. <sup>1</sup>	12	~2	~26,5	–	0,034	34	33,25	6 – kettős kúpos
4. <sup>1</sup>	10	2,1	27,85	280	0,034	28,3	34,6	6 – kettős kúpos
5. <sup>1</sup>	20,0	4,3	57,03	–	0,034	56,6	63,78	6 – kettős kúpos
6. <sup>2</sup>	33	6,8	90,20	180	0,049	93,4	96,95	6 – konvergáló
7. <sup>3</sup>	9	5,6	74,27	156	0,057	85,5	81,02	11 – kettős kúpos
8. <sup>4</sup>	35	8,4	111,41	165	0,053	99,05	118,2	6 – kettős kúpos

<sup>1</sup> Teljesen és fokozatosan nyitott szelep; az erőmérőbe csapódik; hatékonyabb tömítések.

<sup>2</sup> Teljesen nyitott szelep; hatékonyabb tömítések; az erőmérőtől indul; szelep kinyitása 12 s alatt.

<sup>3</sup> Teljesen nyitott szelep; hatékonyabb tömítések; erőmérőtől indul; szelepnnyitás 14 s alatt.

<sup>4</sup> Teljesen nyitott szelep; hatékonyabb tömítések; az erőmérőtől indul; szelepnnyitás 12 s. Tömegsugár hőmérséklete:  $T = -25$  °C. Számított kiáramlási sebesség a 14. s-ban  $c = 94,56$  m/s.



3. ábra. A nyomás, valamint a palacktöltet tömegének csökkenése az idő függvényében a 8. próba videofelvétele alapján. Szelepnýtás a 158. másodpercben, jól látható a regresszív jelleg exponenciális viselkedése.

csökkenést az idő függvényében ábrázolva, kijelenthetjük, hogy a működés jellege besorolható a regresszív kategóriába (3. ábra).

## Fontosabb számítások

A rugós erőmérő nyomórugójának összenyomódása, a direkciós erő, az égéskamra manométerről leolvasható maximális nyomásértéke és a teljes üzemidő, vagyis a palackban foglalt „hajtóanyag” elfogyasztásának (a palack kiürítésének) időtartama képezte a számítások alapját. Továbbá felhasználtuk a gáztöltet kezdeti hőmérsékletét, tömegét (vagyis a hajtótöltet tömegét), a palack térfogatát, a gáz standard állapotra megadott térfogatát és a környezeti levegő hőmérsékletét.

### Akcióerő számítása (és a rugós erőmérő ellenőrzése)

A hivatkozott szakirodalomhoz hűen  $P$ -vel jelölt tolóerő egyenesen arányos az időegység alatt kidobott gázmennyiséggel (tehát a  $\dot{G}$ -tal jelölt hajtóanyag-fogyasztással) és a kiáramlás sebességével a nagyon általános  $P = \dot{G}c$  összefüggés értelmében. A kamrát, a fúvócső legszűkebb keresztmetszetét és a torkolat kialakítását, végül pedig a környezetet kellene a jelenség tárgyalásakor figyelembe venni. Egyszerűsítésünk úgy, hogy a külső nyomásból eredő külső erő hatásától eltekintünk – a tolóerő értékéhez úgy is eljuthatunk, hogy a kamra nyílásának (vagyis itt a fúvócső legszűkebb)  $A_{\min}$  keresztmetszetét megszorozzuk a kamra rá nehezedő  $p_{\max}^{\text{kamra}}$  maximális nyomásával. A tömegsugarat létrehozó gázközeg nyomását alapul véve a kamrában ez az  $F_t$  erő:

$$F_t = p_{\max}^{\text{kamra}} A_{\min},$$

vagyis nyomóerő – mint a kamra  $A_{\min}$  nyílására, a fúvócső legszűkebb keresztmetszetére irányuló erő –

annál nagyobb, minél nagyobb a  $p_{\max}^{\text{kamra}}$  kamranyomás és a minimális keresztmetszet szorzata.

A 6. számú próbánál alkalmazott fúvócső legszűkebb keresztmetszete  $A_{\min} = 2,83 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$ , a maximális kamranyomás  $p_{\max}^{\text{kamra}} = 33 \text{ bar}$ , így az akcióerő értékére  $F_t = 93,4 \text{ N-t}$  kaptunk. Ezt összevetve (az ellentétes irányú)  $P = 96,95 \text{ N}$  tolóerőadattal, láthatjuk, hogy a számítás csupán 3,5 N-nal adott kisebb értéket, azaz a rugós erőmérőnk összenyomódásából számított reakcióerő jó közelítéssel elfogadható érték.

Az első másodpercek tömegárama és kiáramlási sebessége a 8. számú próba során

A kamra pillanatnyi  $p^{\text{kamra}}$  nyomása, annak változása sok információt hordoz a működés jellegéről, és minden mással, így például a hajtóanyagáram pillanatnyi értékével is kapcsolatban van. A 8. indítás nyomásadataiból kiindulva, a palack töltettömegének ismeretében ez utóbbi csökkenése is felírható (3. ábra). A szelepnýtástól számított 14. és 16. másodperc között eltelt intervallumot vizsgálva a kamra nyomása  $p^{\text{kamra}}(14 \text{ s}) = 19 \text{ bar}$  értékről  $p^{\text{kamra}}(16 \text{ s}) = 18 \text{ bar}$ -ra, míg a palack töltet tömege az  $m(14 \text{ s}) = 4,77 \text{ kg}$ -ról  $m(16 \text{ s}) = 4,52 \text{ kg}$ -ra csökkent. Ezekből a valós értékhez közelítő  $\dot{G} = 0,125 \text{ kg/s}$  hajtóanyagáramot kaptunk. A 8. próba során mért és pontosan meghatározott  $P_{\text{effm}} = 118,2 \text{ N}$  tolóerőjét felhasználva a nagyságrendileg érvényes  $c = P_m / \dot{G}$  kiáramlási sebesség legfeljebb 94,56 m/s.

### A Joule–Thomson-hatás érvényesülése

A palackban 150 bar nyomáson és 15 °C hőmérsékleten tárolt sűrített levegőt a csővezetéken, a kamrán és a fúvócsővön keresztül a környezetbe juttattuk, így nyomása néhány perc alatt lényegében a légköri nyomásig csökkent.

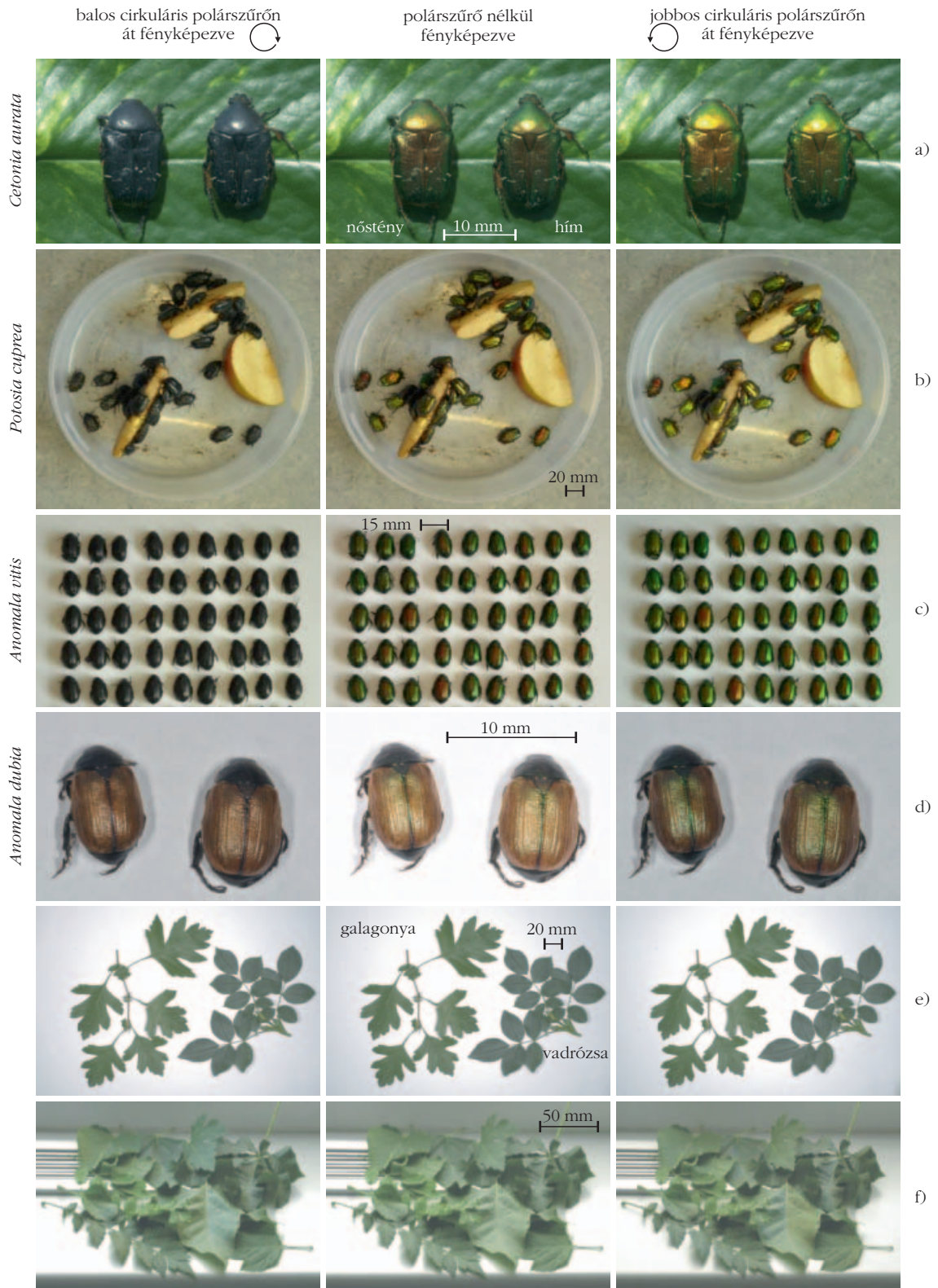
A fúvócső torkolatából kiáramló levegő hőmérséklete a torkolatától néhány cm-re (mérés szerint):  $T = -25 \text{ °C}$  volt. A Joule–Thomson-hatás egyenletével számolva a hőmérséklet-csökkenés  $\Delta T = -37 \text{ °C}$  kell legyen. Az eredmény reális, hiszen közel van a mért  $-40 \text{ °C}$ -os értékhez.

Ezzel egyrészt megállapítottuk hőmérséklet-méréseink pontosságát, másrészt rávilágítottunk arra, hogy a nevezett hatás leírásával egyezően a torkolatból kilépő gázkeverék nyomása 1 bar-hoz közelít.

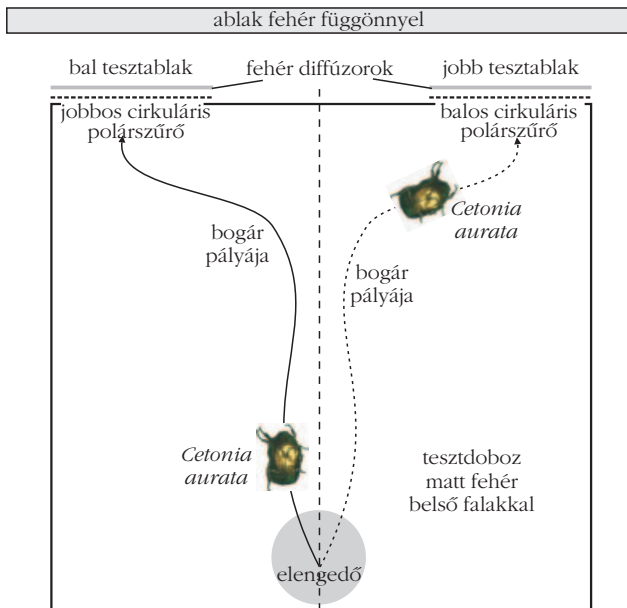
## Összefoglalás, következtetések

A szerkezet le tudja győzni a mintegy 9 N tapadási súrlódási erőt és önállóan képes elmozdulni a sínen. Működési ideje elegendő hosszú ahhoz, hogy különböző méréseket végezzünk rajta.

Olyan fúvócsöveket terveztünk és alkalmaztunk sikerrel, hogy jól észlelhető különbségeket mutassanak a mérési eredmények, így például az átengedett levegő (tömegáram) mennyiségei is.



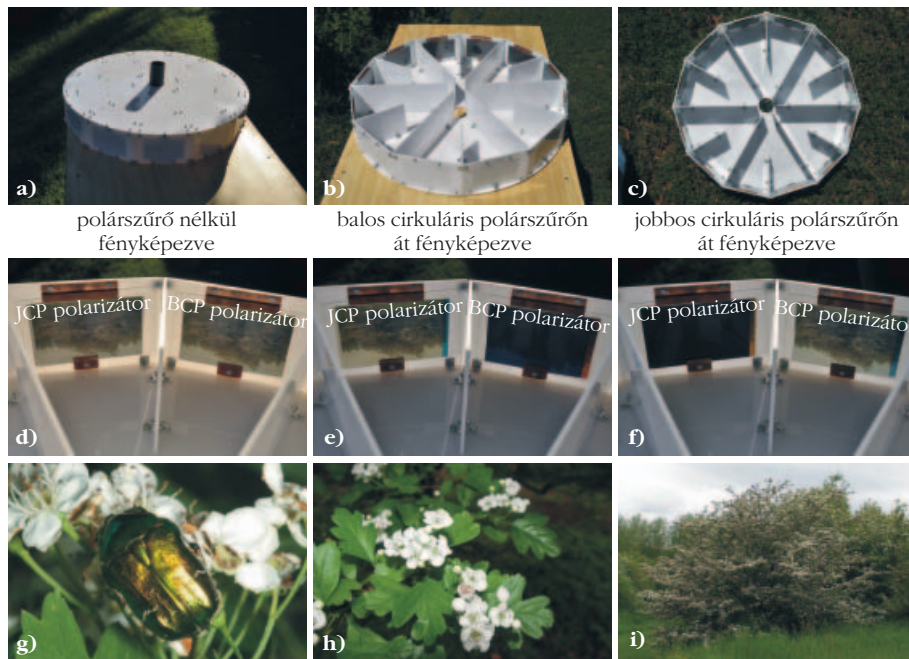
1. ábra. Szkarabeusz bogarak fotói (a, c, d: elpusztult egyedek; b: élő bogarak, amelyek almával táplálkoznak a műanyag tartóedényükben) és frissen vágott gazdanövényeik polárszűrő nélkül (középső oszlop), valamint balos (bal oszlop) és jobbos (jobb oszlop) cirkuláris polárszűrőn át fényképezve. A bal és jobb oszlopokban a kerek nyilak mutatják a szűrők által átteresztett poláros fény cirkulációs irányát. Fontos megjegyezni, hogy egy BC, illetve JC polárszűrő JCP-, illetve BCP-fényt ereszt át, míg megakadályozza a BCP-, illetve JCP-fény átjutását. a) *Cetonia aurata* (bal: nőstény, jobb: hím) egy szobai futóka (*Epipremnum pinnatum*) levélen, b) *Potosia cuprea*, c) *Anomala vitis*, d) *Anomala dubia*, e) galagonya (*Crataegus monogyna*) és vadrózsa (*Rosa canina*) levelek, valamint f) tizenkét különböző zöld növény levele: fekete nyár (*Populus nigra*), platán (*Platanus acerifolia*), lisztes berkenye (*Sorbus aria*), mezei juhar (*Acer campestre*), kislevelű hárs (*Tilia cordata*), madárberkenye (*Sorbus aucuparia*), vadcsereesznye (*Prunus avium*), ecetfa (*Rhus typhina*), mezei szil (*Ulmus campestris*), japánakác (*Sophora japonica*), szelídgesztenye (*Castanea sativa*), közönséges nyír (*Betula pendula*).



2. ábra. Az 1. kísérlet elrendezése felülnézetben.



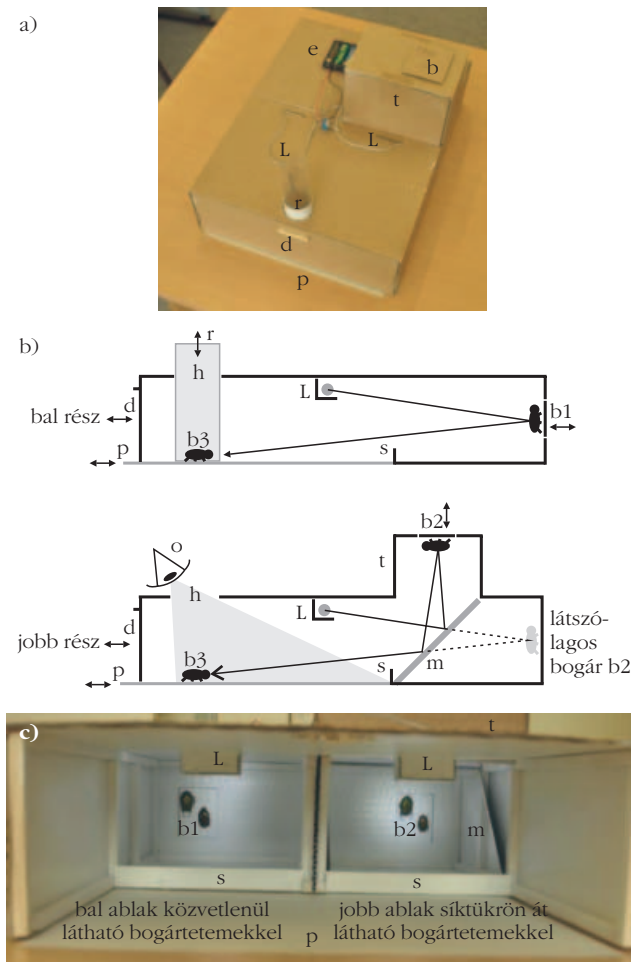
3. ábra. a–f) a 2. kísérletben használt teszt doboz fölépítése. a) a normál helyzetű teszt doboz, közepén a bogárindító hengerrel. b–c) a fejtetőre állított teszt dobozban jól megfigyelhető a 6 főszelet és a 12 ingerablak oldalnézetben (b), és felülnézetben (c). d–f) egy főszelet két JC és BC polárszűrővel ellátott ingerablakának fényképe. A fotózás során a fényképezőgép optikája előtt nem volt polárszűrő (d). Az ingerablakok fotózásakor a fényképezőgép optikája előtt egy BC polárszűrő (e), illetve egy JC polárszűrő (f) volt. g–i) egy virágzó galagonyán táplálkozó rózsabogár (g), egy virágzó galagonyára (h) és egy virágzó galagonyabokor (i) fényképe.



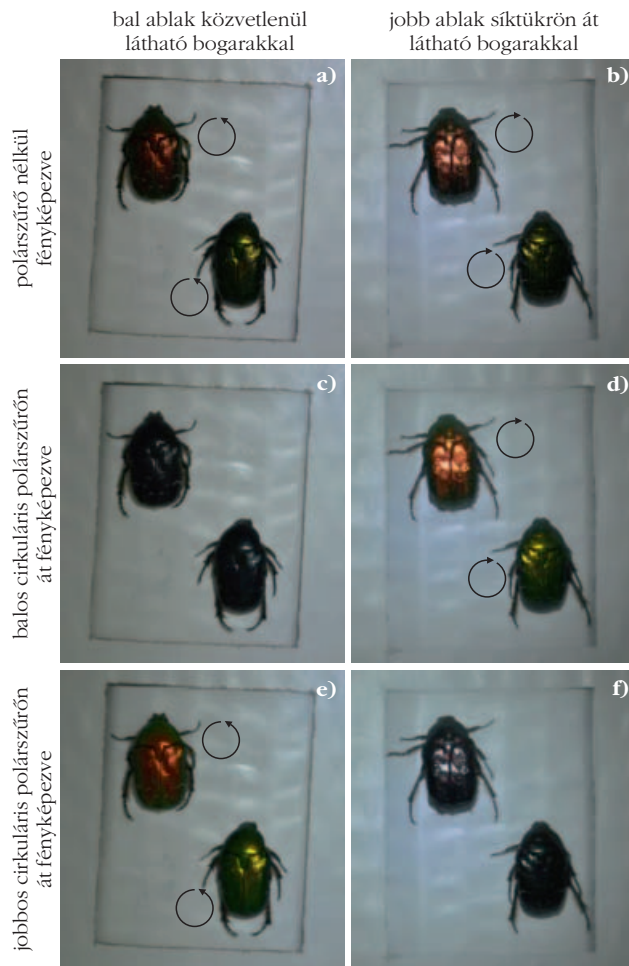
Jobbra fent és alul polárszűrővel valamint anélkül fényképezett színpompás szkarabeuszok (*Cetonia aurata*).



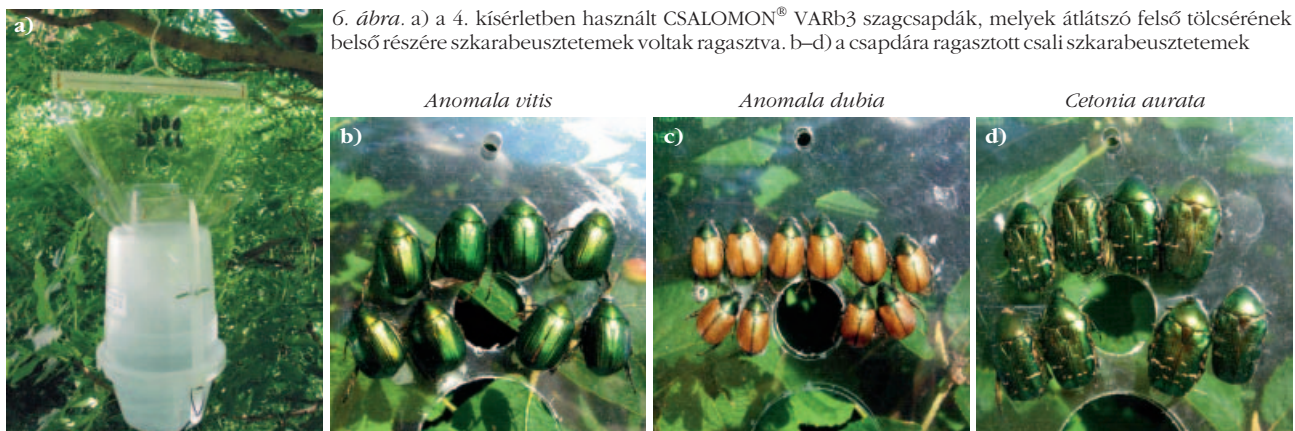




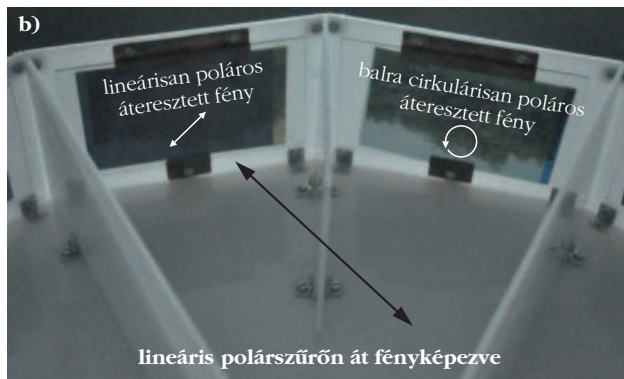
4. ábra. A 3. kísérletben használt teszt-doboz fölépítése. a) a teszt-doboz felülnézetben – d: ajtó, p: papírlap, r: bogárindító henger, L: fénydiódák, e: a fénydiódákat működtető elektromos elemek, t: torony, b: bogártetemeteket hordozó cserélhető ablak. b) a teszt-doboz bal és jobb felének keresztmetszeti rajza mutatja a belső szerkezetet. A kettősfejű nyílakkal jelzett részek kivethetők – h: a vizsgált bogár megfigyelését biztosító kerék kémlelőnyílás; b3: élő tesztbogár; s: a tesztkamrát lezáró kartonpapírgát; b1: a bogártetemeteket közvetlenül mutató lapka; o: megfigyelő személy; m: ferde síktükör; b2: a bogártetemeteket a ferde síktükörben mutató lapka JCP fényingere a toronyban lévő bogártetemetek kitenpáncéljáról származik, amely BCP-fény a tükröződés után JCP-fénnyé válik.



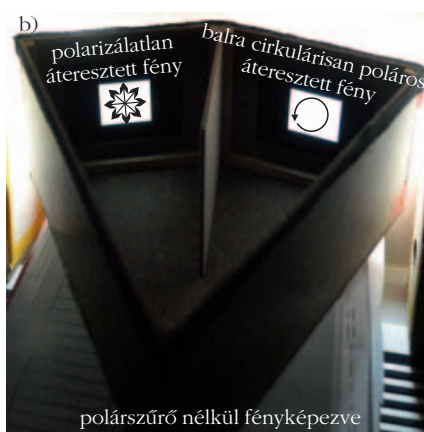
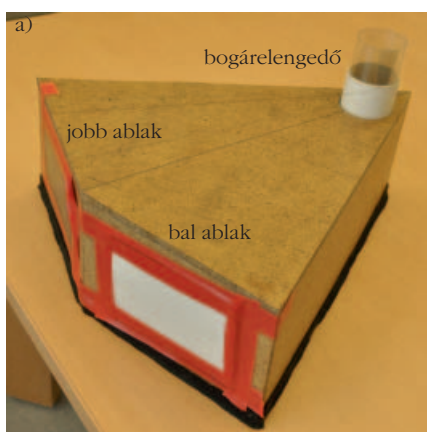
5. ábra. Polárszűrő nélkül készült fényképfelvételek a 3. kísérletben használt teszt-doboz bal és jobb ablakában látható csali bogártetemekről (a, b), valamint egy BC polárszűrőn (c, d) és egy JC polárszűrőn (e, f) készített fotók (e, f). A bal ablakban a közvetlenül látható bogártetemekről BCP-fény verődött vissza. A jobb ablakban egy ferde síktükörön át látható bogártetemek JCP fényingert szolgáltatnak. A kerék nyílak a polárszűrők által átteresztett poláros fény cirkulációs irányát mutatják. A c) képen a bogártetemek azért feketék, mert a JC polárszűrő elnyelte a róluk közvetlenül érkező BCP-fényt. Az f) képen a bogártetemek azért feketék, mert a BC polárszűrő elnyelte a róluk származó és a tükörbeli visszaverődés utáni JCP-fényt. A csali bogártetemeteket hordozó négyzetes ablakok oldalai vízszintesek és függőlegesek voltak. Az itt látható dőlés azzal magyarázható, hogy fotózáskor a fényképezőgép kissé ferde volt.



6. ábra. a) a 4. kísérletben használt CSALOMON® VARb3 szagcsapdák, melyek átlátszó felső tölcserének belső részére szkarabeusztetemek voltak ragasztva. b–d) a csapdára ragasztott csali szkarabeusztetemek



7. ábra. Az 5. kísérletben használt, itt fejtetőre állított teszt doboz egy főszejtora polárszűrő nélkül (a) és lineáris polárszűrőn át fényképezve, mely polárszűrő áteresztési irányát fekete kettősfejű nyíl mutatja. A teszt doboz minden főszejtorának két ablaka közül az egyik teljesen lineárisan poláros fényt (TLP) eresztett át (a polarizációirány  $45^\circ$  volt a vízszinteshez képest, amit duplavégű fehér nyíl jelez), a másik ablak pedig BCP-fényt.



8. ábra. Az előkísérletben és a 6. kísérletben használt teszt doboz. a) a teszt doboz kívülről nézve. b) a fejről állított teszt doboz belsejét polárszűrő nélkül nézve, az egyik ablak BCP-fényt eresztett át, míg a másikon keresztül polarizálatlan fény érkezett a dobozba. c) a fejről állított teszt doboz belseje egy BC polárszűrőn át fényképezve.



1. ábra. A polarizált fényel megvilágított CD-tokon megtört fény a hátsó felületről visszaverődve jut el a szemünkhöz. A Brewster-szögben választva megjelennek a feszültségoptikai csíkok.



2. ábra. A polarizált fény polarizációs kija névjegykártya-tartón áthaladva – a mechanikai feszültség függvényében – elfordul. Az üveglapról Brewster-szögben visszaverődő fényben láthatóvá válnak a csíkok.

## A tömegáram-különbségek hatásai

Az 1. táblázat mérési és számított adatai szerint a teljes üzemidők változtatásával – a szelep állásának és a behelyezett fúvóka típusának megfelelően – különböző lefutású működéseket tudunk megvalósítani. Mindegyik regresszív jellegű volt, ám különböző hosszúságú üzemidővel. A szelep állásától függően az eltérő üzemidők egyben különböző nagyságú közepes hajtóanyagáramot jelentettek (a legnagyobb számított érték a 0,053 kg/s volt).

Amikor a szelepet teljesen kinyitjuk, a 8. számú próbánál az a lehető legnagyobb tömegű levegőt tudta átengedni, így 165 s alatt adta le azt a levegőmennyiséget, amelyre a 4. számú próbánál kétszer ennyi időre volt szükség. A közepes tömegáram elérte 0,053 kg/s-ot, a kamranyomás a 35 bart és jelentősen, 8,4 cm-rel nyomódott össze az erőmérő rugója.

## A fúvócső legszűkebb keresztmetszet és típus hatásai

A fúvókacserékkel jól kimutathatóan változott a nyomás és a tolóerő, velük pedig a számított értékek. A legszűkebb keresztmetszetek különbségeit számba véve jól látszik, hogy a 7. számú próbánál alkalmazott 11 mm-es kettős kúp alakú fúvócsővel nem tudtuk azokat az értékeket elérni, mint a 8. próba 6 mm-esével. Az előbbi próbánál a kamranyomást nem lehetett 10 bar fölé emelni, ezért hiába jelentene a nagyobb (legszűkebb) keresztmetszet nagyobb tolóerőt (az  $F_t = p_{\max}^{kamra} A_{\min}$  összefüggés miatt), ha közben a fúvóka nincs „kihasználva” (a nyomás a torkolatban nem csökken a kritikus értékig sem). Ezáltal a 7. indítás tolóereje meg sem közelíthette a 8. mintegy 120 N-os értékét.

A 6. és 8. próba során a kamranyomás közel ugyanakkora volt, viszont a rugó összenyomódása, így a tényleges tolóerő jelentősen eltért egymástól (a 8. során

elérte a 118 N-t). A mérés körülményei megegyeztek, a fúvókák viszont kialakításukban különböztek.

35 bar kamranyomásig az eszköz – bizonyítottan – megbízhatóan alkalmas többféle – dinamikai, hőtani stb. – mérési feladat elvégzésére, ezáltal számos összefüggés gyakorlatban történő igazolására. A rugós erőmérő és a manométer segítségével alapvető mérések, következtetések is elvégezhetők. Kiindulásképpen bemutatható a paraméterek függése a manométer által mutatott nyomásértékektől. Magasabb szintű képzéseken a mérési adatokból akár olyan számítások is elvégezhetők, mint kiáramlási sebesség, fajlagos impulzus, hajtósugár energiája, hajtóanyagáram, a hőmérséklet csökkenése révén belsőenergia-változás számítása stb.

Egyéni hallásvédő eszközök biztosítása esetén a berendezés alkalmas kisebb csoportok előtt bemutató mérések megvalósítására, sőt egy komplex téma, a *sugárhajtás elmélete és gyakorlata teljes körű feldolgozására* és további vizsgálatok elvégzésére. Munkahelyemen mindezért rakétatechnikai szakképzések ez évi képzési programja keretében a rakétahajtóművek általános működésének demonstrálására hajtóművünket már több alkalommal beüzemeltük.

Láthattuk, hogy megfelelő nyomáson betáplált gázközeggel képesek vagyunk nagy energiatartalmú, ám robbanásveszélyes, vagy mérgező hajtóanyagokat helyesen megválasztva sikerül kialakítani a megfelelő üzemi viszonyokat.

## Irodalom

1. H. Mielke: *A rakétatechnika alapjai*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1962. 22. old.
2. U.o. 99. old.
3. Nagy E.: *Rakétajárművek*. Táncsics Könyvkiadó, Budapest, 1968. 15. old.
4. H. Mielke, id. mű. 90. old.

# HULLÁMCSORPORTOK, LECHER-VEZETÉK

Wiedemann László  
Budapest

Az utóbbi évtizedben a fizika iránti érdeklődés erősen megfogyatkozott a fiatalok körében. De a tendencia ennél bonyolultabb; a tehetség és az érdeklődés nagyban polarizálódott. Most is vannak kiváló tehetségek. Több sikeres országos verseny össze is fogja őket és itt indítást kapnak.

Az ilyen indításokhoz tartoznak az érdeklődést felkeltő, a tananyagon túllépő cikkek is, amelyek nemcsak a diáknak szólnak. Ennek adott hangot *Ujvári Sándor*; a *Fizikai Szemle* szerkesztőbizottságának egyik tagja a *Szemle* 2003/11. számában (405. oldal), amikor a Fizika Tanítása rovat tematikájáról szövegezt. A szigorú levezetéseket mellőzve, mégis az egyetemes törekedve igyekszik ez a cikk a szemléletformálást erősíteni.

## Hullámok

A tömegpont mozgásai közül a harmonikus rezgés központi szerepet tölt be az oktatásban. Egyenes menti mozgás esetén a dinamikai feltétel az  $F = -Dx$  erőtvény. Ebből adódik a mozgásegyenlet:  $x = A \sin \omega t$ , ahol  $x$  a kitérés,  $A$  az amplitúdó,  $\omega$  a körfrekvencia és  $t$  az idő. Az  $\omega$ -t kifejezhetjük az  $f$  frekvenciával:  $\omega = 2\pi f$ . Rugalmas közegben a rezgés terjedhet is, vagyis a rugalmas közeg egyes tömegpontjai az előzőtől időközönként átvesszik a rezgést.

Ha a homogén és izotróp közegben a rezgés terjedési sebessége  $v$ , akkor az így kialakult hullámmozgás  $y$  kitérése  $t$  időpontban a kezdőponttól  $x$  távolságban:

$$y = A \sin \omega \left( t - \frac{x}{v} \right).$$

A hullámterjedésre érvényes a  $v = \lambda f$  összefüggés, ahol  $\lambda$  a hullámhossz. Defináljuk a  $k$  hullámszámot:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}.$$

Ezt behelyettesítve kapjuk az  $x$  irányban terjedő végtelen hosszú, csillapítatlan hullám egyenletét, amely a harmonikus rezgés térbeli kiterjesztéseként értelmezhető:

$$y = A \sin(\omega t - kx). \quad (1)$$

A hullám terjedési sebessége, vagyis a fázissebesség, tehát egy adott rezgési állapot terjedési sebessége a fentiek alapján

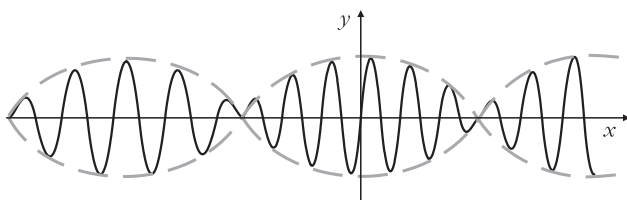
$$v = \frac{\omega}{k}. \quad (2)$$

A közeg paramétereitől függően lehetséges, hogy különböző hullámhosszúságú hullámok esetén maga a  $v$  terjedési sebesség is hullámhosszfüggő, így  $v = v(\lambda)$ , ezáltal (2)-ben  $\omega$  és  $k$  között már nemlineáris a kapcsolat, hanem  $\omega = \omega(\lambda)$  is fennáll, ezért általános esetben

$$v = \frac{d\omega}{dk}, \quad (3)$$

vagyis a körfrekvencia  $k$  szerinti deriváltját kell venni. A jelenség neve diszperzió. Itt jegyezzük meg, hogy fényterjedéskor a diszperzió alapvető fontosságú. Mivel a fény is hullám, elektromágneses hullám, például a prizával való színbontás a diszperzió alapján megy végbe, tehát a spektrum megjelenése ennek köszönhető. A fehér fény különböző hullámhosszúságú fénysugarak keveréke. Ezek a prizmán más-más sebességgel haladnak át, tehát a különböző színek más-más szög alatt jelentkeznek, mivel a törésmutató függ a hullámhossztól:  $n = n(\lambda)$ . A továbbiakban kidolgozták a diszperzió részletes elméletét (*Drude, Helmholtz, Lorenz*). Ez azon alapszik, hogy a beeső fényhullám kölcsönhatásba lép a közeg atomjaiban kváziasztikusan kötött elektronokkal. Ez az elektronpolarizáció. A közeg  $\epsilon$  dielektromos állandóját a beeső fény hullámhossza és a közeg atomjainak polarizáltsága együttesen határozza meg. A kváziasztikusan kötött elektronok a beeső, vagyis a gerjesztő fény hatására szekunder hullámokat bocsátanak ki. Az anyagban haladó fény ezen hullámok és a beeső fény interferenciája révén jön létre. Ezt

1. ábra. Az amplitúdók az  $x$  tengely mentén időben eltolódnak.



úgy vesszük figyelembe, hogy a Maxwell-féle hullámegyenletbe már a frekvenciafüggő dielektromos állandót helyettesítjük.

## Hullámcsoportok

Adott közegben egyszerre több hullám is terjedhet, ugyanakkor ezek interferálnak. Tekintsünk először két egyenlő amplitúdójú, egyenes mentén azonos irányban terjedő végtelen szinuszhullámot, amikor is  $\omega$  és  $k$  értékei csak kissé különböznek. Vizsgáljuk az eredő hullámot. Ez a következő:

$$y = A \sin(\omega_1 t - k_1 x) + A \sin(\omega_2 t - k_2 x). \quad (4)$$

Az argumentumokat  $\alpha$ -val és  $\beta$ -val jelölve, a (4) képlet így szól:

$$y = A(\sin\alpha + \sin\beta),$$

Így az eredő hullám, felhasználva a megfelelő trigonometriai azonosságot:

$$y = 2A \cos\left(\frac{\Delta\omega t - \Delta k x}{2}\right) \sin(\omega_{\text{ait}} t - k_{\text{ait}} x), \quad (5)$$

ahol  $\omega_{\text{ait}} = (\omega_1 + \omega_2)/2$  és  $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$ , hasonlóan  $k$ -ra is.

Ez úgy értelmezhető, hogy az eredő hullám jó közelítéssel valamelyik komponenshullám, amikor is annak  $A$  amplitúdója nem állandó, hanem az idő és hely függvényében az úgynevezett vivő hullám fázisához képest gyengén változik. Ez az amplitúdóhullám. Ez jól látható, ha (5)-ben a szinuszfüggvény előtti kifejezést egyetlen függvénynek tekintjük. Tehát egy amplitúdómodulált szinuszhullámot kaptunk. Most már kétféle sebesség jellemzi a hullámot: egyik a komponenshullámok közel azonos fázissebessége, a másik a moduláció sebessége, vagyis az amplitúdóhullám fázissebessége:

$$v = \frac{\omega_{\text{ait}}}{k_{\text{ait}}}, \quad c = \frac{\Delta\omega}{\Delta k}. \quad (6)$$

Azt mondjuk, hogy két hullámból összetett hullámcsoportot alkottunk és az amplitúdóhullám  $c$  sebessége a csoportsebesség. A kétféle sebesség általában nem azonos, például az amplitúdóhullámban egyik maximum siet vagy elmarad a vivő hullám egy adott maximumához képest. Szemléletesen úgy fogalmazhatunk, hogy a hullámcsoport a tömegpont rezgésekor adott körülmények között fellépő lebegés térbeli általánosítása. A legegyszerűbb hullámcsoportot az 1. ábra mutatja.

Ha a közegben diszperzió lép fel, akkor (6)-ban a  $c$  csoportsebesség  $\omega$  deriváltja:

$$c = \frac{d\omega(k)}{dk}.$$

Fizikai értelme ennek akkor van, ha sok hullámból állítjuk elő a hullámcsoportot, vagyis adott hullám-

sávból vesszük a komponenshullámokat. Ha ez a hullámsáv elég kicsi, akkor (6)-nak megfelelően egyetlen  $c$  értékkel tudjuk jellemezni a hullámcsoportot. Ha azonban a hullámsáv viszonylag széles, akkor a  $\Delta\omega$ ,  $\Delta k$  hullámsávokat kicsiny intervallumokra osztjuk és így minden rész-hullámsávintervallumhoz (6) segítségével más-más hullámcsoport és csoportsebesség tartozik. Így egy ilyen hullámcsoport az idő folyamán – ahogy mondjuk – „szétfolyik”, amelynek a fizika különböző területein nagy jelentősége van. A későbbiekben ennek megvilágítására több példa szolgál.

Alkossunk most (4) alapján sok komponensből épülő hullámcsoportot. Legyen  $n$  számú komponens, mindegyik amplitúdója azonos és az amplitúdók összege legyen véges  $A$  érték. Ekkor egy komponens amplitúdója  $A/n$ . Így most a (4)-gyel analóg hullámegyenlet:

$$y = \sum_{v=0}^{v=n} a_v \sin\left[\left(\omega_1 + \frac{\Delta\omega}{n} v\right)t - \left(k_1 + \frac{\Delta k}{n} v\right)x\right], \quad (7)$$

ahol  $v$  futóindex és  $a_v = A/n$ .  $\Delta\omega$  és  $\Delta k$  most is kicsiny értékek  $\omega$ -hoz és  $k$ -hoz képest. A (7) eredő argumentumát átírjuk, legyen

$$(\omega_1 t - k_1 x) + (\Delta\omega t - \Delta k x) \frac{v}{n} = a + b \frac{v}{n}.$$

Ezzel (7) ilyen lesz:

$$y = \sum_{v=0}^{v=n} \frac{A}{n} \sin\left(a + b \frac{v}{n}\right). \quad (8)$$

Képzeld el, hogy végtelen sok, egyenlő amplitúdójú komponenshullámból állítjuk elő a hullámcsoportot, tehát (7)-ben  $n \rightarrow \infty$ . Keressük az eredőt! Tehát most a (8) hullámfüggvény az eredő  $\Psi$ -re így néz ki:

$$\Psi = \lim y = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{v=0}^{v=n} \frac{A}{n} \sin\left(a + b \frac{v}{n}\right). \quad (9)$$

A (9)-ben adott határérték meghatározásához a (0,1) intervallumot beosztjuk  $n$  részre és egy  $\zeta$  változóval (9) átmegy egy integrálba:

$$\frac{1}{n} \rightarrow d\zeta \dots \frac{v}{n} \rightarrow \zeta.$$

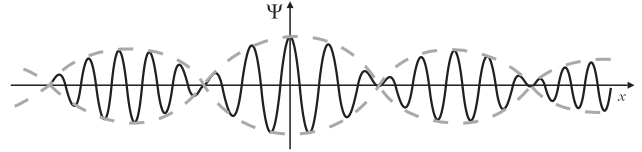
Így kapjuk, hogy

$$\Psi = A \int_0^1 \sin(a + b\zeta) d\zeta. \quad (10)$$

Ezt kiszámítva:

$$\Psi = A \frac{\cos a - \cos(a + b)}{b}.$$

Ismert trigonometriai azonosságot felhasználva, majd  $a$  és  $b$  kifejezését behelyettesítve, kapjuk a végtelen sok komponenshullámból álló hullámcsoport kifejezését:



2. ábra. Sok szuperponált szinuszhullámból előálló hullámcsoport.

$$\Psi = \left[ 2A \frac{\sin\left(\frac{\Delta\omega t - \Delta k x}{2}\right)}{\Delta\omega t - \Delta k x} \right] \sin(\omega_{\text{átl}} t - k_{\text{átl}} x), \quad (11)$$

ahol

$$\omega_{\text{átl}} = \frac{\omega_1 + (\omega_1 + \Delta\omega)}{2}$$

és hasonlóan  $k_{\text{átl}}$ -ra is.

Helyben és időben amplitúdómodulált csillapított hullámcsoportot kaptunk, ahol [...] kifejezés az amplitúdóhullám, amely  $c = \Delta\omega/\Delta k$  csoportsebességgel terjed. A (11)  $\Psi$  függvénynek sehol sincs szakadása, ahogy lennie is kell, hiszen a  $(\Delta\omega t - \Delta k x = 0)$  fázisállapotokban is a

$$\lim_{\alpha \rightarrow 0} \frac{\sin\alpha}{\alpha} = 1$$

ismert határérték alapján [...] =  $A$ . Mindezt a 2. ábra mutatja. A hullámcsoport az  $x$  tengely mentén az időben eltolódik.

A teljes általánosításhoz egy lépéssel még tovább megyünk. Lehetséges, hogy a komponenshullámok amplitúdói nem egyenlők, hanem a komponensek  $\lambda$  hullámhosszának függvényei. Ekkor bevezetjük az  $a(k)$  amplitúdósűrűséget ( $k = 2\pi/\lambda$ ), amely definíciószerűen az egységnyi hullámszámváltozásra jutó amplitúdót jelenti. Az  $a(k)$  sűrűségfüggvényt az adott fizikai helyzet alapján kell meghatározni. Például egy kifeszített húrt egyik végénél rá merőlegesen megpendítünk, vagy egy egyszerű áramkörre egyenfeszültséget kapcsolunk és a stacionárius állapot előtti helyzetet vizsgáljuk, vagyis a bekapcsolási feszültségimpulzust. Visszatérve az  $a(k)$  függvényre, mondhatjuk, hogy  $dk$ -ra jut  $a(k) dk$  amplitúdódifferenciál, és a teljes amplitúdót egy integrál adja:

$$\int_{k_1}^{k_1 + \Delta k} a(k) dk.$$

De nekünk a hullámcsoport  $\Psi$  függvénye kell, így (11) analogonja, a hullámcsoport általános leírása az alábbi:

$$\Psi = \int_{k_1}^{k_1 + \Delta k} a(k) \sin(\omega t - kx) dk, \quad (12)$$

ahol az  $a(k)$  sűrűségfüggvényt a probléma fizikai elemzése alapján ismerni kell. Másrészt  $\omega$ -ra nézve  $\omega = \omega(k)$ . Ha ez  $k$ -nak lineáris függvénye, akkor nincs diszperzió, ha nem, akkor van diszperzió. Ez esetben,

mivel  $\Delta k$  kicsi,  $\omega(k)$  sorba fejthető, ezt két tagig vesszük figyelembe:

$$\omega = \omega_1 + \frac{d\omega}{dk}(k - k_1). \quad (12.a)$$

Ha a (12.a) képletet (12)-be helyettesítjük, megkapjuk a  $\Psi$  hullámcsoport általános előállítását. Így például a (9)-ben adott hullámcsomag (12)-ből úgy adódik, hogy  $a(k) = \text{konstans}$ . Fontos megjegyezni, hogy (12.a)-ban a  $k$  szerinti derivált a  $k_1$  helyen tekintendő. Így kapjuk például az előbbi speciális eset (11) formulájában található  $\omega_{\text{ait}}$  kifejezést. A (12) formula akkor is alkalmazható, ha a hullámcsoport nem építhető fel a  $\Delta k$  intervallumból vett szinusz hullámok összegeként, hanem csak véges nagy  $\Delta k$ -ból. Ekkor ezt kis intervallumokra kell felosztani és külön-külön meghatározni a megfelelő (12) függvényt. Ez azt jelenti, hogy a vizsgált jelenség csak különböző csoportsebességű hullámcsoportok együttesével írható le. Így például egy kezdeti véges jel a terjedés folyamán egyre hosszabb lesz és alakját is változtatja. Ilyenkor mondjuk, hogy a hullámcsoport „szétfolyik”, amire számos példa van a fizikában.

A csoportsebesség másik előállítása is létezik, ez a Rayleigh-formula. Tekintsük a  $c = d\omega/dk$  alakképletet. Ha a definíciós egyenletben  $v = \omega/k$ -ban  $\omega = \omega(k)$ , akkor  $v = v(\lambda)$  is fennáll, tehát  $\omega = kv(\lambda)$ . Ezután mindkét oldalt  $k$  szerint deriváljuk és felhasználjuk a  $k = 2\pi/\lambda$  definíciót. Átalakítás után kapjuk a Rayleigh-formulát:

$$c = v - \lambda \frac{dv}{d\lambda}, \quad (13)$$

Ahol  $v$  a komponens hullámok fázissebessége.

## Példák, alkalmazások

### Kapilláris hullámok folyadékban

Ha vízzel telt tálba vizet csepegtetünk, diszkrét, egymás után induló felületi hullámok képződnek. Azt látjuk tehát, hogy hullámcsoportok terjednek a hullámforrástól radiálisan kifelé. Minden hullámcsoport, mivel közelítőleg csillapított szinuszrezgésekből áll, csak végtelen sok véges szélességű hullámsávból állítható össze. Ezért megfigyelhetjük, hogy terjedés közben hosszúságuk változik, „szétfolynak”. Ezek a felszíni, vagy kapilláris hullámok. Az elméleti számítás azt mutatja, hogy ezek  $v$  fázissebessége  $\lambda$ -függő, tehát diszperzió van, és cseppentéskor a keletkező hullámcsoport más sebességgel terjed, mint a komponenshullámok  $\Delta\lambda$ -ban adott  $v$  fázissebessége. A pontos képlet így szól:

$$v(\lambda) = \sqrt{\frac{2\pi\alpha}{\rho\lambda}},$$

ahol  $\alpha$  a folyadék felületi feszültsége,  $\rho$  a folyadék sűrűsége. Ha az előbbi képletet (13)-ban alkalmazzuk, átalakítások után szép és egyszerű formulát nyerünk:

$$c = \frac{3}{2}v.$$

Tehát a csoportsebesség más, mint a komponenshullámok fázissebessége, és mivel véges nagy hullámszámsávból épül fel a cseppentési folyamat, azért egyszerre több, különböző  $c$  sebességű hullámcsoport írja le azt. Ez a szétfolyás magyarázata.

### Energiaáramlás, információ átadás

Homogén, izotróp közeg energiát tárol, például rugalmas közeg mechanikai energiát, vagy szó lehet elektromágneses térről és abban a térenergiáról. Ha ismeretes a térenergia-sűrűség, ez alapja a közegben fellépő áramsűrűség meghatározásának. A vonatkozó hullámegyenlet (másodrendű parciális differenciálegyenlet) egyik alpmegoldása a végtelen hullámvonulatot leíró egyszerű hullámegyenlet, amelyet az (1) képlet ad meg. A hullámegyenlet tartalmazza a közegben haladó ilyen hullám sebességét, vagyis a fázissebességet. Például végtelen kiterjedésű, ideális rugalmas közegben haladó longitudinális hullám sebessége

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

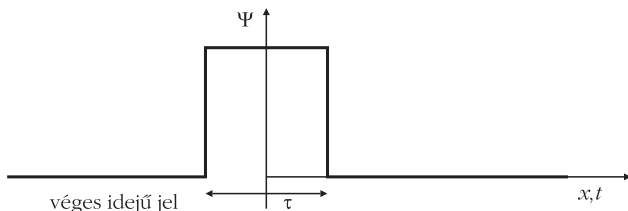
ahol  $E$  a közeg rugalmassági modulusza,  $\rho$  annak sűrűsége. Más esetben végtelen kiterjedésű, homogén, izotróp közegben a Maxwell-egyenletekből származtatható hullámegyenlet megadja az elektromágneses hullámok terjedési sebességét, a  $v$  fázissebességet:

$$v = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}},$$

ahol a számlálóban a vákuumbeli fénysebesség áll, a nevezőben a közeg relatív dielektromos állandója és mágneses permeabilitása. Eddig egy referencialhelyzetet írtunk le.

A valóságos helyzet ennél bonyolultabb. Csak véges kiterjedésű közegek léteznek, és információt csakis jelekkel vihetünk át. Így például véges hullámvonulatokkal, vagy akár egyszerű impulzusokkal vagy egyetlen impulzussal. Az első esetben a hullámegyenlet megoldásakor peremfeltételeket kell figyelembe venni, így végtelen sok szinuszfüggvény szuperpozíciójából kapjuk a megoldást, ami hullámcsoportot jelent. A második esetben viszont adott véges hosszúságú jel előállítása szinuszfüggvényekből eleve hullámcsoportra vezet, így (12)-t is felhasználva az adott jel  $c$  csoportsebességgel terjed. Ezért az átvitt energia áramsűrűsége  $j = cu$ , ahol  $c$  a csoportsebesség és  $u$  a közeg energiasűrűsége. Ettől függetlenül  $c$  egyenlő lehet a  $v$  fázissebességgel, ha nincs diszperzió.

Nézzünk konkrét esetet! Feszített rugalmas szálra rá merőlegesen hirtelen megütünk, tehát a szál rövid idejű impulzust nyer. Azt tapasztaljuk, hogy – a végen való visszaverődéstől eltekintve – egyetlen hullám vonul végig a szálon. A jelenség hullámcsoporttal írható le.



3. ábra. Véges idejű jel.

Újabb konkrét példaként feltöltött kondenzátor kisütésével feszültség-lökés is végigvonulhat valamilyen egyszerű áramkörön (3. ábra). Ha a jel alakja a 3. ábra szerinti, akkor annak időbeli lefolyása a Fourier-integrálok módszerével analitikusan megadható. Jelenleg nem hullámcsopotról van szó, hanem a jelfüggvény amplitúdósűrűségének meghatározásáról. Előbb, a megütött húr esetén a jelfüggvény argumentuma,  $\varphi = \omega(k)t - kx$ , erre nézve a jel lefutása, csupán a végeredményre szorítkozva:

$$f(\varphi) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\sin \omega \frac{\tau}{2}}{\omega} \cos(\omega t - kx) d\omega, \quad (14)$$

ahol  $\tau$  az impulzus ideje. Ha azonban az említett elektromos feszültségimpulzusról beszélünk, akkor a koszinuszfüggvény argumentumában csak  $\omega(t)$  szerepel és a vízszintes tengelyen a  $t$  idő áll, míg (14) rögzített  $t$  mellett a húron haladó hullámcsoportot írja le. Látható, hogy a Fourier-integrálok módszerével egyaránt rugalmasan kezelhetők az előbbi, egymástól távol eső problémák. Itt az amplitúdósűrűség játssza az összekötő szerepet.

A (12) általános formulával összehasonlítva, az amplitúdósűrűség mindkét esetben a fentiek szerint

$$a(k) = \frac{2}{\pi} \frac{\sin \omega \frac{\tau}{2}}{\omega}. \quad (14.a)$$

A frekvenciasáv, amelyből a (14) hullámcsomag összetevődik, (14.a) szerint végtelen. Számoláskor egyszerűbben lehet eljárni, mivel a (14.a)-ban adott amplitúdósűrűség  $\omega$ -val gyorsan csökken. Integráláskor elegendő egy intervallumot tekinteni, ahol  $a(k)$  még elég nagy. Ezt az  $\omega\tau/2 = \pi$  egyenletből határozhatjuk meg. Átalakítva;  $f\tau = 1$ , így a frekvenciára a felhasznált sáv-szélesség:  $\Delta f = 1/\tau$ . Például 0,001 s ideig tartó négy-szögimpulzus előállításához jó közelítéssel 0–1000 1/s frekvenciatartomány szükséges a (14) improprius integrál helyett. A (14) képletben az impulzus lefutásáról van szó, amit leválaszthatunk a kapcsolatos hullámcsopotról. Természetesen a szóban forgó hullámcsoport sebessége is meghatározható.

Még egy érdekes jelenség említhető meg a hullámcsoportokkal kapcsolatban. Ez a színkép-vonalak véges szélessége. Ideális monokromatikus fény spektroszkópban vékony vonalat hozna létre. Ez azonban nincs így, mivel emisszió esetén az atomban kvázi-elasztikusan kötött elektron a külső gerjesztés hatásá-

ra felvett energiáját véges idejű, csillapított szinuszrezgés formájában bocsátja ki, és a spektroszkóp ezt bontja fel. Ez viszont egy hullámcsoport, amely igen sok,  $\Delta\omega$  intervallumból felépülő tiszta szinuszrezgés eredője. Tehát egy spektrumvonal nem egyetlen meghatározott frekvenciájú rezgésből jön létre.

### Elektromágneses hullámok, Lecher-drótpár

Az elektromágneses hullámok egy konkrét alkalmazás kapcsán jól megragadhatók, a problémának egyben történeti érdekessége is van. Lecher 1890-ben végezte el e kísérleteket. A következőkben csak a Lecher-vezetékkel foglalkozunk.

Előzményként meg kell említeni, hogy az elektromágneses hullámokat a Maxwell-egyenletekkel maradéktalanul tárgyalhatjuk. Egy dimenzióban az  $E$  térerősségre vonatkozóan:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = \frac{1}{\epsilon \mu} \frac{\partial^2 E}{\partial x^2},$$

ahol  $\epsilon$  és  $\mu$  a közeg teljes dielektromos állandója és mágneses permeabilitása. A jobb oldal első tényezője a hullám terjedési sebességének négyzete,  $v^2$ . Hasonló képlet vonatkozik a mágneses térerősségre is. A hullámegyenlet egyik egyszerű megoldása síkhullámot ad, vagyis a terjedésre merőleges síkban adott időben ugyanazok az  $E$  és  $H$  értékek érvényesek. Fontos összefüggés érvényes ez esetben az  $E$  és  $H$  vektorok között; abszolút értékben

$$E(x, t) = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} H(x, t). \quad (15)$$

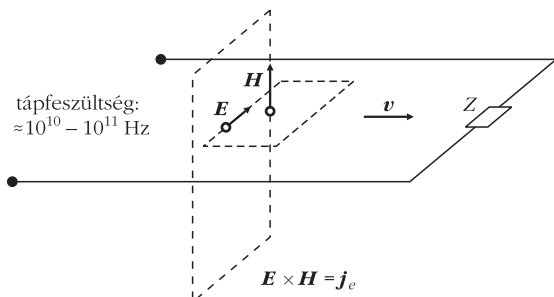
A Lecher-drótpár a tápvonalak alapesete, az elektromágneses energia továbbításának egyik módja. A fenti hullámegyenletekből levezethető a Lecher-vezeték-re vonatkozó speciális hullámegyenlet, a telegráf-egyenlet. Ennek megoldása azt adja, hogy a Lecher-tápvonalon, mint két egymáshoz közel fekvő párhuzamos vezető mentén elektromágneses síkhullámok terjednek, ha a tápvonal egyik végét időben szinuszfüggvény szerint változó nagyfrekvenciás feszültséggel tápláljuk. A vezetékek közötti térben az energia a Poynting sugárzási vektor szerint terjed síkhullám formájában úgy, hogy  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{H}$ ,  $\mathbf{v}$  vektorok jobbsodrású rendszert alkotnak és a  $v$  terjedési sebesség:

$$v = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}},$$

ahol a nevezőben a hosszegységre eső inductivitás és kapacitás szerepel. Nagy frekvenciákra ez azonos a

$$v = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}}$$

értékkel. A tápvonal mentén a vezetékek átellenes pontjai között a feszültség és egy-egy vezetékszaka-



4. ábra. A Lecher-vezeték.

szon pedig az áramerősség periodikusan változik. Ez azt mutatja, hogy a vezeték mentén elektromágneses hullámok terjednek. Érdekességképpen megemlítenődő, ha kvázistacionárius feszültséggel (például hálózati 50 Hz) tápláljuk a Lecher-vezeték egyik végét, akkor adott pillanatban a vezeték mentén mindenhol ugyanaz az áramerősség, tehát nem alakul ki elektromágneses hullám. Fontos ezen átmenet tudatosítása: csak nagyfrekvenciás gerjesztés esetén jönnek létre az elektromágneses síkhullámok. Ha a tápvonal szabad végeit egy fémlappal lezárjuk, akkor állóhullámok jönnek létre. A tápvonalra jellemző az úgynevezett hullámellenállás, általában egy komplex szám, amely adott pillanatban a két vezeték közt mérhető helyi feszültség és helyi áramerősség viszonya. Sokszor az ideális tápvonal esete tájékoztat a vezeték fő tulajdonságairól. Ideális a tápvonal, ha a vezetékek  $R$  ohmos ellenállásától és a beágyazó dielektrikum  $G$  elektromos vezetőképességétől eltekintünk. Ez esetben a hullámellenállás igen egyszerűen adható meg, nem komplex, a helytől és a gerjesztési frekvenciától független:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}},$$

ahol  $L_1$  és  $C_1$  ismét az egységre vonatkoztatott értékek. Érdekes, hogy az illesztésre nézve ugyanaz a törvényszerűség, mint a kvázistacionárius feszültséggel gerjesztett hálózatoknál; ha ugyanis a tápvonal szabad végeit (ideális esetben) éppen  $Z_0$  külső ellenállással zárjuk, a kicsatolt energia maximális lesz. Minél nagyobb a gerjesztő frekvencia, annál inkább kizárólagosan a Poynting-vektorral megadott energiasűrűséget szállítja a tápvonal. A pontos leíráshoz figyelembe kell venni a

$$j_e = \frac{\partial D}{\partial t}$$

eltolási áramsűrűséget, ahol  $D = \epsilon E$ . E tárgyalás eredményét mutatja a 4. ábra.

Általános esetben a síkhullám fázissebbsége  $\omega$ -függő, vagyis a gerjesztési frekvenciától függ, tehát a Lecher-féle dróthullámok diszperziót mutatnak. Ez fontos következménnyel jár. Ha ugyanis különböző impulzusok, véges hosszúságú jelek formájában viszünk át energiát – ez történik például a telefonvezetékknél –, akkor az átvitel hullámcsoportok formájában történik, és mivel széles hullámsávból épül fel a hullámcsoport, ezért terjedés közben „szétfolyik”, a jel alakja torzul. Így például telefonbeszélgetéskor a torzítás lehetetlenné tenné a jó minőségű átvitelt, ha nem alkalmaznának szakaszonként korrekciót (Pupin-tekerecs).

#### Irodalom

1. B. Baule: *Die Mathematik des Naturforschers und Ingenieurs*, II. Hirzel Verlag, Leipzig, 1956.
2. Budó Ágoston: *Kísérleti Fizika II*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1968.
3. Karl Luchner: *Aufgaben und Lösungen*. B.I. Hochschultaschenbücher Verlag Mannheim/Zürich 1966.
4. Novobátczy K., Neugebauer T.: *Elektrodinamika II-IV*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1951.
5. Simonyi Károly: *Elméleti Villamosságtan*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1958.

## IX. WIGNER JENŐ ORSZÁGOS FIZIKAI FELADATMEGOLDÓ VERSENY

Sándor-Kerestély Ferenc  
Békéscsabai Evangélikus Gimnázium

A Békéscsabai Evangélikus Gimnázium természettudományos munkaközössége 2012. február 24. és 26. között kilencedik alkalommal szervezte meg az evangélikus iskolák Wigner Jenő Országos Fizikai Feladatmegoldó versenyét. A verseny célja a tanulók problémamegoldó képességének fejlesztése, a kísérletezés örömeinek megélése, a mért eredmények feldolgozása, törvényszerűségek megfogalmazása, a fizikatanár kollégák szakmai továbbképzése, a versenyzőknek tartott előadásokkal a tágabb ismeretek megszerzése.

A versenyt az evangélikus, protestáns és határon túli<sup>1</sup> iskoláknak hirdettük meg, amelyen az iskolák évfolyamonként egy-egy versenyzővel vettek részt.

Az első napon a versenyzőket csapatokba sorsoltuk (véletlenszerűen 4 fő/csapat). A csapatok három

<sup>1</sup> A versenyen az evangélikus iskolákon kívül részt vettek a szomszéd megyék protestáns iskoláinak (Bethlen Gábor Református Gimnázium – Hódmezővásárhely, Kecskeméti Református Gimnázium, illetve a határon túlról Kárpátaljáról a Nagyberegi Református Gimnázium és a Kolozsvári Református Gimnázium) diákjai.



műhelyfoglalkozáson vettek részt úgy, hogy óránként cseréltek a műhelyek között. Az 1. műhely: fénytán – vezetője *Molnár Miklós*, a 2. műhely: mechanika – vezetője *Berec János* és *Nagy Tibor*; a 3. műhely – vezetője *Jarosievitz Zoltán* voltak.

A második nap a versenyzők három órás feladatmegoldáson vettek részt. Közben a tanár kollégák szakmai továbbképzése zajlott. Ebéd után a dolgozatok javításával egyidőben a diákok és a tanár kollégák részére *Sükösd Csaba*, *Jarosievitz Beáta* (mindketten Budapestről), *Kovács Zoltán* (Kolozsvárról) és *Zombori Ottó* (Szegedről) érdekes előadásai tették izgalmassá a délutánt.

Minden kategóriában nyolc feladattal kellett megbirkózni: az első négy feladat 11-11 pontot, az 5–8. feladat (tesztkérdések) helyes megoldása 4-4 pontot ért (helyes válaszonként 1-1 pont), azaz maximálisan 60 pontot lehetett elérni a rendelkezésre álló 180 perc alatt. A feladatokat *Molnár Miklós* és *Varga Zsuzsanna*, a Szegedi Tudományegyetem tanárai állították össze.

Az alábbiakban a számolásos, kísérleti feladatok szövegét közöljük. A megoldások és a tesztkérdések a verseny honlapján<sup>2</sup> megtalálhatók.

## A számolásos feladatok

### 9. osztály: Mechanika

1. Egy kisméretű test  $k$  kerületű körpályán mozog. Az alábbi táblázatban feltüntettük a test sebességét egyenlő időközönként a megtett  $s_w$  út (ív hossz) függvényében:

$s_w$	0	0,125k	0,233k	0,325k	0,4k	0,458k	0,5k
$v$	$v_0$	$7 v_0/8$	$3 v_0/4$	$5 v_0/8$	$v_0/2$	$3 v_0/8$	$v_0/4$
$t$ (r. e.)	0	$\Delta t$	$2\Delta t$	$3\Delta t$	$4\Delta t$	$5\Delta t$	$6\Delta t$

a) Ábrázold a test sebességét a megtett út függvényében!

b) Milyen mozgást végez a test?

c) A teljes körpálya hány százalékát teszi meg még a test, amíg megáll?

2. Egy hőlégballon 18 km/h sebességgel emelkedik (függőlegesen). Amikor a hőlégballon egy adott magasságban van a talaj felett, a ballon utasa kiejt a ballon kosarából egy testet. A test a kiejtés után 10,5 s elteltével ér a talajra.

a) Milyen magasan volt a hőlégballon a földfelszín fölött abban a pillanatban, amikor a testet az utas kiejtette?

b) Mekkora a test sebessége akkor, amikor a test kidobáskori magasság felénél tartózkodik?

c) Mekkora sebességgel ér a test a talajra?

A légellenállástól tekintünk el,  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

3. Egy állandó keresztmetszetű, egyenes henger alakú főzőpohárba 9,7 cm magasságig vizet töltünk. Tegyük a vízbe egy keményfából készült golyót! Ekkor a vízszint a főzőpohárban 11,6 cm magasan áll. Ezután egy nagyon vékony fémtű segítségével a golyót teljesen a víz felszíne alá nyomjuk. Most a főzőpohárbeli vízszint 12,2 cm magasságban áll be.

Mekkora a golyó sűrűsége? (A víz sűrűsége  $1000 \text{ kg/m}^3$ .)

4. Egy kis méretű, hasáb alakú testet húzunk vízszintes talajon. A test tömege  $m = 2 \text{ kg}$ . Ha a testet a talajjal párhuzamos erővel, egyenletesen húzzuk, akkor a mozgáshoz szükséges erő nagysága  $2 \text{ N}$ .

a) Mekkora gyorsulással mozog a testet, ha a testet egy, a vízszintessel  $30^\circ$ -os szöget bezáró, állandó nagyságú  $F = 5 \text{ N}$ -os erővel húzzuk? ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

b) Mekkora munkát végez a súrlódási erő  $1,4 \text{ m}$  nagyságú úton az  $5 \text{ N}$ -os húzóerő esetén?

c) Mekkora munkát végez az  $1,4 \text{ m}$ -es elmozdulás során a testre ható gravitációs erő?

### 10. osztály: Hőtán

1.  $3,5 \text{ g}$  tömegű ideális gáz hőmérséklete a  $C$  állapotban  $127^\circ \text{C}$ . Táblázatba foglaltuk a gáz öt állapotában a gáz nyomását és a hozzá tartozó térfogatát.

az állapot jele	$A$	$B$	$C$	$D$	$E$
$V$ (liter)	9,7	29,15	193,9	581,6	969,7
$p$ ( $10^3 \text{ Pa}$ )	600	200	30	10	6

a) Milyen gázzal lehet szó?

b) Ábrázold a gáz nyomását a térfogat függvényében!

c) A grafikon alapján milyen állapotváltozást valószínűsíthetsz? Igazold állításodat számítással vagy grafikusán!

d) Mennyi a gáz belső energiájának változása, miközben a gáz az  $A$  állapotból az  $E$  állapotba jut?

e) Becsüld meg, hogy mekkora munkát végez a gáz, miközben az a  $D$  állapotból az  $E$  állapotba jut?

2. Egy ember fát fűrészel. A fűrész  $75 \text{ N}$  nagyságú erővel húzza. A fűrész egyszeri elmozdulásának nagysága  $35 \text{ cm}$ .

a) Mekkora munkát végez az ember 30 darab farönk elfűrészelése során, ha egy-egy farönköt  $120$  húzással tud elvágni?

b) Mekkora hőmérsékletű volt kezdetben az a  $0,5 \text{ l}$  térfogatú, végállapotában  $60^\circ \text{C}$  hőmérsékletű víz, ha annak belső energiája annyival növekedett, mint amekkora az ember munkavégzése volt a fűrészelés során? (A víz fajhője  $4200 \text{ J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ .)

3. Előfordul, hogy a tengeráramlatok az Északi sark felől nagy jéghegyeket hoznak magukkal délre. Legegyen egy ilyen jéghegy  $120 \text{ km}$  hosszú,  $35 \text{ km}$  széles,  $230 \text{ m}$  vastag, hőmérséklete  $0^\circ \text{C}$ .

<sup>2</sup> <http://begart.hu/index.php/hirek/528-ix-wigner-jeno-orszagos-fizika-feladatmegoldo-verseny>

a) Mennyi hő szükséges a jéghegy megolvasztásához? A jég sűrűsége  $917 \text{ kg/m}^3$ .

b) Magyarország villamosenergia-termelése 2011-ben  $36,266 \text{ TWh}$  volt. Ha minden évben ezt az energiát teljesen a jéghegy olvasztására fordítanánk hány év alatt olvadna föl a jéghegy?

4. Egy hengeres edényben, amely  $2 \text{ dm}^2$  alapterületű,  $10 \text{ cm}$  magasan  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékletű víz van. A víz tetején a felszínnel érintkező, könnyen elmozduló és súlytalan dugattyú van. A vizet forralni kezdjük.

a) Mennyi víz forrott el, ha a dugattyú  $30 \text{ cm-t}$  emelkedett?

b) Mennyi hőt vett fel a rendszer?

(A víz sűrűsége  $100 \text{ }^\circ\text{C-on}$   $958 \text{ kg/m}^3$ , a vízgőz sűrűsége  $0,958 \text{ kg/m}^3$ .)

## 11. osztály:

1. Az  $1200 \text{ ohm}$ os tolóellenállást feszültségosztóként alkalmazzuk. A tolóellenállás két kivezetésére  $12 \text{ V}$  nagyságú feszültségforrást kötünk. A tolóellenállás bal oldali csatlakozója és a csúszka közé egy  $R_x$  ellenállást kötünk. Egy ideális feszültségmérővel mérjük az ezen ellenálláson eső  $U_x$  feszültséget. Táblázatba foglaltuk a tolóellenállás bal oldali vége és a csúszka közötti  $R_{be}$  ellenállásrész értékének függvényében az  $R_x$  ellenálláson eső  $U_x$  feszültséget.

$R_{be} (\Omega)$	100	300	500	700	900	1100
$U_x (\text{V})$	0,686	1,412	2,034	2,847	4,235	7,543

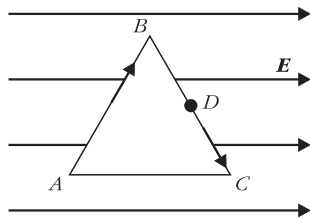
a) Készítsd el a kapcsolási rajzot!

b) Ábrázold a táblázatbeli értékpárokat egy koordinátarendszerben!

c) Határozd meg az  $R_x$  ellenállás értékét!

d) Mekkora feszültséget mutat a feszültségmérő, ha  $R_{be} = 600 \Omega$ ?

2. Homogén elektromos mezőben egy elhanyagolható tömegű,  $50 \mu\text{C}$  nagyságú pozitív töltés  $0,06 \text{ J}$  munka árán jut el egy  $6 \text{ cm}$  oldalhosszúságú, egyenlő oldalú háromszög  $AB$ ,  $BC$  oldalai mentén  $A$ -ból  $C$ -be. (Az  $AC$  oldal párhuzamos a térerősségvonalakkal.)



a) Mekkora a mező térerősségének nagysága?

b) Mekkora a  $C$  pont potenciálja az  $A$  pontéhoz képest?

c) Mekkora munka árán jut el a töltés az  $A$  pontból az  $ABD$  úton a  $BC$  oldal  $D$  felezőpontjába?

3. Nagy kiterjedésű, függőleges helyzetű vezető síklapok egymástól  $30 \text{ cm}$  távolságra vannak. A lapok között  $10 \text{ cm}$  hosszú fonálon  $1 \text{ g}$  tömegű, töltött test függ. A síklapok között a feszültség  $6000 \text{ V}$ , a kis test

töltése  $5 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ . A lapokra merőleges pályasíkból a kis testet körmozgásba hozzuk. A legelső helyzetben a test sebessége  $5 \text{ m/s}$ . ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

a) Mekkora a test sebessége a legfelső helyzetben?

b) Mekkora a test maximális sebessége?

c) Mekkora a test minimális sebessége?

d) Mekkora a fonálban ébredő erő a minimális sebesség helyzetében?

4. Egy autóakkumulátort töltés céljából  $13 \text{ V}$  elektromotoros erejű és  $0,09 \Omega$  belső ellenállású töltőre kapcsolunk. Az akkumulátor belső ellenállása  $0,01 \Omega$ , elektromotoros ereje  $12 \text{ V}$ .

a) Mekkora a töltőáram?

b) Mennyi a töltő által leadott teljesítmény?

c) Mekkora az akkumulátor töltésére fordított teljesítmény?

## 12. osztály

1. Transzmissziós (diffrakciós) optikai rács rácsállandóját akarjuk meghatározni egy mérőszorozat alapján. Egy  $668,9 \text{ nm}$  hullámhosszúságú fényt kibocsátó diódalézerrel világítjuk meg a rácsot. Az elhajlási képet a rácsról  $L$  távolságra elhelyezett ernyőn fogjuk fel. MÉRJÜK a direkt sugár fényfoltjától jobbra, illetve balra létrejövő első elhajlási maximumok  $y$  távolságát. A táblázatban feltüntettük az összetartozó  $L$  és  $y$  értékpárokat.

$L (\text{cm})$	20	25	30	35	40	45	50
$y (\text{cm})$	5,39	6,74	8,11	9,46	10,78	12,16	13,51

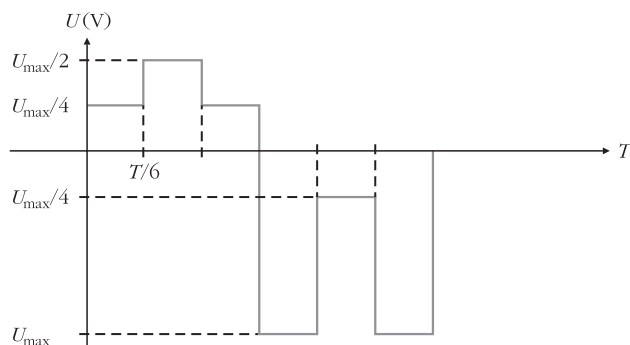
a) Mekkora adódik a mérőszorozat alapján a rács rácsállandója?

b) Hány karcolás (vonal) található milliméterenként a rácsot?

c) Mekkora a távolság az ernyőn a direkt sugár fényfoltja és a jobbra létrejövő első elhajlási maximum között  $60 \text{ cm-es}$  ernyő-rács távolság esetén?

2. Az alábbi ábra egy speciális alakú váltakozó feszültség időbeli lefolyását mutatja. Ezt a váltakozó feszültséget egy  $200 \Omega$ -os ellenállásra kapcsoljuk.

Határozd meg az ellenálláson  $48 \text{ perc}$  alatt termelődött hő nagyságát! A feszültség maximális értéke  $230 \text{ V}$ , a periódusidő  $0,018 \text{ s}$  (csak az első teljes periódust tüntettük fel az ábrán).



3. Kör keresztmetszetű hengeres vasmagot egy kör alakú vezetőkeret vesz körül, amelynek átmérője csak igen kevésbé nagyobb a vasmag átmérőjénél. A vezetőkeret 0,3 mm sugarú,  $1,75 \cdot 10^{-8} \Omega$  fajlagos ellenállású huzalból készült. A vezetőkeret átmérője 15 cm. A vasmagban a fluxus egyenletesen változik. A vezetőben 10 A erősségű áram keletkezik.

a) Hány wéber a mágneses fluxus megváltozása 5 másodperc alatt?

b) Mennyi hő fejlődik a keretben 0,15 perc alatt?

4. A tórium-232 izotóp 3,98 MeV-os alfa-sugárzást bocsát ki. A felezési ideje  $1,4 \cdot 10^{10}$  év. Egy kaloriméterbe, amelynek a hőkapacitása  $5 \text{ J/}^\circ\text{C}$ , bizonyos mennyiségű ilyen tóriumot helyeztünk.

Mekkora volt a tórium-izotóp mennyisége, ha a kaloriméter hőmérséklete 20 óra alatt  $0,3 \text{ }^\circ\text{C}$ -kal emelkedett? (Számításaid során használhatod a  $2^{-x} \approx 1 - x \cdot \ln 2$  közelítést!)

## A győztesek és köszönetnyilvánítás

Az egyes évfolyamok győztesei, iskolái és a diákokat felkészítő fizikatanárok a következők:

A 9. osztályosok versenyében 1. helyezett lett *Csáthó Botond*, a debreceni Dóczy Református Gimnázium tanulója, felkészítő tanára *Tófalusi Péter*.

A 10. osztályosok versenyét *Kacz Dániel* (Bonyhád, Petőfi Sándor Evangélikus Gimnázium, *Wiandt Péter*) nyerte meg.

A 11. osztályosok kategóriájának győztese *Takács Gábor* (Bonyhád, Petőfi Sándor Evangélikus Gimnázium, *Wiandt Péter*).

A 12. osztályosok között győzött *Ercsey Tamás* (Hódmezővásárhely, Bethlen Gábor Református Gimnázium, *Nagy Tibor*).

Köszönet illeti a felkészítő tanárokat, akik – időt, energiát nem kímélve – elhozták a diákokat a versenyre.

A verseny lebonyolításában az alábbi kollégák vettek részt: *Hevesi Krisztina*, *Vozár Andrea*, *Balog László* és *Fekete Ilona Fazekas Attiláné*, akiknek munkáját külön köszönjük.

A verseny támogatását köszönjük az Országos Evangélikus Egyháznak és az iskola vezetőségének.

A verseny elérte kitűzött célját. A kísérletet elvégzése, a problémamegoldás adhatja azt a többletet, ami karöltve a fizika iránti elkötelezettséggel a pályaválasztásban nyújthat segítséget.

# DEMONSTRÁCIÓS MECHANIKAI MÉRÉSEK DIGITÁLIS TECHNOLÓGIÁVAL

Pál Mihály

Bocskai István Gimnázium, Szerencs

Néhány évvel ezelőtt *Szakmány Tibor* és *Papp Katalin* cikke keltette fel figyelmemet, amelyben a digitális fényképezőgép tanórai alkalmazását mutatták be. Kipróbáltam és továbbgondoltam a lehetőségeket annak érdekében, hogy demonstrációs órai mérést végezhessünk, de mindenképp egy tanóra alatt. Ennek eredményeit szeretném itt megosztani.

## A mérés eszközei

Sok próbálgatás után a következő eszközöket használtam demonstrációs mechanikai mérésre: digitális fényképezőgép, számítógép, projektor. Az eszközválasztásban három szempont játszott fő szerepet:

- gyors elvégezhetőség
- látványos legyen
- be tudjam vonni a mérésbe a diákokat

## Gyors elvégezhetőség

A mérés nem veheti el a tanóra nagy részét, mert ezt a tananyag mennyisége nem engedi meg. A gyakorló tanárok tudják: nem bízhatjuk csak a diákság szorgalmára (és érdeklődésére), hogy a bevezetett fogalma-

kat, összefüggéseket otthon maguktól megértsék és alkalmazzák, ezért a tanórai idő kincs. Több publikáció is található már az interneten, amelyben digitális fényképezőgép segítségével elemezznek mozgásokat. Úgy látom, ezek közös gyökere a Dede-Isza-féle, a középiskola 2. évfolyamára írt fizikakönyv. Ebben a szerzők a mozgásokat stroboszkópos felvételeken keresztül elemzik. Az akkori fényképezési technológiát jól kihasználták, de a módszer hátránya, hogy nem lehet a kísérlet után rögtön vizsgálni a felvételeket. A már említett dolgozatokban reprodukálni igyekeznek a stroboszkópos felvételeket, mégpedig oly módon, hogy képszerkesztő programok segítségével egy kép-pé szerkesztik a digitálisan felvett videó képkockáit. Ez a szerzők szerint is több órát vehet igénybe, nem lehet a felvételt ugyanazon az órán kiértékelni. Ezért próbálkoztam az alább bemutatandó módszerrel.

## Látvány

A látványosságon nem a cirkuszi show-t értem, hanem a korosztály számára megszokott és elvárt vizuális technológia alkalmazását. Tapasztalataim szerint nem lehet sikert elérni a taneszközpiacon elterjedt apró, az iskolapadból alig látható műanyag műtűrők-

kel. Ezek demonstrációra alkalmatlanok. E helyett a felvételek képkockáit projektorral kivetítve, azt mindenki számára jól láthatóvá tehetjük. A diákoknak az is tetszik, hogy magukat látják kísérletezés közben, mintha valamelyik tudományos tv-csatornát néznék.

### A tanulók bevonása a mérésbe

A tanulók mindennapjaiban szerepel a digitális fényképezőgép, a memóriakártya, a számítógép. Ezek mind olyan tárgyak, amelyek használata tőlük már nem igényel külön figyelmet, sőt jogosan elvárják, hogy mi is ezeket alkalmazzuk. Lehet milliméterpapíron is ábrázolni, és lehet Excel program segítségével is, a diák az utóbbit választja, mert azt jobban ismeri. A cikkben szereplő jelenségeket digitális fényképezőgéppel rögzítjük, a memóriakártyát áttesszük a számítógépbe, médialejátszó programmal lejátszuk, megállítjuk, elindítjuk, léptetjük. Mind olyan tevékenységek, amelyek boldogan jelentkeznek a tanulóknak, és ezek mellett még a kísérletet is ők végzik. A tanárnak csak előkészítő és irányító szerep jut. A mérések kiértékelését – az órán látottak alapján – otthon önállóan is elvégezhetik, csak a fájlt kell közzé tenni.

Az egyenes vonalú mozgások vizsgálatához egy szalagfüggönysínt, rajta egy csapágygolyót, ütközések elemzéséhez a mechanikai készlet sínjét és kiskocsijait alkalmazom. A síneket helymeghatározás céljából beosztással láttam el, oldalára papír mérőszalagot ragasztottam.

A digitális fényképezőgépek úgy készítenek videót, hogy másodpercenként meghatározott számú képet – úgynevezett frame-et – rögzítenek. Minden fényképezőgép leírásában megtalálható ez a képszám, amely függ a képfelbontástól is. Nekem egy alsó kategóriás kompakt gépem van, ezen  $640 \times 480$  felbontás esetén 30 fps (azaz másodpercenként 30 frame-et készít) beállítás található. Tapasztalataim szerint ez elegendő. Ellenőriztem, hogy a frame-ek tényleg egyenletes időközönként készülnek-e. Ehhez felvétel készítem egy éppen futó digitális stopperrel, és olyan médialejátszóval játszottam le, amely képes frame-enként léptetni. Bármely időpillanatban indítottam el a kockázást, 30 kocka alatt mindig 1 másodperc telt el, 3 kocka alatt pedig 0,1 másodperc. Ez azt jelenti, hogy a digitális fényképezőgép valóban 30 fps sebességgel és egyenletes időközönként készíti a frame-eket. (Ha mégsem teljesen egyenletesek az időközök, az sem fog problémát okozni.) A videófájl lejátszásának lényege a kockázás. Rengeteg ilyen lejátszó program létezik, én a VLC médialejátszó ingyenes verzióját használom. Tudom, hogy 1 kocka  $1/30$  másodperc, így külön időmérésre nincs szükség.

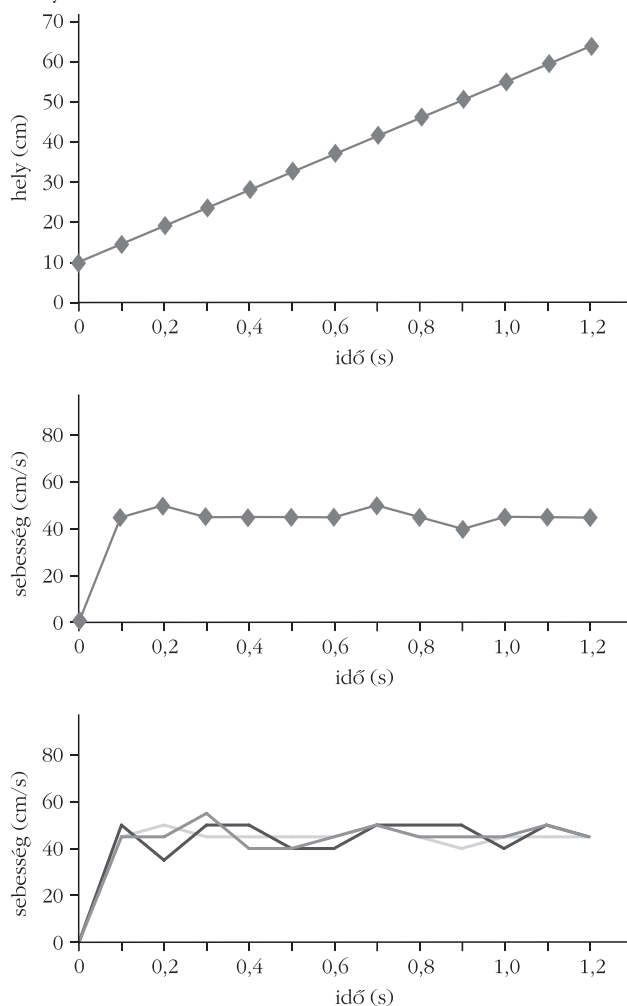
### Egyenes vonalú egyenletes mozgás

A csapágygolyót végig gurítjuk a vízszintesen elhelyezett sínen, a mozgást felvesszük, majd projektoron keresztül léptetve lejátszuk (5 perc!). A mozgás se-

bessége határozza meg, hogy hány képkockánként olvassuk le a golyó helyzetét. Én praktikusán három többszöröseihez ragaszkodom, tudván, hogy 3 képkocka 0,1 másodperc. A golyó helyének leolvasása 1-2 cm-es szórást okoz az osztályban. Ez kedvező alkalom arra, hogy beszéljünk a mérés szubjektív tényezőjéről és a hibáról is. Bátorítom a tanulókat, fogadják el a saját maguk által leolvasott értéket és ne a tanár adatát várják, hiszen előbb megbeszéltük a leolvasás pontatlanságát. Erre ne sajnáljuk az időt, mert itt egy lényeges fogalmat alapozunk meg: a mérést. Táblázatban rögzítjük az idő-hely adatpárokat:

idő (s)	hely (cm)	elmozdulás (cm)	sebesség (cm/s)
0	9,5	–	–
0,1	14	4,5	45
0,2	19	5	50
0,3	23,5	4,5	45
0,4	28	4,5	45
0,5	32,5	4,5	45
0,6	37	4,5	45

1. ábra. Egyenes vonalú egyenletes mozgás „filmezéséből” származott út-idő, sebesség-idő grafikonja, valamint több leolvasás eredményének összehasonlítása.



Ezt először mindig kézzel rajzolt táblázatban teszem meg, mert ekkor folyamatában látható a struktúra kialakítása. Kiszámítjuk az egyes időközökhöz tartozó elmozdulásokat, majd ebből a sebességeket is. Rögtön szembetűnik, hogy az elmozdulások és a sebességek közel azonosak. A megtett út pedig egyenletesen növekszik.

Ezt grafikonokkal megerősítjük. Sajnos órán nincs mindenki előtt számítógép, így ők kézzel ábrázolnak, de én táblázatkezelővel is rögzítem az eredményeket.

Az út-idő grafikon elég meggyőző (1. ábra, felül), a sebesség-idő grafikon (1. ábra, középen) bizonytalanságra adhat okot. Erre megkérek két diákt, hogy az én általam leolvasott adatoktól függetlenül írják be a táblázatba az ő adataikat is. Ehhez célszerű előre elkészíteni egy üres Excel-táblát, képletekkel, üres grafikonnal, így a hely adatainak megadásával rögtön kirajzolódik az ő mérési eredményük is (1. ábra, alul).

A fent említett 1-2 cm-es leolvasási eltérés más alakú, de ugyanolyan jellegű görbét eredményez. Nem nehéz a tanulókat rávezetni arra, hogy a sebességek átlagával jól jellemezhetjük a mozgást, és a „rendelenségek” a mérés természetes velejárói.

Érdekes több felvételt is készíteni különböző sebességekkel mozgó golyóról. A második mérést már elég csak Excel-táblázattal elemezni. Ennek struktúrája teljesen azonos az első táblázatával, és a grafikonok pillanatok alatt elkészülnek. A többi két-három felvétel fájlját elérhetővé tehetjük az osztály számára (például Facebook). Ebből mindenkinek fel kell dolgoznia egyet, akár kézzel, akár táblázatkezelővel. Sok digitális feldolgozás szokott születni, amelyet kinyomtatva a füzetbe ragasztanak. Most hivatkozhatnánk az informatikával való interdiszciplináris kapcsolatokra, de a tanulóknak nem azt jelenti, csupán egy mindennapi eszközhasználatot.

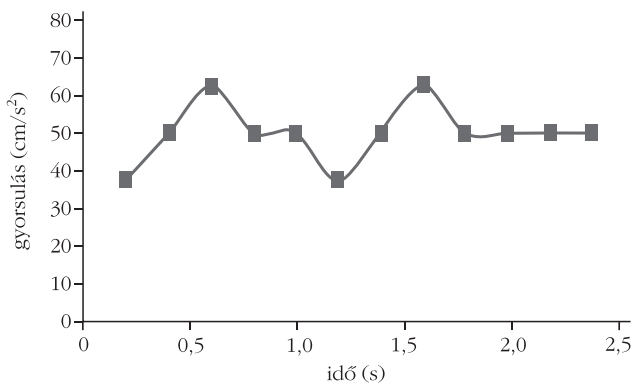
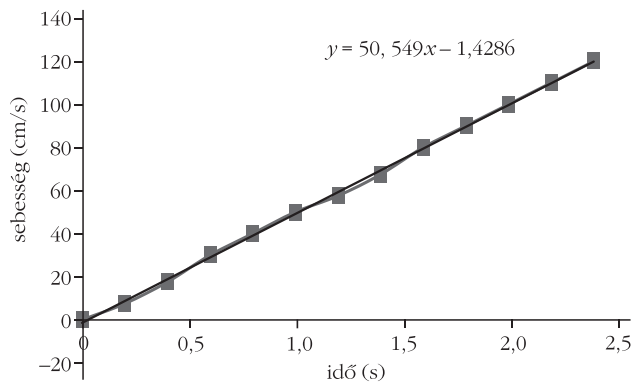
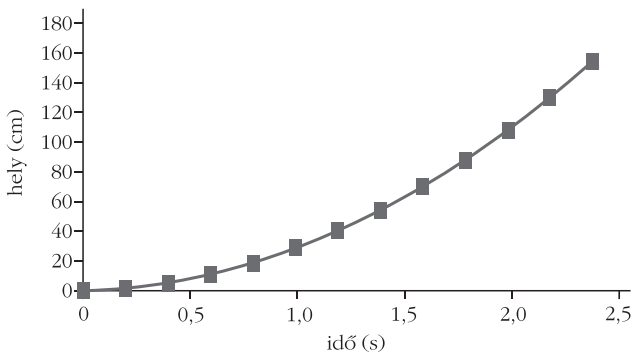
A mellékelt táblázatokban és grafikonokban nem szerepel a mennyiségek hagyományos jelölése, csak a mértékegység. Ez direkt készül így. Szeretném elkerülni – legalább az első órákon – hogy pusztán képletalkotás legyen a mérés eredménye. Az egyenletes mozgás képletét úgyis hozzák magukkal az általános iskolából, de úgy tapasztaltam, hogy nem kapcsolódik rögtön össze a kísérleti eredménnyel. Feladatmegoldás során már bennük merül fel a természetes igény a mennyiségek jelölésére, az összefüggések matematikai megfogalmazására. Ekkor „esik le”, hogy ezt már tanulták, csak nem ismerték fel. Ez (ha nem is katartikus) jó érzéssel tölti el a tanulókat: helyükre kerültek a dolgok.

## Egyenes vonalú, egyenletesen változó mozgás

Ezek után jönnek az első meglepetések. A sín alig észrevehetően lejtős helyzetbe állítom úgy, hogy észre sem veszik és megismételjük a néhány órával ez előtti mérést. Mi lehet az eltérés oka? Gyorsan felismerik, hogy a sín nem áll vízszintesen, és tapasztalat szerint a lejtőn fel lehet gyorsulni. (Mélyebbre még nem megyünk.)

idő (s)	hely (cm)	elmozdulás (cm)	sebesség (cm/s)	sebesség változása (cm/s)
0	0	0	0	0
0,2	1,5	1,5	7,5	7,5
0,4	5	3,5	17,5	10
0,6	11	6	30	12,5
0,8	19	8	40	10
1	29	10	50	10

és így tovább.



2. ábra. Egyenletesen gyorsuló mozgás út-idő (föül), sebesség-idő (középen) grafikonja. A sebesség-idő grafikonra illesztett egyenes meredeksége jó egyezésben van az gyorsulás-idő grafikon (alul) átlagértékével.

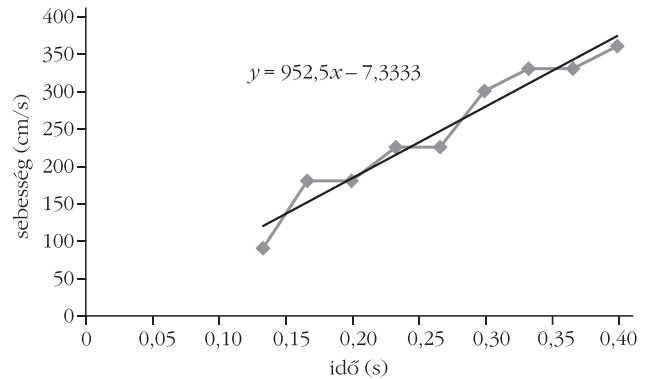
A táblázat szerint valami baj van: az időegység alatti elmozdulás egyre nő, felül kell vizsgálni eddigi eredményeinket. Most is elkészítjük a táblázatokat, grafikonokat (2. ábra), és a füzetükben meglévő eredményekkel összehasonlítjuk. Szembetűnik a sebesség változása, ezért a táblázatot kiegészítjük ezzel az oszloppal.



3. ábra. Szabadesés vizsgálata (a golyó pillanatnyi helye körrel kiemelve). Az azonos időközökben felvett képeket egymás mellé rakva szépen kirajzolódik a négyzetes üttörvény.

Ez az oszlop már nagyobb szórást mutat. Ha Excellel dolgozzuk fel az adatokat, akkor könnyen megmutathatjuk, a megtett utat akár csak 1-2 cm-rel megváltoztatjuk a táblázatban, milyen hatalmas eltérések keletkeznek a gyorsulásban.

A gyorsulás grafikon (2. ábra, alul) helyett célszerűbb és didaktikusabb is a sebességgrafikont elemezni. A táblázatkezelő ebben is segítségünkre van, hiszen pillanatok alatt trendvonalat illeszt (2. ábra, középen) az adatokra feltüntetve a gyorsulás értékét is. (Ezt a módszert várják el az emeltszintű érettségi mérésénél is.) Lényegében az átlaggyorsulást olvassuk le a sebesség-idő grafikonról:  $a = 0,5 \text{ m/s}^2$ .



4. ábra. Szabadesés sebesség-idő grafikonja, az illesztett egyenes meredeksége  $\approx 9,5 \text{ m/s}^2$  gravitációs gyorsulást ad.

## A gravitációs gyorsulás mérése

A guruló golyó gyorsulását nem ismerjük, de a nehézségi gyorsulásnak jól elfogadott értéke van, ezért a  $g$  mérésénél precízebben kell eljárunk. A mérés elve a gyorsuló mozgásával azonos, de a gyors mozgás miatt törekedni kell a jó megvilágításra és háttérválasztásra. A digitális fényképezőgépek a „záridőt”, vagyis egy – egy képkocka exponálási idejét a fényerősség átlagának megfelelően, automatikusan állítják be, de vannak olyan fényképezőgépek is, amelyeknél manuálisan állíthatjuk a fényérzékenységet. Ezért mindenképpen fehér, erősen megvilágított háttér előtt, sötétszínű golyó esését célszerű felvenni (3. ábra). Erre a legjobb lehetőség egy napsütötte fehér fal, de tanteremben is lehet értékelhető felvételeket készíteni (ekkor számítani kell a golyó elmosódására). Egy nagy csapágygolyó jól megfelel a célnak, ugyanis a közegellenállás hatása a négyzetes törvénnyel számolva meg sem közelíti a helyleolvasás hibáját. Íme, egy tantermi mérés minden hibájával és erényével. (A legnagyobb erénye, hogy meg tudtuk mérni.)

Terjedelmi okokból nem tudok a mérési eljárásból adódó hibáról részletesen szót ejteni, de célszerű a

mérés első néhány pontját kihagyni az ábrázolásból (4. ábra), mert a hiba mértéke az idő előrehaladtával csökken.

## További mérési lehetőségek

Nagyon sokféle mérést elvégezhetünk még, ezekből néhányat most csak felsorolni tudok:

- Rugóra akasztott test kitérés-idő, sebesség-idő grafikonjának felvétele.
- Vízszintes, függőleges, ferde hajítás vizsgálata (háttérnek például egy földrajztérkép hátulját használhatjuk, amire négyzethálót rajzolunk).
- Lendületmegmaradás törvényének felfedeztetése, vagy mérési igazolása (5. ábra). (Az az eset is szépen mérhető, amikor kezdetben mindkét kiskocsi mozog.)
- Megmutathatjuk, hogy addig tart a gyorsulás, ameddig nem nulla az erők eredője. (Ehhez a mechanikai készlet kiskocsijának sebességét figyeljük, amint egy csigán átvett kötél húzza.)
- Végezhetünk nem szigorúan tantervi méréseket is, például ki mekkora sebességgel tudja a focilabdát elrúgni, a súlygolyót eldobni.

5. ábra. Lendületmegmaradás vizsgálata.



A fogalmak méréssel és grafikonnal való bevezetésének hallatlan nagy előnye, hogy a diákoknak nem kell matematikai kifejezésekkel birkóznuk, csak a fizikai lényegre kell figyelniük. Az sem elhanyagolható előnye a grafikonoknak, hogy szemlélteti a mozgás lefolyását, így például könnyebben el tudják képzelni a gyorsuló mozgást a grafikon alapján, mint a négyzetes úttörvény képletén keresztül. Tapasztala-

taim szerint ezt jól kihasználhatjuk feladatmegoldásban is, „kikerülhetjük” a képletek kizárólagos alkalmazását, amellyel nagy lépést tehetünk a fizika megértése felé.

#### Irodalom

1. Szakmány Tibor, Papp Katalin: Digitális fényképezőgép alkalmazása a fizika tanításában. *Fizikai Szemle* 57/6 (2007) 205–208.

## AZ ELEKTROMOS HÁZICSENGŐ MŰKÖDÉSE

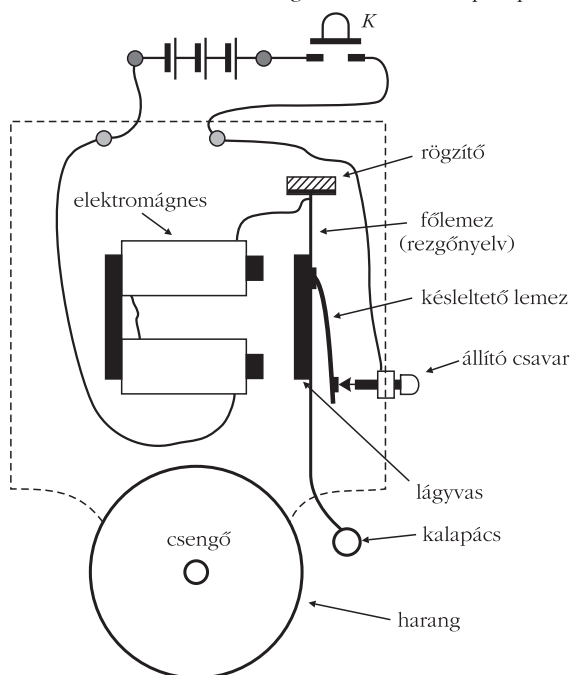
Légrádi Imre  
Sopron

A középiskolai fizikatanításban ismét szóba került az elektromos csengőnek az a régi változata, amely ma már – valószínűleg – nem sok lakásban működik.

E régi elektromos csengő működését azért érdemes még ma is végiggondolni, mert – mint elektromechanikai szerkezet – többféle elektromos és mechanikai elemet tartalmaz. Fizika tankönyveinkben azonban alig van róla részletes és világos leírás. Legtöbb helyen már a rá vonatkozó ábra sem jó, mert a működéséhez feltétlenül szükséges alkotó részek vagy nincsenek berajzolva, vagy formájuk olyan, amely nem segíti a működés megértését.

A valóban működőképes csengő helyes rajza és működésének ugyan nem teljes, de helyes magyarázata már az 1936-ban megjelent *Új idők lexikona* ötödik kötetében is, a *Csengő* címszó alatt megtalálható. Szerepel még *Budó Ágoston: Kísérleti fizika* 1968-ban kiadott II. kötetében a 186,5. ábrán, és a hozzá tartozó apróbetűs, a lényeget bemutató, rövid magyarázatban.

1. ábra. Az elektromos házicsengő alkotóelemei alapállapotban.



Az elektromos csengő külső megjelenése, a technika fejlődésének megfelelően, mindig más és más volt. Számunkra ez most érdektelen, ezért ábráinkon csak az elektromos, illetve mechanikai szempontból lényeges elemeket és elrendezésüket tüntetjük fel.

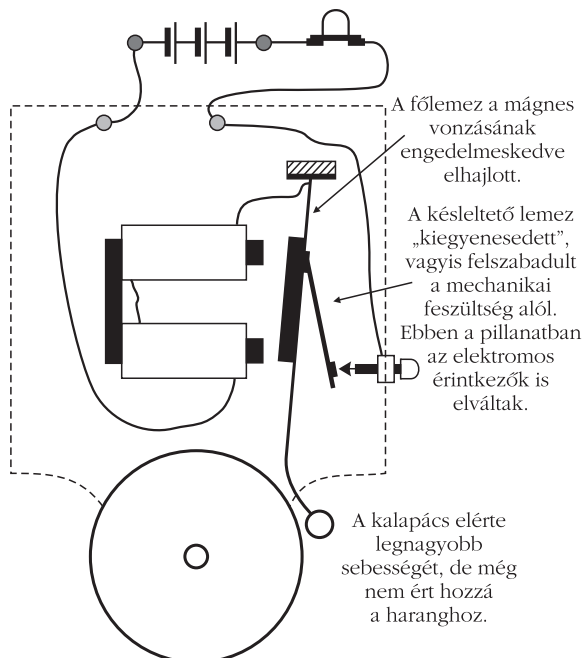
Tekintsük a csengőnek azt az állapotát alaphelyzetnek, amikor az 1. ábrán látható *K* kapcsoló nyitva van. Ekkor a főlemez (rezgőnyelv) is az ábrán látható helyzetében van; a ráerősített késleltető lemez pedig neki nyomódik az állítócsavar hegyének és meghajlított állapotban van, tehát mechanikai feszültség ébred benne.

Mint ahogy a késleltető lemez a főlemezre van erősítve, a főlemez is kap hajlító nyomatékot, vagyis alaphelyzetében a főlemez sem feszültségmentes, de ez a nyomaték csak nagyon kis mértékű elhajlítást hoz létre a főlemez feszültségmentes helyzetéhez képest. A csengőnek ez az állapota, vagyis amikor nem csengetnek, természetesen sokszorosan hosszabb ideig áll fenn, mint a működési állapot. Ez egyúttal azt is jelenti, hogy a késleltető lemezt olyan acélból kell készíteni, amely – az állandó, jelentősen hajlított állapot ellenére – évtizedekig sem veszíti el rugalmasságát.

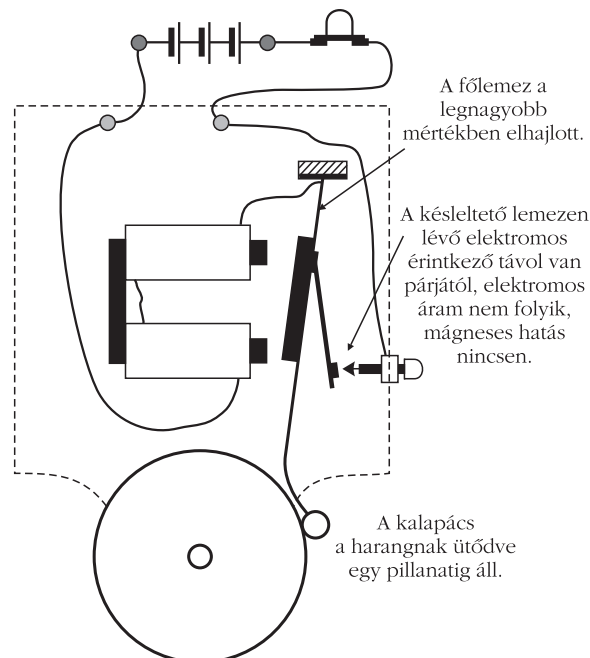
Ha vendég érkezik és csenget, akkor a *K* kapcsoló bezár, az elektromágnes áramkörében áram indul meg. Az elektromágnes feladata az, hogy a rezgőnyelvre erősített lágúvas lemezt akkora erővel vonzza, hogy a kalapács eljusson a harangig és megüsse azt. Ezt az ütést többször is meg kell ismételnie!

Mint ahogy az elektromágnesben önindukció lép fel, ezért az áramerősség időbeli növekedése logaritmikus menetű. Így az áramkör teljes ellenállása, valamint a tápláló áramforrás feszültsége által meghatározott áramerősség csak lassan alakulhat ki. Tehát az elektromágnes vonzóereje az áramkör zárása után csak véges időtartam elteltével ér el a megkívánt értékhez. Ezért van szükség a késleltető lemezre, amelynek az áramkör megszakadását kell késleltetnie. Vagyis mindaddig, amíg a főlemez és vele együtt a késleltető lemez el nem jut a 2. ábrán látható helyzetbe, az áramkör zárva marad, a mágneses vonzóerő növekszik, akár el is érheti maximumát.

Mechanikai szempontból e bekapcsolt állapotnak, vagyis a mágneses vonzóerő munkavégzésének addig kell tartania, amíg a főlemez teljes tömege (vagyis a



2. ábra. A csengetés előtti pillanat...



3. ábra. ... és a harang megütése.

lemez, a ráerősített lágvas tömb, a kalapács, valamint a késleltető lemez együttese) akkora mozgási energiára nem tesz szert, amely elegendő lesz az áram megszünte után elvégzendő munkához, a harang megütéséhez. Itt kell megemlíteni az alapállapotban meghajlított késleltető lemez segítő munkáját is, hiszen a benne lévő feszültség igyekszik ellökni a főlemezt az állító csavartól, így járul hozzá a rendszer mozgási energiájának növekedéséhez.

Az áram megszünte után elvégzendő munkák a következők: a főlemeznek (és rajta lévő alkatelemeknek) tovább kell hajolnia az elektromágnes felé, hogy a kalapács elérje a harangot, ez a hajlítás munkája. A kalapács a haranggal való rugalmas ütközése során (3. ábra) ugyancsak munkát végez a harangon, vagyis legalább annyi energiát kell átadnia, hogy annak hangja az egész lakásban hallható legyen.

A kalapácsütés után a meghajlított főlemez rugalmas erejé végez munkát. Ez a munka az alaphelyzet visszaállításához szükséges. A következő folyamat zajlik le: a kalapácsütés utáni pillanatban az egész főlemez áll (bár szigorúbban tekintve, mindegyik alkateleme valamilyen frekvencián rezeg, de ezt a rezgést a csengő működése szempontjából nem kell figyelembe vennünk, mert gyorsan csillapodik), majd a rugalmas erő visszarántja a főlemezt az alaphelyzet felé, miközben először gyorsítási munkát végez rajta. Amikor pedig a késleltető lemez ismét hozzáér az állítócsavarhoz, a késleltető lemez meghajlításához szükséges munkát is elvégzi.

A  $K$  kapcsoló még zárva van, hiszen az eddig leírt, egyetlen ütést eredményező folyamat körülbelül  $1/30$ – $1/20$  másodpercet vesz igénybe, a vendég pedig ennél tovább csenget. Emiatt a főlemezben ébredt rugalmas erő nem az árammentes alaphelyzetbe viszi vissza a főlemezt és a hozzá erősített késleltető le-

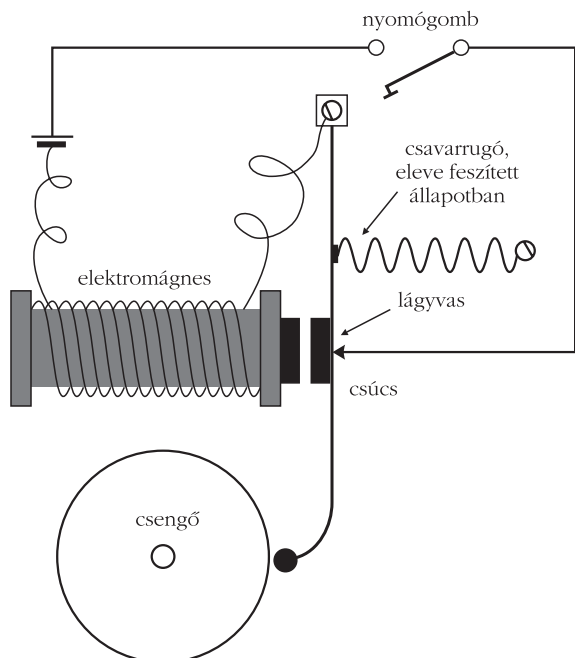
mezt: amint a visszatérő késleltető lemez újra hozzáér az állítócsavarhoz, az áramkör máris zárul, ekkor a mágneses vonzás, ha nem is gyorsan erősödve, de megindul. Ez azt eredményezi, hogy amikor a főlemez az alapállapothoz közel – de nem pontosan ott – megáll, akkor a késleltető lemez nem hajlik be olyan mértékben, mint amennyire árammentes alapállapotban volt. Ezek az eltérések természetesen nagyon kicsinyek. Amíg az áramkör a  $K$  kapcsoló segítségével zárva marad, addig a második és további ütések ebből a módosult alaphelyzetből indulnak.

Az állítócsavarnak kettős szerepe van. Egyrészt úgy kell beállítani, hogy alaphelyzetben a késleltető lemez érintkezzék vele, hiszen az áramkör rajta keresztül záródhat. Másrészt biztosítja, hogy a késleltető lemez alkalmas görbülségben legyen, és a kalapács még megfelelő távolságot tartson a harangtól. E távolság változtatásával a két ütés közötti időtartam hossza állítható, ami azért fontos, mert egy-egy harangütés után kellő lecsengési időt is kell hagyni, hogy a csengetés az emberi fül számára ne legyen sértő, kellemetlen. Ezt a beállítást a fentiek ismerete nélkül is bárki elvégezheti: a csengő bekapcsolt állapotában addig kell tekerni az állítócsavart, amíg a csengő jó ütemben, kellemes hangon nem szól. Régen a villanycsengőket olyan kis haranggal látták el, amely zenei tekintetben is kellemes csendüléssel reagált a kalapács ütésére.

A leírtakban egyenáramú áramforrásra gondoltunk. A ilyen működésű elektromos csengőket, köznyelven villanycsengőket azonban a váltakozó áramú hálózatról is táplálhatták, úgynevezett csengőreduktoron keresztül.

A reduktor egy transzformátor, amely a 220 V effektív feszültséget 8 V effektív feszültséggé alakítja. A hálózati áram frekvenciája 50 Hz, vagyis egy periódusának időtartama  $1/50$  másodperc. Bekapcsolt álla-





4. ábra. Ez nem csengő, maximum „zümmögő”!

potban a csengőn tehát 1/100 másodpercig folyik egy irányban az áram, a következő 1/100 másodpercig pedig ellenkező irányban, de az elektromágnes és a lágnyvas közötti vonzást ez nem befolyásolja – az min-

dig vonzás marad. Így a fent elmondottak, a mechanikai folyamatokat tekintve, a reduktorról táplált csengőre is érvényesek.

Több könyvben, tankönyvben az elektromos csengő működését a 4. ábrához hasonlóan szemléltetik. Az ilyen ábrák alapvető hibája, hogy rajtuk nincsen feltüntetve a késleltető lemez, így alapállapotban az állítócsavar közvetlenül a főlemezhez ér. Az ilyen eszköz a valóságban nem csengőként, hanem inkább csak „zümmögő”-ként működik. Ugyanis amint az elektromágnes áramát bekapcsoljuk, az a bekapcsolási önindukció késleltető hatása ellenére már az első pillanatokban akkora erősségű mágneses teret hoz létre, hogy a lágnyvas testet – a főlemez rugalmas ereje ellenére – nagyon picit ugyan, de elhúzza, s ezáltal az áramkört máris megszakítja. Minthogy a tápfeszültség kicsi, még az sem jöhet szóba, hogy a távolodó érintkezők között olyan erős elektromos ív jöjjön létre, amely fenntartja az áramkör zártságát. Így a főlemez nem tesz szert akkora mozgási energiára, hogy a kalapáccsal megüsse harangot, az megcsendüljön. Az áramkör megszakítódásának, az áram megszűnésének, a főlemez visszaugrásának és az áramkör újra záródásának együttes időtartama roppant rövid, század másodperceket jelent csupán. Így, mégha a kalapács hozzá is ér a haranghoz, az nem ad csengő hangot, csak zörög, de általában a főlemez, a rezgőnyelv csak maga rezeg, és a keltett hang a zümmögés.

## EÖTVÖS DEMONSTRÁCIÓS FIZIKAI INGÁJA – ÚJRAHANGSZERELVE

Kovács László  
Nyugat-magyarországi Egyetem

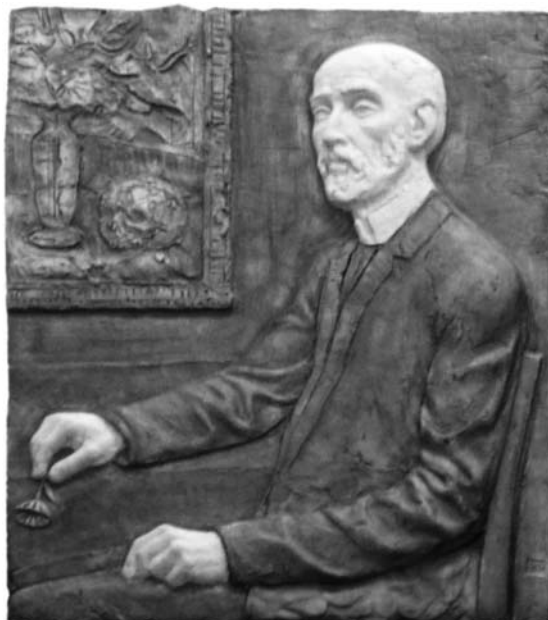
Eötvös Loránd (1. ábra) kiváló tanár volt: minden tudományos eredményével kapcsolatban készített olyan eszközöket, amelyeket egyetemi előadásai során használt. Demonstrációs eszközeiről a *Báró Eötvös Loránd Emlékkönyv* (Szerk. Fröblich Izidor; Budapest, 1930) VII. fejezetében – „Előadásairól és eredeti előadásai kísérleteiről. Rybár István I. tagtól.” – olvashatunk:

Az ott leírt 18 kísérlet közül most a 4-es számút mutatom be (2. ábra) – Rybár professzor jelöléseit használva –, azt a

$$T = \pi \sqrt{\frac{K}{Mgs}}$$

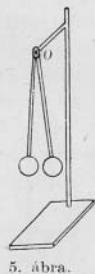
fél lengésidejű fizikai ingát, amelynél az inga súlypontjának és a felfüggesztési pontjának  $s$  távolságát úgy tudjuk változtatni, hogy közben a rendszer  $K$  tehetetlenségi nyomatéka állandó marad. Nézzünk rá a több, különálló tömegpontból álló rendszer tehetetlenségi nyomatékát megadó összefüggésre! Ez azt mondja, hogy szorzatokat kell összegezni: a tömeg-

1. ábra. Bartók Csaba Eötvös Loránd-reliefje (fotó: Kerényi János).



Ha a rudak hajlásszögletét változtatjuk, akkor ezzel sem az inga tömege, sem pedig tehetetlenségi nyomatéka nem változik meg, ellenben súlypontjának a forgási tengelytől való távolsága igen. Ennek folytán ez ingával az ingák oly sorát állíthatjuk elő, melyeknek tömegei és tehetetlenségi nyomatékai egyenlők, de súlypontjaiknak a forgási tengelytől mért távolságai különbözők. Tehát ez ingával az inga lengésidejének  $T$ -nek az  $s$ -től való függése megvizsgálható.

Ha a gömbalakú súlyok egymást érintik, azaz az inga súlypontja a forgási tengelytől legtávolabb van, akkor az inga szaporán leng, lengésideje kicsiny; ha azonban az inga rudjai egymással közel  $180^\circ$ -ot képeznek, azaz ha a súlypont a forgási tengelyhez közel van, akkor az inga rendkívül lassan leng, lengésideje igen nagy.



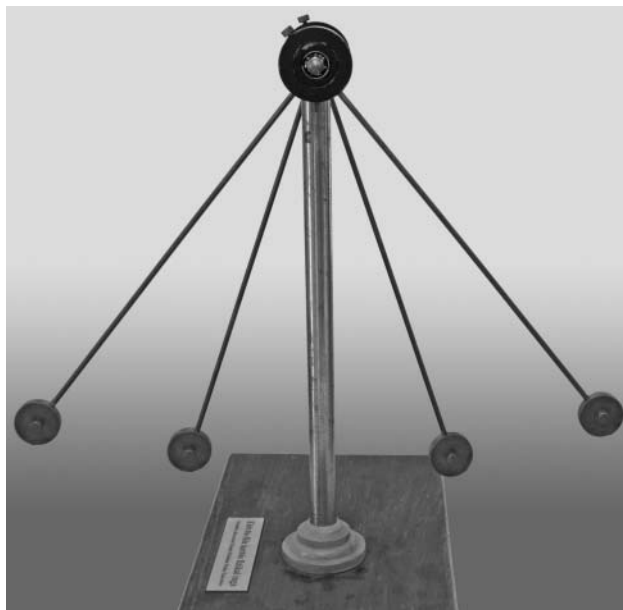
5. ábra.

2. ábra. Részlet a *Báró Eötvös Loránd Emlékkönyvből*, benne az Eötvös-féle demonstrációs inga rajza.

pontok tömege szorozva a forgásponttól mért távolságuk négyzetével. Kis matematikai érzékkel kitalálhatjuk, hogy legalább két tömegpontból álló, összetett eszközt kell alkotnunk. Az  $s$  súlyponttávolság változtatásakor a tömegeknek körív mentén kell elmozdulniuk, így  $K$  változatlan marad.

Kettő darab, félig kifűrt fagolyóból és közepén meghajlított fémhuzalból azonnal el is készíthetjük a kérdéses eszközt. A fémhuzal ne legyen túl vastag, de túl vékony se azért, hogy a közepénél, a majdani fel-

4. ábra. Az élő Eötvös-féle fizikai inga két állapota.



3. ábra. A Berzsényi Dániel Főiskolán készített, továbbfejlesztett Eötvös-féle fizikai inga.

függesztési pontnál – azaz az említett körívet tartalmazó kör középpontjánál – kézzel könnyen hajlíthatjuk, azonban utána őrizze meg alakját.

Szeretném felhívni a figyelmet arra, hogy azért is figyelemre méltó Eötvös megoldása, mert alkalmazza azt a fontos kísérletbemutató, képellenőrzési elvet, hogy *egyszerre csak egy fizikai mennyiség változzon!*

Én „újrhangszereltem”, kicsit továbbfejlesztettem az eredeti Eötvös-féle fizikai ingát (3. ábra): *megdupláztam* azt, és *Szunyogh Gábor* kollégám ötlete alapján, *csapágyas felfüggesztést alkalmaztam*. Így egyszerre két olyan inga lengése mutatható be, amelyek lengési ideje egymás kétszerese: a négyzetgyökös kifejezés miatt a két inga  $s$  távolsága ekkor negyede egymásnak. (A lengésidő képletében az  $s$  a nevezőben van.)

A csapágyas felfüggesztés segít abban, hogy az eszközzel könnyen bemutatható a lengésidő nehézségi gyorsulástól való függése is. Ha az eredeti, csak két tömegpontot tartalmazó ingát  $\alpha$  szöggel megdöntjük, akkor azt mondhatjuk, hogy az inga  $\alpha$  hajlásszögű lejtőn leng. Ekkor a nevezőben szereplő nehézségi gyorsulás a  $\sin\alpha$ -szorosára csökken, a lengésidő megnő. Szép matematikai feladat kiszámítani azt, hogy hány fokkal kell megdönteni az ingát a lengésidő kétszeresére növekedéséhez.

### További fizikai inga-példák az $s$ változtatására

Nem kell fémhuzalt és golyókat alkalmaznunk. Ha egy ollót kinyitott állapotában rögzíteni tudunk, akkor szépen látszik a becsukott alaphelyzethez képest megnövekedett lengésidő.

Megkérhetünk egy tornászlányt (4. ábra) – lányosztály előtti bemutatásnál tornászfiút –, hogy kinyújtott kézzel és lábbal *hajoljon át* egy kellő magasságra

feltett rúdon úgy, hogy a rúd a hasa alatt legyen, keze érintse a lábát. Meglengetjük ezt az élő Eötvös-féle fizikai ingát. Megjegyezzük a lengésideőt. Ezután megkérjük a tornászt, hogy *egyenesebben* ki amennyire csak tud. Ismét lengetünk. Az  $s$  csökkenése miatt,

most nagyobb lengésideőt kapunk. A  $K$  tehetetlenségi nyomaték kiszámításához most integrálni kell, de az a feltétel megmaradt, hogy az egyes tömegpontok körív mentén mozdultak el,  $K$  értéke (számottevően) nem változott.

## KÍSÉRLETEZZÜNK OTTHON!

Härtlein Károly  
BME Fizikai Intézet

### 11. Polarizációs jelenségek II.

A írás előző részében láttuk, hogy az LCD-képernyők polarizált fényt bocsátanak ki, valamint azt, hogy nagyon könnyen találhatunk polarizáló szűrőt is. Megbeszéltük, hogy az átlátszó tárgyakban a bennük rejlő eltérő mechanikai feszültség hatására eltérő mértékben fogják elforgatni a polarizált fény síkját. Ennek eredményeképpen szivárványos csíkokat figyelhetünk meg az átlátszó tárgyakon belül, amelyek árulkodnak a mechanikai feszültség eloszlásáról. A Brewster-polarizációt is segítségül hívjuk, ha feszültségoptikai csíkokat akarunk megfigyelni. Tegyük egy LCD-monitor az asztalra, képét állítsuk be egységes fehérre! Fekessünk a monitor előtt az asztalra egy átlátszó plexi tárgyat (az 1. *ábra*<sup>1</sup> színes fényképén egy CD-tokot figyelhetünk meg)! A monitorról érkező fény a plexi felületén részben visszaverődik, részben megtörik. A megtört fény a hátsó felületről visszaverődve jut el a szemünkhöz. Megfelelő (Brewster) szöget választva megjelennek a feszültségoptikai csíkok. A Brewster polarizáció során nemcsak a visszavert nyaláb lesz poláros, hanem a megtört is. Ez nem lesz teljesen poláros, de a polarizáció olyan fokú lesz, hogy a feszültségoptikai csíkok megfigyelését lehetővé teszi.

Ahhoz, hogy jól láthassuk a mechanikai feszültség okozta csíkokat, be kell sötétíteni a helyiséget és az asztallapot matt fekete papírral kell letakarni. A polarizáció és a polárforgatás jelenségének még jobb megértéséhez fekvőből álló helyzetbe forgassuk el a monitort. Figyeljük meg a csíkok színváltozását, miközben alakjuk nem változik. Ugyanezt figyelhetjük meg a tárgy forgatásakor is.

A csíkok megfigyelésének másik módja is létezik. Most a matt fekete kartonra helyezünk egy üveglapot és erre állítsuk rá a vizsgálandó tárgyat (a 2. *ábra* fényképén egy névjegykártya-tartót figyelhetünk meg)! A rajta áthaladó polarizált fény polarizációsíkját a tárgy – a benne lévő mechanikai feszültségtől függően – elforgatja. Az üveglapról Brewster-szögben visszaverődve láthatóvá válnak a csíkok. Ennél a kísérletnél is megfigyelhetjük a monitor és a tárgy forgatásával a csíkok színváltozását.

<sup>1</sup> Az írás színes képeit tartalmazó 1. és 2. ábra folyóiratunk közepén, a színes melléklet IV. oldalán látható (a műszaki szerkesztő).

Noha jóval kevésbé megfigyelhető, azonban érdekes a kísérletnek azzal a változatával megpróbálkozni, amelyben a monitort, mint fényforrást „lecseréljük” egy másik poláros fényforrásra: a felhők mögül érkező szórt fény is részben poláros, tehát alkalmas lehet a mechanikai feszültség kimutatására.

Kapcsolódó oldalak:

<http://www.kfki.hu/fszemle/archivum/fsz0603/hartlein0603.html>  
[http://fizipedia.bme.hu/index.php/Brewster\\_polarizáció](http://fizipedia.bme.hu/index.php/Brewster_polarizáció)  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Brewster's\\_angle](http://en.wikipedia.org/wiki/Brewster's_angle)  
[http://en.wikipedia.org/wiki/David\\_Brewster](http://en.wikipedia.org/wiki/David_Brewster)

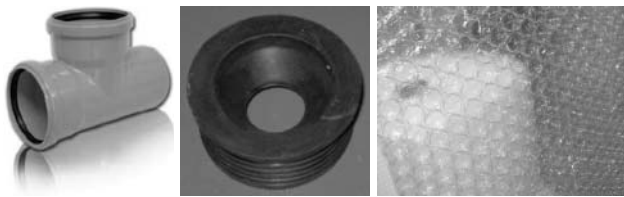
### 12. Porszívó működtetésű ágyú

*Otto von Guericke*, a légszivattyú megalkotója nagy kísérletező volt. Neve hallatán kinek jutna eszébe, hogy fegyvert is készített. A mindenki által ismert magdeburgi féltékével elvégzett kísérlete csak egy volt a számtalan közül. Az elképesztően nagy erő, amelyet légritkítással tudott előállítani ösztönözhetette, hogy fegyvert is alkosson. A 2007-es kutatók éjszakáján egy ezen az elven működő ágyúval egy pingpong-labda lövedékkel 3 mm-es ablaküveget törtem össze. A pingpong-labda másfél méter távolságon megközelítőleg 200 m/s sebességre gyorsult fel (második ajánlott link; a kísérlet 1 óra 50 percnél tekinthető meg)!

Az 1600-as évek közepén a lőporos ágyúk mellett ígéretes találmány lehetett a vákuumágyú (3. *ábra*). A fegyver csöve mindkét végén nyitott volt, a lövedéket a lőiránnyal ellentétes oldalon kellett elhelyezni. A cső mindkét végét bőrrel hermetikusan lezárták és ezután kiszivattyúzták a levegőt. Elsütéskor az ágyúcsövet a lövedék oldalán hirtelen ki kellett nyitni, egy éles késsel

3. *ábra*. Korabeli rajzok a vákuumágyúról.





4. ábra. T-idom tömítőgyűrűjével, WC-tömítőgyűrű, légpárnás fólia.

be kellett repeszteni a bőrt. A betóduló levegő gyorsította és röpitette a lövedéket az ellenség felé. Azóta az élet(?) a kémiai energiát hasznosító ágyúkat igazolta, míg a vákuumágyú nyomtalanul eltűnt. Pedig a vákuumágyú jó pár szokatlan, előnyös tulajdonsággal rendelkezett:

- a kialakításának köszönhetően nincs visszalökődés,
- érzéketlenebb volt az eső áztató hatására,
- nem melegedett a cső,
- lényegesen halkabb volt, és
- a kis nyomáskülönbség miatt sokkal könnyebb lehetett, mint lőporos társa.

Ezzel a utolsó megállapítással el is mondtuk a legfőbb hátrányát: tűzreagy, hatótávolsága korlátozott volt. Mégis bíztatok mindenkit, hogy e régi elvet alkalmazó, tanulságos és szórakoztató eszközt építse meg! Tanórán való bemutatásával – főleg általános iskolában – könnyen száműzhetjük a fizika iránti érdektelenséget.

*A szükséges eszközök (4. ábra):*

- porszívó,
- szennyvíz lefolyócső 50 mm  $\varnothing$   $\times$  2 méter hossz,
- szennyvíz lefolyócső T-idom (50 mm  $\varnothing$ ),
- tömítőgyűrűk,
- légpárnás (buborék) fólia,
- gyurma vagy agyag.

*Az ágyúcső elkészítése:*

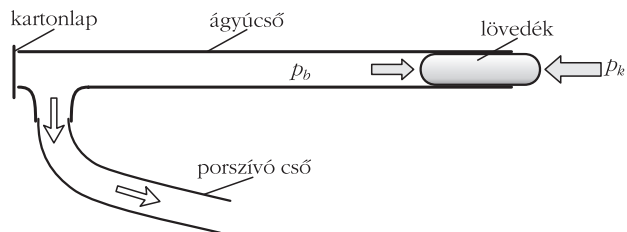
Az egyenes cső bővebb végébe helyezük el a tömítőgyűrűt és ide csatlakoztassuk a T-idomot. A T-idom oldalsó csatlakozásába helyezzünk el egy WC-tömítőgyűrűt. Ebbe a gyűrűbe kell csatlakoztatni a porszívó szívócsövét.

*A lövedék elkészítése:*

Készítsünk gyurmából egy ujjnyi vastagságú, 10 cm hosszú hengert. Ezt tekerjük be a légpárnás fóliával úgy, hogy a külső átmérője egy-két milliméterrel legyen nagyobb a PVC-cső belső átmérőjénél. A végeit ragasztóval zárjuk le.

*Használat:*

A porszívóból távolítsuk el az összes szűrőt és porszívót. Kapcsoljuk be a porszívót, amelynek szívócső-



5. ábra. A porszívós ágyú működése, fölül porszívó bekapcsolása, cső lezárása, lövedék behelyezés, alul a kilövés a megfelelő vákuum elérése után.

ve csatlakoztatva van az ágyúcsőhöz. Zárjuk le a T-idom nyitott végét egy kartonlappal. Ha működik a porszívó, akkor elég csak a végére helyezni, mert a nyomáskülönbség oda fogja szorítani. Ekkor a cső másik végébe helyezzük bele a lövedéket! Erősen kell tartanunk, hiszen a légritka tér már igyekszik beszívni! Várjunk egy kicsit, amíg a kellő nyomáskülönbség ki nem alakul, ezt hallani fogjuk a porszívó-motor hangjából. Ekkor engedjük el a lövedéket (5. ábra).

*Balesetvédelem:*

Egy modern, nagy szívóerejű porszívóval akár 20 méternél is messzebb lehet ellőni a lövedéket. Ha lehetséges, akkor szabadban kell kísérletezni. Semmiképpen ne irányítsuk a csövet emberre, de állatokat se vegyünk célba!

Egy átlagos porszívó 20 kPa nyomáskülönbséget képes előállítani. Ez nem tűnhet nagyinak – az 50 mm belső átmérőjű csőbe szorosan illeszkedő lövedékre megközelítőleg 40 N erőt fog kifejteni. Nem nehéz kiszámítani, hogy a két méter hosszúságú cső végén mekkora sebességgel fog távozni.

Irodalom és kapcsolódó oldalak

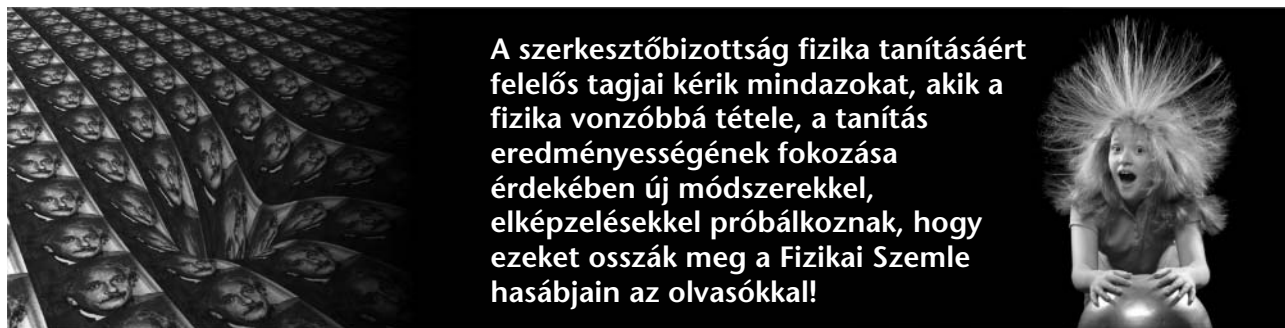
Guericke, Otto von: *Experimenta nova (ut vocantur) Magdeburgica de vacuo spatio*. Waesberge, Amsterdam, 1672.

[http://hu.wikipedia.org/wiki/Otto\\_von\\_Guericke](http://hu.wikipedia.org/wiki/Otto_von_Guericke)

<http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/1064346>

[http://videotorium.hu/hu/recordings/details/2970,Nem\\_elhetunk\\_fizika\\_nelkul](http://videotorium.hu/hu/recordings/details/2970,Nem_elhetunk_fizika_nelkul)

[http://archive.galileowebcast.hu/20120625\\_BME\\_Gyermeknap\\_fizika](http://archive.galileowebcast.hu/20120625_BME_Gyermeknap_fizika)



**A szerkesztőbizottság fizika tanításáért felelős tagjai kérik mindazokat, akik a fizika vonzóbbá tétele, a tanítás eredményességének fokozása érdekében új módszerekkel, elképzelésekkel próbálkoznak, hogy ezeket osszák meg a Fizikai Szemle hasábjain az olvasókkal!**

## JUBILEUM

## 50 éves az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Sugárvédelmi Szakcsoportja

Nehéz elhinni, de valóság: a Sugárvédelmi Szakcsoport megalakulása óta már 50 év telt el. A jubileumra megjelent könyvecske minden fontos tevékenységről számot ad. Aki még részletesebb ismereteket kíván és érdeklik a Szakcsoport működésével kapcsolatos eredeti anyagok (levelezés, meghívók, kiadvány tartalomjegyzékek stb.), a könyvecskéhez csatolt DVD-n megtalálhatja.

Magyarországon a sugárvédelem szükségessége a röntgen-készülékek és rádiumforrások orvosi alkalmazása során már a múlt század első évtizedeiben felmerült. Ezen a téren többek között *Ratkóczy Nándor*, *Hrabovszky Zoltán* és *Bozóky László* munkálkodtak igen sikeresen.

A maghasadás felfedezése, az atombomba felrobbantása, az atomenergia békés célú, több irányú felhasználása a sugárvédelem fontosságát nagy mértékben növelte. Talán itt érdemes elmondanom találkozásomat *Örley* úrral, 1967-ben egy kaliforniai konferencián. Ő a Los Angeles-i Egyetemen dolgozott, ott, ahol ciklotronokban dúsították az urán 235-öt az atombombához szükséges koncentrációra. A ciklotronok körüli sugárveszély jelzésére ő készítette a máig is ismert, manapság már mindenhol használt, körbe vagy háromszögbe zárt háromcikkelyes színes táblácskát. Dicsekedhetünk vele, hogy az ötvenes évek végétől világszerte elterjedt egy hazánkfia által alkotott grafika.

A sugárvédelem magasabb szinten való megszervezése Magyarországon is komoly feladattá vált, hiszen a részecskegyorsítók, reaktorok, izotópok használata több mint félszáz éve mindennapos tevékenységgé lett. Amíg korábban a radiológiai klinikákon az orvosok maguk oldották meg a védelmet, addig az újabb, sokkal nagyobb sugárveszélyt jelentő eszközök mellett

1. ábra. Déri Zsolt rajza (engedéllyel).



már főfoglalkozású szakértő csoportokat kellett szervezni. A sugárvédelem interdiszciplináris – ismerni és mérni kell a sugárzást (a fizikus gondja), meg kell határozni hatását az élő szervezetekre (biológusi, orvosi feladat), meg kell tervezni a szükséges mérőeszközöket, védőberendezéseket (a mérnök reszortja), tárolni kell az adatokat (informatikus kell hozzá) stb.

Az országban orvosi, fizikusi, mérnöki helyeken dolgoztak sugárvédelmi csoportok az 50-es években. Bozóky László és *Fehér István* felismerve, hogy célszerű az ismereteket, tapasztalatokat megosztani, 1961-ben javasolták, hogy az Eötvös Loránd Fizikai Társulaton belül alakuljon Sugárvédelmi Szakcsoport. A Szakcsoport (első az Eötvös Loránd Fizikai Társulatban) 1962-ben megalakult, elnöknek Bozóky Lászlót, titkárnak Fehér Istvánt választották. Ők a kezdettől 1980-ig töltötték be ezeket a posztokat. Ekkor alakították ki azokat a fontos tevékenységeket, amelyek a Szakcsoport munkáját az elmúlt 50 évben oly sikeressé tették.

Itt nem lehetséges felsorolni mindazokat az eredményeket, munkákat, amelyek a Szakcsoport tevékenységét jellemezték – megtalálhatók a már említett könyvecskében –, csupán néhányat említek.

A Szakcsoport alapító tagja az International Radiation Protection Association (IRPA, Nemzetközi Sugárvédelmi Társulat) szervezetnek. A Szakcsoport eredményességének elismeréseként az IRPA második európai regionális konferenciáját 1972-ben Budapesten rendezték. A Szakcsoport tagjai aktív résztvevői az IRPA négyévenként megrendezett konferenciáinak.

A kiadványban hangsúlyosan szerepel a sugárvédelem oktatása, szabályozása területén végzett munka ismertetése. Részletes elemzés található a sugárvédelmi továbbképző tanfolyamok programjáról, valamint egy új ismereteket bemutató könyvsorozatról. Megtudhatjuk, hogy *Sugárvédelem* címmel könyvet is összeállítottak, amelyet a legfelkészültebb hazai szakértők írtak. Nyugodtan állíthatjuk, hogy a hazai sugárvédelem értő, önzetlenül dolgozó személyek kezében volt és van napjainkban is.

Meg kell említeni az 1996-ban létesített *Hírsugár* elnevezésű kiadványt, amelynek célja a „Szakcsoport tagjainak tájékoztatása volt a taggyűlések közötti időben”. Az eddig megjelent mintegy 45 szám a hírek mellett *Déri Zsolt* kedves, humoros rajzait is tartalmazza.

Egyik karikatúra megérdemli, hogy itt megjelenjék (1. ábra), mert segítséget nyújt a záró gondolat megvilágításához. Az idősebb generáció nevelő, szervező igyekezete remélhetően nem jut arra a sorsra, hogy szakállas öregek legyenek a legfiatalabb kutatók, mi-

után a többiek kiöregedtek. Kívánatos, hogy a fiatalok tovább vigyék a Sugárvédelmi Szakcsoport munkáját az elkövetkező 50 évben. A világban megjelenő sugárzások problémáit ismerve bizonyára lesz elegendő teendőjük.

Végül köszönetet kell mondanunk *Deme Sándornak* és *Fehér Istvánnak*, akik ötven éven át nemcsak aktív tagjai voltak a Szakcsoportnak, hanem még időt és energiát is áldoztak a kiadvány szerkesztésére.

*Keszthelyi Lajos*

## Inzelt György: MÉLY KÚTFORRÁSA A BÖLCSESSÉGNEK Vegyészek és vegyületek – esszék a természettudomány világából L'Harmattan Kiadó, Budapest, 2012. 190 oldal, 2400 Ft

A L'Harmattan Kiadó megjelentette *Inzelt György* kultúrtörténeti könyvét, amely elsősorban a kémia történetéből tartalmaz epizódokat 12 fejezetben. A tudománytörténeti események leírása mellett megjelenik benne az adott korszak szellemi, társadalmi környezete is, mintegy ebbe a közegbe ágyazva a tudományos felfedezéseket, amelyek sokban hozzájárulnak mai korunk megértéséhez. A szerző humán beállítottságát sok érdekes irodalmi idézet is jelzi, amellyel színesíti az egyes fejezeteket. A könyv bevezetője a *Gilgames eposz*ból származó részlettel kezdődik, amelyből a kötet címe is adódott.

A kémia legfontosabb fogalmai kialakulásának története mellett a szerző sok emberi sorsot is bemutat. Ebben a széles körben ismerteken túl olyan tudósok életébe is bepillantást enged, akikre kevésbé emlékezünk, pedig munkásságuk, emberi nagyságuk alapján méltóak arra, hogy minél többen megismerjük őket. Az élvezetes, olvasmányos stílusban megírt könyvet sok érdekes fénykép egészíti ki.

Az 1. fejezet *Mengyelejev* bemutatása, akit a szerző a legismertebb kémikusként állít elénk. Bemutatja gyerekkorát, tanulmányait, kitartó munkásságát, amely a kémia egészét meghatározó periódusos rendszer felfedezéséhez vezetett. Eközben kitér a kémia, mint tudomány kialakulását és fejlődését meghatározó 1860-ban Karlsruhéban megrendezett nemzetközi vegyészkonferenciára, amelyen a még ifjú *Mengyelejev* is részt vett. A konferencia célja az volt, hogy megegyezésre jussanak a legfontosabb kémiai fogalmak értelmezésében, mint atom és molekula. Továbbá azonos álláspontot alakítsanak ki a kémiai elnevezések és a jelrendszer használatában, az atomsúlyfogalom értelmezésében, amelynek alapjául akkor a hidrogént választották. Ez alapvető volt *Mengyelejev* rendszerének létrejötte szempontjából. Nagy szerepe volt *Stanislao Cannizzarónak*, aki felelevenítette *Avogadro* 1811-es írását, amelyet az utolsó napon osztott ki, így azt a tudóstársak hazafelé menet tanulmányozhatták. Ez döntő jelentőségűnek bizonyult, ezért ennek elemzésére a szerző több fejezetben is visszatér.

Inzelt megmutatja, hogy miért *Mengyelejev* rendszere lett világhírű, miben állt felismerésének lény-

ge. *Mengyelejev* nem egyszerűen csak egy rendszert alkotott a rendelkezésére álló adatok segítségével, hanem ezt természeti törvényként fogadta el (annak közelebbi ismerete nélkül), amelynek alapján új felismerések számára nyitott utat üres helyeket hagyva a rendszerben a felfedezésre váró új elemek számára. Ezek várható fizikai és kémiai tulajdonságait is „megbecsülte” a rendszerben elfoglalt helyük alapján. Némelyik elemet rövidesen megtalálták az előre megadott tulajdonságokkal. Ezek a gallium, germánium és a szkandium.

A 2. fejezetben *Mengyelejev* magyar kortársa, *Than Károly* életét mutatja be a szerző, mintegy összehasonlítva a két tudós életútját és lehetőségeit. A fejezetben röviden áttekinti a Than előtti kémia helyzetét hazánkban, több neves elődjét megemlítve, mint például *Görgey Artúrt*. Ezt követően olvashatunk Than szerteágazó tudományos, közéleti, tudományszervezői és oktatói tevékenységéről.

A 3. fejezetben a *Természettudományi Közlöny* – a napjainkban is népszerű *Természet Világa* című folyóirat elődje – alapításáról és az első kötetben megjelent fő témákról olvashatunk. Az első szám 1869. január elsején jelent meg. Ebben többek között hírt adtak a már említett karlsruhei konferenciáról, mivel a szerkesztők fontosnak tartották a „jelenleg uralkodó atomistikus nézetek” bemutatását.

A 4. fejezet a legterjedelmesebb, amelyben az *atomkorszak kezdetéről* és abban a magyar kutatók részvételéről olvashatunk. A fejezet a radioaktivitás jelenségének felfedezésével kezdődik, majd a sokak számára jelképpé lett *Maria Curie-Sklodowska* munkásságának bemutatásával folytatódik. Megismerkedhetünk a korabeli mérési módszerekkel, majd a témával kapcsolatos magyar kutatásokkal. A hazai kutatók hamar elsajátították a radioaktív mérési eljárásokat, de összefoglalóan sajnos az mondható el, hogy az itthoni viszonyok nem voltak alkalmasak komolyabb kutatások elvégzésére. Akik mégis ilyenre vágytak, elhagyták az országot, mint a későbbi Nobel-díjas *Hevesy György*, illetve a kevésbé ismert *Róna Erzsébet* és mások. Ahogy beszámolónk elején említettük, Inzelt nemcsak a közismert kutatók mun-

kásságát mutatja be, hanem a kevésbé ismertekről is megemlékezik. Nagyon szép összefoglaló található a korszak két magyar női kiválóságáról, *Götz Irén*ről és Róna Erzsébetéről, akik különböző indíttatásokból hagyták el az országot.

Ebben az időben a hazai kutatások főleg ásványvizeink elemzéséhez kapcsolódtak, kiegészítve azt radontartalom-vizsgálatokkal. Ebben a fejezetben ismerkedhetünk meg *Weszelszky Gyula* két, a témával kapcsolatos, kiváló, magyar nyelvű összefoglalójával, amelyek azt mutatják, hogy hazánkban minden, a témával kapcsolatos lényeges tudás ismert volt. A többi fejezettől eltérően ennek végén sok irodalmi hivatkozást találunk, mint-hogy azok egy része magyar nyelvű, illetve a hazai szakkönyvtárakban megtalálható.

Sokunk számára kedves lehet az 5. fejezet, amelyet teljes egészében a *tudománnyal foglalkozó nőknek* szentelt a szerző. Az ókortól kezdve napjainkig terjed az életrajzok hőseinek sora. Néhány érdekesség: *Cillei Borbála*, mint alkimista; az itáliai egyetemek néhány női professzora a 17. és a 18. századból; *Émilie du Chatelet*, aki *Newton* munkáját fordította franciára; *Madam Lavoisier*, aki férjével közösen dolgozott, majd az újkori orvosnők következők. Megemlékezik *Telkes Mária*ról, akit napkirálynőnek is neveztek és szép leírást ad *Chien-Shiung Wu* paritásértéssel kapcsolatos munkájáról. A sort *Rachel Carson* zárja, aki a mai környezetvédelmi mozgalmak elindítójának tekinthető.

A 6. fejezet Avogadro 1811-es cikkének 200 éves évfordulója tiszteletére íródott. Ebben Avogadro életét, munkásságát mutatja be a szerző, továbbá az 1811-ben írt cikkekből ad áttekintést. A fejezet végén felveti, hogy várhatóan az Avogadro-állandót is rögzíteni fogják, mivel évek óta folyik a vita arról, hogy az SI-rendszer egyik alapegysége, a kilogramm definícióját meg kellene változtatni.

A 7. fejezet rövidebb az eddigieknél. Ebben Inzelt a legújabbban felfedezett elemeket mutatja be és az atomsúlyok meghatározásáról ír. A legújabb eredmények bemutatásának szép példája a 114-es rendszámú flerovium és a 116-os rendszámú livermorium szupernehéz elemek szerepeltetése, holott az elnevezések bejelentése csak 7 nappal a könyv megjelenése előtt történt. A nevek pontosan szerepelnek, nem úgy, mint a hazai sajtóban, amely az MTI hibás jelentése alapján fordítva adta meg a két új elem rendszámát.

A 8. fejezetben a só évezredek történetét mutatja be a szerző. Képet kaphat az olvasó a sók – és nem csak a konyhasó – kémiaijáról, biológiai fontosságáról, kultúrtörténetéről és gazdasági szerepéről egyaránt.

A 9. fejezetben a *fokhagyma* kémiaijáról, biokémiaijáról és kultúrtörténetéről olvashatunk.

A 10. fejezet a *fűszerek* beszerzésének, használatának történetét és kémiaiját mutatja be a feketebors, a szegfűszeg, a szerecsendió, a fahéj, a paprika és a sáfrány példáján keresztül.

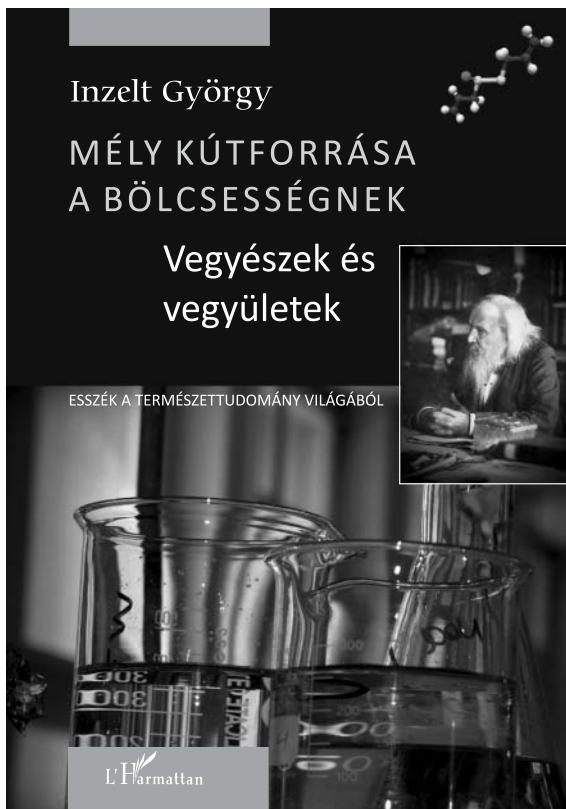
A 11. fejezet az *anyagtudomány* kezdeteinek bemutatására vállalkozik a *bronzkor* példáján keresztül. Rövid történeti áttekintés után bemutatja a réz, az ón és a bronz felfedezését, megismerését, alkalmazási lehetőségeit a különböző történelmi korokban és napjainkban.

A 12. fejezetben a napjainkban egyre nagyobb szerepet játszó *ritkaföldfémek* felfedezését, előfordulását, előállítási lehetőségeit és egyre fontosabb alkalmazási területeit mutatja be a szerző.

A könyvet magyar nyelvű irodalmi ajánlat, javasolt webhelyek gyűjteménye és nyolc oldal terjedelmű névmutató zárja.

Ajánlom a könyvet mindazok számára, akik nemcsak a természettudományok, azon belül a fizika és a kémia egyes felfedezéseinek története iránt érdeklődnek, de mindezt szívesen tekintik komplex társadalmi jelenségnek, kultúrtörténeti produktumnak.

*Radnóti Katalin*



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-postacím: [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: Szatmáry Attila ügyvezető igazgató.

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

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

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

# Csiszár Imre, Farkas Zsuzsa, Győri István, Mező Tamás, Molnár Miklós, Nagy Anett: TEMATIKUS FELADATGYŰJTEMÉNY FIZIKÁBÓL CD-melléklettel, Maxim Könyvkiadó, Szeged 2011

A Maxim kiadó színes, kísérletekkel teli, játékos, de szakmailag magas színvonalú fizika tankönyveinek szerzői megjelentették a tankönyvcsalád újabb tagját, a könyvekhez kapcsolódó feladatgyűjteményt. A szerzők neve jól ismert a fizikatanárok között, sikeres tankönyvek, módszertani munkák, érettségi előkészítő feladatsorok fűződnek nevükhöz.

Az érettségi jelenlegi rendszerében a törvény által meghatározott típusú feladatok szerepelnek. Tesztkérdések, megoldandó (hagyományos) feladatok, grafikonnal és táblázattal megadott adatsorok elemzése. Sok eddig megjelent gyűjtemény tartalmazza ezeket érettségi feladatsorokba szervezve. Jelen kötetben a szerkesztés módja más: a fizika tananyagban és a szerzők által megírt tankönyvekben szereplő fejezetek szerint rendezi a feladatokat, ezzel könnyítve meg a tanár mindennapi munkáját.

Következésképpen megjelölték a témák mellett a feladatok szintjeit is, így segítve a felhasználót. A legegyszerűbb gyakorló feladatoktól a versenyfeladatokig minden nehézségi fokra találhatunk megoldandó problémákat. A feladatgyűjtemény öt fejezetből áll: mechanika, hőtan, elektromosság, elektromágnesesség, modern fizika. (Összesen több mint ezer feladat

és háromszázötven tesztkérdés.) A mellékelt CD tartalmazza a részletesen kidolgozott feladatokat és a tesztek megoldásait, a könyv utolsó fejezeteként pedig megtalálhatjuk a számítások eredményeit.

A klasszikus típusfeladatok mellett sok olyat választottak a szerzők, amelyek kötődnek a mindennapi élethez, valós mérési eredményeken alapulnak. Az érettségi mérések közül többet feldolgoztak megoldandó feladatként.

Alkalmazkodva az érettségi követelményekhez, minden fejezethez nagy mennyiségű tesztkérdés tartozik. A tesztek is kapcsolódnak a való életben előforduló jelenségekhez, a szerzők törekedtek arra, hogy sok gyakorlati problémát fogalmazzanak meg.

A kötet nagyon szép külsővel készült el. Az egész sorozatra jellemző a színes képek, jó minőségű, szellemes grafikák használata. A színek és az alkalmazott kódok emellett jelzésként is szolgálnak, a feladatok, tesztkérdések jellegére, szintjére utalnak.

A fizikatanárok és a fizikát tanuló diákok jól használható, sokoldalú, a tankönyvsorozathoz és a követelményekhez jól illeszkedő feladatgyűjteményt kaphatnak a kezükbe ezzel a kötettel.

*Ujvári Sándor*

## HÍREK – ESEMÉNYEK

### BERÉNYI DÉNES, 1928–2012

*Berényi Dénes* Debrecenben született. Édesapja a meteorológia professzora volt a Kossuth Lajos Tudományegyetemen. Az ifjabb Berényi Dénes ott szerzett fizikus oklevelet 1953-ban, a legjobbkor ahhoz, hogy *Szalay Sándor* tanítványaként alapító tag lehessen az 1954-ben megalakuló Atommagkutató Intézet tudományos közösségében. Fialat kutatóként az atommagokból kibocsátott sugárzásokat és általuk az atommagok szerkezetét tanulmányozta. Ezt a területet magspektroszkópiának nevezik, és Dénes hamarosan a Magspektroszkópiai Osztály vezetője lett. Az atommagok különleges bomlási módjait tanulmányozta, többek között a radioaktív bomlást kísérő folytonos elektromágneses sugárzást, és ezekkel a kutatásokkal hamarosan komoly

nemzetközi elismerést vívott ki. Az 1970-es évektől főként az atomok elektronhéjának ütközési folyamatokban tapasztalható viselkedése érdekelte, ami akkor lényegében felderítetlen terület volt. Csoportjával itt is jelentős, nagy visszhangot kiváltó eredményeket ért el. Azóta ez az Atommagkutató Intézet egyik fő kutatási területe, szerteágazó témákkal és alkalmazásokkal. Húsz éven át Debrecenben került sor azokra a nemzetközi műhelytalálkozókra, amelyeket ő indított útjukra, és amelyeket Argentínától Japánig a szakterület legrangosabb találkozójaként tartottak számon.

Tudományos tevékenysége mellett évtizedekig „önkéntesként” oktatott a Kossuth Lajos Tudományegyetemen: 1952–54-ben tanársegédként, 1966–74-ben címze-



tes docensként, 1974-től címzetes egyetemi tanárként. Kiválósága a tudományos ranglétrán is gyors előrehaladást biztosított számára. 1963-ban a fizikai tudomány kandidátusa, 1969-ben a fizikai tudomány doktora lett. Az MTA-nak 1973-tól levelező, 1985-től rendes tagja. 1976 és 1990 között Szalay Sándor utódként az Atommagkutató Intézet igazgatója volt. Nevéhez fűződik az első magyarországi ciklotron telepítése és a pozitron-emissziós tomográfia magyarországi meghonosítása a Debreceni Orvostudományi Egyetem kutatóival, orvosaival együttműködve. Ezeket a jövőt alapozó eredményeket elsősorban az ő kitalálásának, türelmének és hatalmas szervező munkájának köszönhetjük.

A rendszerváltás első éveiben 1990 és 1993 között látta el az MTA alelnöki feladatait, amely akkor sok fantáziát és alkotóerőt igénylő, nem szokványos feladatot jelentett. Kevesen tudják, hogy az Akadémia mai felépítésében milyen fontos szerepet kaptak akkori kezdeményezései (például az ő eredeti gondolatából született az Akadémiai Kutatóintézetek Tanácsa). 1993-tól 1999-ig Debrecen tágabb nemzetközi környezetének tudományos életét fogta össze a *Debreceni Akadémiai Bizottság* elnökeként. Ekkor kötelezte el magát a határon túlra szakadt magyarság tudományos műhelyeinek támogatása mellett. 1996 és 2006 között az Akadémia *Magyar Tudományosság Külföldön Elnöki Bizottságának* első elnöke volt. Betöltötte a Domus Hungarica Scientiarum et Artium Kuratórium és a Határon Túli Magyarok Oktatásáért Apáczai Közalapítvány Kuratórium elnöki posztját is. Mint emeritusz professzor nyugdíjasként is tovább dolgozott az Atommagkutató Intézetben.

Szenvedélyes közéleti ember volt. A tudományos élet számos szervezetében viselt vezető tisztséget. Több nemzetközi konferenciasorozat tudományos bizottságának és nemzetközi szakmai társaságoknak volt hosszabb ideig elnöke vagy alelnöke. Tagja volt a Nemzetközi Humanista Liga állandó bizottságának, a Mérnökök és Kutatók a Globális Felelősségért társaság tanácsának és a Londonban székelő Európai Akadémiának. Itthon elnöke volt a Nemzetközi Tudományos Unió Nemzeti Bizottságának és az Eötvös Loránd Fizikai Társulatnak, majd 2000-ben az Eötvös Loránd Fizikai Társulat tiszteletbeli elnökévé választották. A Debreceni Egyetem alapításának 100. évfordulós ünnepsését előkészítő Centenárium Bizottságot is ő vezette. Sokáig *Marx Györggyel* karöltve, majd 2003–2005-ig egyedüli főszerkesztőként szerkesztette a *Fizikai Szemlét*.

Szűkebb pátriája érdekében végzett munkájáért Debrecen városa díszpolgárai közé választotta. Szívügye, igazi édesgyermek volt a *Debreceni Szemle*; a kiadó alapítvány kuratóriumának és szerkesztőbizottságának elnökeként is dolgozott, miközben több más kuratóriumnak és szerkesztőbizottságnak is tagja volt.



Berényi Dénes nagyszámú eredeti tudományos cikk szerzője, tudományos konferenciák és műhelytanácskozások előadója, szellemi vezéregyénisége, széles érdeklődési körű, igazi humanista személyiség volt. Ismeretterjesztő munkássága a közelmúltig igen jelentős. A *Természet Világa* számára írt utolsó, nagy lélegzetű írása a folyóirat legutóbbi számában jelent meg. Egyik kedvenc témája az utóbbi években a környezetkutatás és a klímaváltozással kapcsolatos modellek kritikai elemzése. Erről két éve könyve is megjelent.

Kutatási eredményeit, oktató és ismeretterjesztő munkásságát, hazai és nemzetközi szakmai, tudományos teljesítményét két Akadémiai Díjjal, Állami Díjjal, az MTA ezüst érmével, valamint a Magyar Köztársasági Érdemrend középkeresztjével ismerték el. Az Eötvös Loránd Fizikai Társulattól fiatal korában díjat, később társulati érmet és Marx György-émlékérmet kapott. Egyéb hazai díjai: a Pro Renovanda Cultura Hungariae Pázmány Péter-díja (1997), a Kosuth Lajos Tudományegyetem Pro Universitate kitüntetése (1998), a Hajdú-Bihar Megyei Önkormányzat Emlékérme (2000), a DAB Pro Scientia Érme (2000), a Debreceni Zsidó Hitközség Tolerancia-díja (2000), a Határon Túli Magyar Felsőoktatásért Apáczai-érme (2002), a magyar kormány „Kisebbségekért” díja (2002), a *Természet Világa* folyóirat Szily Kálmán-plakettje, a Debreceni Egyetem Díszérme. A Debreceni Agrártudományi Egyetem, az Ungvári Nemzeti Egyetem, az Universitatea din Oradea (Nagyvárad) és a Babeş-Bolyai Tudományegyetem (Kolozsvár) díszdoktori címmel tüntette ki. Tiszteletbeli tagjává választotta a Horvátországi Magyar Tudományos és Művészeti Társaság, az Erdélyi Múzeum Egyesület pedig Gróf Mikó Imre-émléklappal és -plakettel tüntette ki.

Akik a közelében élhettünk, tudjuk, hogy ez a sok kitüntetés, elismerés is csak részben tükrözi mindazt, amit Dénes a szakmai és a tágabb közösségért tett. Önzetlensége, szerénysége, kedves, szeretetteljes lényé különös fényrel ragyogta be azokat, akik – rendszerint sokan – vele, körülötte dolgoztunk. Ez a munka nem volt mindig könnyű, de legkeményebben, legnagyobb kitartással ő dolgozott, ő adott példát. Talán erre a fényre akart emlékeztetni a Smithsonian Astrophysical Observatory, amikor róla nevezte el az (5694)3051 P-L jelű kisbolygót.

Mi, tanítványai, munkatársai mindig csodáltuk azt a csillapíthatatlan belső lendületet, amellyel dolgozott: energikusan, odaadással, derűsen és optimistán, a fásultság látható jele nélkül, még a kényszerű, nemszeretett munkának is értelmet, lendületet adva. Eközben mindvégig, mindnyájunk számára elérhető volt, és mi ezzel igencsak éltünk, olykor vissza is élünk. Legmeggyőzőbb érve a belőle sugárzó belső meggyőződés volt, és ez kezdeményezéseinek külön

nyomatékot adott. Ez tette őt olyan sok program sikeres vezetőjévé. Különös tehetsége volt arra, hogy embereket gyűjtsön maga köré; mindenki érezhette a bizalmát. Még az adott pillanatban és helyzetben reménytelennek látszó vállalkozásai is sikerre voltak ítélve, és ennek titka a résztvevők közös akaratának megteremtése volt.

A volt munkatársak és barátok, az ATOMKI egész közössége, a tágabb magyar fizikusközösség és a Kárpát-medence magyar tudományos kutatói most elbúcsúznak Berényi Dénestől, de tudjuk, hogy azoknak az épületeknek a tégláit, amelyekben dolgozunk, jó részt ő rakta le. Hite, szeretete, tudósi és emberi példája nemzedékeket gazdagít, öröksége áthatja munkánkat, döntéseinket, mindennapjainkat.

*Lovas Rezső, Sulik Béla*

### Berényi Dénes írásai a Fizikai Szemlében<sup>1</sup>

Gamma-spektroszkópia I–II. — 1955/131, 167  
 Termonukleáris atommagfolyamatok és a H-bomba (*Szalay Sándor, Berényi Dénes*) — 1956/145  
 Megjegyzések a magspektroszkópia problémáihoz — 1959/3  
 A pozitív béta-bomlás feltételei — 1963/263  
 Bujdosó Ernő, Kardoss Gilbert: Rádióizotópok aktiválási és lebomlási táblázata (könyvismertetés) — 1964/292  
 Tapasztalatok egyetemi fizikus hallgatók szemináriumi foglalkozásával kapcsolatban — 1965/156  
 Megjegyzések a tudományos teljesítmény színvonalának objektív felméréséről a fizikában — 1965/217  
 Gondolatok és megjegyzések egy amerikai tanulmányúttal kapcsolatban — 1965/373  
 Újabb eredmények az elektronbefogással kapcsolatban — 1966/21  
 Az elektronbefogás jelenségéről — 1968/352  
 Kutatások az alapvető kölcsönhatásokra vonatkozóan — 1970/196  
 Nukleáris gyorsítók alkalmazása az atomi spektroszkópiában — 1971/199  
 Miért nincs ciklotron Magyarországon? — 1972/24  
 Mi a fizikatanításunk alapkoncepciója? — 1972/64  
 Kutatási irányok a pozitron szétsugárzás vizsgálatában — 1972/75  
 Nemzetközi munkacsoport a NAÜ keretében — 1972/252  
 Túlkutatott-e a magfizika? — 1973/64  
 Deme S.: Semiconductor detectors for nuclear radiation measurements (könyvismertetés) — 1973/96  
 A magfizika és a nukleáris tudományok távlatairól és alkalmazásairól — 1973/190  
 Drága-e a magfizikai kutatás? — 1973/224  
 Távlatok és tendenciák a magfizikai kutatásban — 1974/129  
 Oktatás vagy kutatás? — 1974/256  
 Pál Lénárd: Fizika és társadalom. Hozzászólások: Nagy Elemér, Tarján Imre, Tihanyi Antal, Berényi Dénes, Erdey-Grúz Tibor, Valkó Iván Péter, Kovács István, Marx György, Mezei Ferenc, Bodor Géza, Montvay István, Keszthelyi Lajos, Lőrincz László, Sas Elemér, Öveges József — 1975/121  
 Sokat költ-e a modern társadalom kutatásokra? — 1975/316  
 A ciklotron új szerepben — 1976/1  
 Szimpózium a ciklotronok interdiszciplináris felhasználásáról, Debrecen, 1975 — 1976/36  
 Újabb fizikai módszerek a szerkezetkutatásban — 1976/53  
 Marx György: A kimeríthetetlen anyag (könyvismertetés) — 1976/78  
 Alkalmazott kontra alapkutatás — 1976/80  
 Az erők egyesítése vagy szétforgácsolása? — 1976/119  
 A magfizikai kutatás az energiatermelés szolgálatában — 1977/338  
 Morvay Ferenc köszöntése — 1978/78  
 Fizika és ipar — 1978/120

A fizikusok elhelyezkedési problémái (*Angeli István, Berényi Dénes, Somogyi György, Csom Gyula, Lovas Rezső, Kiss Árpád*) — 1978/237  
 A magyar ciklotron beruházás — 1979/41  
 Elektronspektroszkópia az alapkutatásban és a gyakorlatban — 1979/174  
 A nukleáris környezetvédelem problémái hazánkban — 1980/34  
 Szilárdtestkutatás újabb eredményei (5–6): Szilárdtestfelület-vizsgálatok új módszerei I–II. (könyvismertetés) (*B. D., K. L.*) — 1980/156  
 „Fizika, Fémtan, Technológiai fejlesztés II.” szeminárium — 1980/276  
 Elektronspektroszkópia — 1980/376  
 Fényes Imre: A fizika eredete (könyvismertetés) — 1981/117  
 Ion–atom ütközésének vizsgálata napjaink fizikájában — 1981/241  
 Koch Ferenc: Atomfizikai alapismeretek (könyvismertetés) — 1981/320  
 A fizika mindenütt — 1982/37  
 Newton I.: A Principiából és az Optikából, Levelek Richard Bentleyhez (könyvismertetés) — 1982/197  
 Vajda György: Energetika I. Általános kérdések, primér energiahordozók (könyvismertetés) — 1982/237  
 Fizikatanításunk koncepciójáról — 1982/391  
 Farkas János: A tudomány társadalmi lényege (könyvismertetés) — 1983/158  
 Toró Tibor: Kvantumfizika, művészet, filozófia (könyvismertetés) — 1983/311  
 Heinrich László: Newton klasszikus fizikája (könyvismertetés) — 1983/311  
 Hronszky Imre, Varga Miklós: A kémia újabb eredményei (42) (könyvismertetés) — 1984/160  
 Az interdiszciplináris fejlődés (*Berényi Dénes és mtársai*) — 1984/201  
 Fizikai módszerek az emberi környezet kutatásában és védelmében — 1984/326  
 Szalay Sándor és a debreceni kísérleti fizikai tudományos iskola — 1985/1  
 Friedrichs G., Schaff A.: Mikroelektronika és társadalom (könyvismertetés) — 1985/360  
 Feynman R.: A fizikai törvények jellege (könyvismertetés) — 1985/360  
 Henrich László, 1910–1985 — 1986/103  
 Bay Zoltán: A holdviasszhangtól az új méterig (könyvismertetés) — 1986/200  
 Szabó S. András: Aktivációs analízis az élelmiszerkémiában — 1986/360  
 Fizikai Centrum Debrecenben — 1987/235  
 Marx György 60 — 1987/358  
 Kutatóintézeti tudománymetria (ATOMKI 1954–1989) (*Zolnai László, Berényi Dénes*) — 1989/285  
 A nukleáris fegyverkísérletek teljes betiltása és ellenőrzése — 1989/336  
 Kovács Kálmán, 1937–1989 — 1989/389  
 Az atomfizika reneszánsza — 1989/445  
 Modern fizika a gépészmérnöki tudományokban és gyakorlatban — 1989/465  
 Szaharov A. D., 1921–1989 — 1990/188  
 Levél az MTA elnökéhez a Dubnai Kutatóintézet ügyében — 1992/444  
 „A főhivatású kutatóintézet a 20. század terméke” — 1993/60  
 Wiedemann László: Két esszé fizikáról, filozófiáról (könyvismertetés) — 1993/384  
 Nemzetközi konferencia a röntgen- és belső-héj folyamatokról, Debrecen, 1993. július 12–16. — 1993/416  
 Bay Zoltán aktualitása — 1993/470  
 Jelölés és modell a fizikában — 1994/23  
 Elektron ciklotron rezonancia ionforrás I–III. (*Berényi Dénes, Biri Sándor, Pálincás József, Vámosi János*) — 1994/89, 163, 198  
 A szinkrotron-sugárforrások legújabb fejlődése — 1994/285  
 Röntgensugárzás és belsőhéj-folyamatok — 1994/331  
 Marx George: The Voice of the Martians (könyvismertetés) — 1994/378  
 Nemzetközi Sugárfizikai Szimpózium — 1995/72  
 Tóth Béla: Maróthi György (könyvismertetés) — 1995/109  
 Marx György (szerk.): Planet in our hands – Atoms in our hands (könyvismertetés) — 1995/287

<sup>1</sup> Összeállította *Kármán Tamás*.

- Fizika az ezredfordulón — 1996/103  
 Penrose R.: A császár új elméje (könyvismertetés) — 1996/217  
 10 éves a magyar ciklotron — 1996/333  
 A CERN gyorsító-fizikai iskola megnyitója — 1996/364  
 Einstein A.: Hogyan látom a világot? (könyvismertetés) — 1996/367  
 A fizika helye és szerepe a tudományban és a társadalomban — 1997/139  
 Marx György 70 — 1997/145  
 Szinkrotronok a gyógyszerkutatásban — 1998/73  
 FIRKA (könyvismertetés) — 1998/110  
 Makkai László: A technika századai – válogatott tanulmányok (könyvismertetés) — 1998/111  
 Levél Nagy Károlyhoz — 1998/180  
 Nagy Ferenc (szerk.): Magyar tudóslexikon (könyvismertetés) — 1998/214  
 Nagy Ferenc (szerk.): A technika magyarországi történetéből (könyvismertetés) — 1998/214  
 A modern tudomány kialakulásának rövid története hazánkban — 1998/248  
 László Ervin: Harmadik évezred (könyvismertetés) — 1998/277  
 Búcsú Bartók Bélától? — 1998/317  
 Lightman Alan: Einstein álmai – regényfantázia (könyvismertetés) — 1998/320  
 Gondolataim a fizikáról és az atomfizikáról, a tudományról és az emberi életéről — 1998/327  
 A valóság bűvkörében – interjú (*Máté György*) — 1998/385  
 Jáki Szaniszló: A fizika látóhatára (könyvismertetés) — 1998/429  
 Természettudomány a valóság megismerésében — 1999/134  
 Hungarian science in world-wide competition — 1999/182  
 Hawking Stephen W.: Az idő rövid története (könyvismertetés) — 1999/255  
 Burke James: A nap, mely megváltoztatta a világot (könyvismertetés) — 1999/277  
 Gelenter David: Ami működik, az csodálatos – a technika esztétikája (könyvismertetés) — 1999/315  
 M. Zemplén Jolán: A felvidéki fizika története: 1850-ig (könyvismertetés) — 1999/422  
 Hawking Stephen, Penrose Roger: A tér és az idő természete (könyvismertetés) — 2000/36  
 PET a világban és Magyarországon — 2000/72  
 Neumann Jánostól az internetig – akik nyomot hagytak a 20. századon (könyvismertetés) — 2000/100  
 Gleick James: Káosz – egy új tudomány születése (könyvismertetés) — 2000/144  
 Hozzászólás Papp Zoltán és Pappné Patai Anikó véleményéhez — 2000/242  
 Mérő László: Észjárások – a racionális gondolkodás korlátai és a mesterséges intelligencia (könyvismertetés) — 2000/252  
 Horányi Gábor: Beszélgetések a kvantummechanikáról, a relativitáselméletéről és a megértés útjairól (könyvismertetés) — 2000/327  
 Elkészett köszöntés Csikai Gyula 70. születésnapjára — 2001/25  
 Az atomfizika helye és szerepe a tudományban és a gyakorlatban — 2001/53  
 Berkes István: A mindennapok fizikája – miért unjuk a fizikát? (könyvismertetés) — 2001/72  
 Csermely Péter, Gergely Pál, Koltay Tibor, Tóth János: Kutatás és közlés a természettudományokban (könyvismertetés) — 2001/138  
 A 21. század iskolája – Škola 21. storocia – Die Schule des 21. Jahrhunderts — 2001/139  
 Innováció – törvényi keretek – működési struktúrák — 2001/140  
 Fischer Ernst Peter: Arisztotelész, Einstein és a többiek (könyvismertetés) — 2001/228  
 Gazda István: Kis magyar tudománytörténet (könyvismertetés) — 2001/300  
 Az atom- és molekulafizikáról — 2001/320  
 Technikatörténeti kronológia — 2001/372  
 Vajda György: Energiapolitika (könyvismertetés) — 2002/68  
 Hann Judith: Barangolás a tudomány világában (könyvismertetés) — 2002/93  
 Marx György 75 éves (*Berényi Dénes, Pál Lénárd*) — 2002/133  
 MEH Stratégiai Elemző Központ: Innovatív társadalomgazdaság és jövőtudat (könyvismertetés) — 2002/200  
 A MATÁV szakszótár sorozata (könyvismertetés) — 2002/200  
 Feynman Richard P.: A felfedezés öröme (könyvismertetés) — 2002/276  
 Negroponte Nicholas: Digitális létezés (könyvismertetés) — 2002/368  
 Marx György nélkül — 2003/4  
 Makai Mihály: Megáll az ész? – a racionális modell korlátai (könyvismertetés) — 2003/80  
 Köszönet Zsuzsának — 2003/121  
 Ronyecz József: Lánczos Kornél élete és munkássága (könyvismertetés) — 2003/192  
 Hargittai István: Életeink – egy tudományos kutató találkozása a 20. századdal (könyvismertetés) — 2003/264  
 A Természet Világa Bolyai emlékszám (könyvismertetés) — 2003/348  
 Marx, G. (ed.): Eugene Paul Wigner Centennial (könyvismertetés) — 2003/384  
 Shachtman, T.: Abszolút zérus és a hideg meghódítása (könyvismertetés) — 2003/446  
 Planck válogatott írásai (könyvismertetés) — 2004/72  
 Köthe, R.: Kísérletek könyve (könyvismertetés) — 2004/107  
 Teller Ede: Huszadik századi utazás tudományban és politikában (könyvismertetés) — 2004/140  
 Szalay Sándor, az ember — 2004/172  
 Neumann-emlékszám (könyvismertetés) — 2004/176  
 Sagan, C.: Korok és démonok (könyvismertetés) — 2004/324  
 E. Szabó László: A nyitott jövő problémája (könyvismertetés) — 2004/324  
 Ismét a szinkrotronokról — 2004/361  
 Visszaemlékezés az ATOMKI alapításának 50. évfordulóján — 2004/427  
 A Fizika Éve – 2005 — 2005/1  
 Az energiakérdés ma – a fizikus szemével — 2005/22  
 Bíró Béla: Véges végtelen (könyvismertetés) — 2005/224  
 Gingyik Sz. Gy.: Történetek fizikusokról és matematikusokról (könyvismertetés) — 2005/260  
 Tusnády Gábor: Sztochasztika (könyvismertetés) — 2005/368  
 Pál Lénárd 80 éves — 2005/387  
 Búcsú a Fizikai Szemlétről — 2005/405  
 Ribár Béla, 1930–2006 — 2006/132  
 Silberer Vera, Staar Gyula (szerk.): A fizika százada (könyvismertetés) — 2006/177  
 Ropolyi László (szerk.): Wigner Jenő válogatott írásai (könyvismertetés) — 2006/317  
 Kaku, Michio: Hipertér (könyvismertetés) — 2007/68  
 Szabó Árpád: A fizika története (könyvismertetés) — 2007/208  
 Inzelt György: Vegykonyhájában szintén megteszi (könyvismertetés) — 2007/248  
 Icke, Vincent: Christian Huygens – jövő a múltban (könyvismertetés) — 2007/249  
 Szabó Árpád: Magyar természettudósok – fizikusok (könyvismertetés) — 2008/155  
 Lacza Tihamér: Bűvös táblázat (könyvismertetés) — 2008/200  
 Szentgyörgyi Zsuzsa (szerk.): Mérnök – tudós – iskolateremtő, Michalberger Pál és kora (könyvismertetés) — 2008/275  
 Alapvető fontosságú eredmények az atomfizikában — 2008/304  
 Magyar kutatók kutatási stílusa és a nemzetközi együttműködés — 2008/342  
 Vatai Endre, 1936–2008 — 2009/9  
 Révai Gábor: Beszélgetések nem csak tudományról (könyvismertetés) — 2009/115  
 Szalay Sándor — 2009/402  
 Aktuális kutatási témák a természettudományokban — 2010/129  
 Szemenyei István (főszerk.): Világhírű tudósok jelenről és jövőről (könyvismertetés) — 2010/177  
 Barabási Albert-László: Villanások – a jövő kiszámítható (könyvismertetés) — 2011/176  
 Deutsch Gyula, 1931–2011 — 2011/180  
 Rutherford aktualitása — 2011/198  
 Carroll Sean: Most vagy mindörökké – a végső időelmélet nyomában (könyvismertetés) — 2011/283  
 Smolin Lee: Mi a gubanc a fizikával? (könyvismertetés) — 2011/393  
 Palágyi Menyhért: A tér és idő új elmélete (könyvismertetés) — 2012/65  
 Herczeg János: Csillagórák Vekerci Lászlóval (könyvismertetés) — 2012/133

# A TÁRSULATI ÉLET HÍREI

## Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2012. évi Küldöttközgyűlése

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat éves Küldöttközgyűlésére 2012. május 19-én került sor az ELTE TTK Eötvös-termében (Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A).

A napirend előtti szakmai előadást *Ábrahám Péter*, az MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézetének igazgatója tartotta *Új irányok, hazai eredmények a csillagok keletkezésének megértésében* címmel.

Miután meggyőződött arról, hogy a Küldöttközgyűlés határozatképes – a 69 küldöttből 53 megjelent – *Kroó Norbert* elnök megnyitotta a Közgyűlést, köszöntötte a küldötteket, a meghívottakat, az elnökséget, valamint a Társulat érdeklődő tagjait. Röviden ismertette a napirendi pontokat, kérve a 6. napirendi pont előrehozatalát. A Közgyűlés megszavazta a napirendváltozást.

Ez után került sor – a Közgyűlés egyhangú egyetértésével – a Szavazatszámoló Bizottság (*Moróné Tapody Éva, Szénási Istvánné, Ujvári Sándor*), a Mandátumvizsgáló Bizottság (*Pántyáné Kuzder Mária, Theisz György*) és a Jegyzőkönyv-hitelesítők (*Jani Péter János, Nagy Dénes Lajos*) felkérésére.

*Sólyom Jenő*, a Jelölőbizottság elnöke ismertette az új, posztját 2013-tól betöltő, választott elnök személyére vonatkozó javaslatot: *Zawadowski Alfréd* akadémikus, emeritus professzor, a BME Fizikai Intézetének volt igazgatója. Más javaslat nem lévén az ő neve került föl a szavazócédulára.

Ezt követően tartotta meg *Kürti Jenő* főtáskari beszámolóját. A Közgyűlés elé terjesztette a Társulat közhasznúsági jelentésének gazdálkodási és számviteli beszámolóját, a 2012. évi költségvetési tervet, valamint a tartalmi beszámolót.

A tartalmi beszámolóban a közhasznú tevékenységek hivatalos csoportosítása szerint a következő témakörökben végzett társulati munkáról számolt be:

Kürti Jenő főtáskari beszámolóját tartja.



- tudományos tevékenység, kutatás;
- nevelés és oktatás, képességfejlesztés, ismeretterjesztés;
- kulturális tevékenység, kulturális örökség megővése, környezetvédelem;
- az euroatlanti integráció elősegítése.

Ennek keretében ismertette a Társulat szakcsoportjainak és területi csoportjainak a széleskörű, szakmai tekintetben kiemelkedően igényes rendezvényeit.

### *Gazdálkodási és számviteli beszámoló:*

Sajnos költségvetési támogatás – hasonlóan az előző évhez – nem volt a 2011-es évre sem. A vagyonunk 513 eFt-tal nőtt. Ezután következett a mérleg ismertetése, és az eredmény kimutatása a 2011-es évről. Mindezek részletezése megtalálható a *Fizikai Szemle* 2012/6 számában, az ELFT 2011. évről szóló közhasznúsági jelentésében.

### *2011. évi pénzügyi beszámoló és 2012. évi költségvetési terv*

A 2011-es eredmény: 513 eFt. Ez az összeg a mérlegben tőkeváltozásként került átvezetésre. Ez a növekedés javulás az előző évi 227 eFt növekedéssel összehasonlítva. Az eredmény-kimutatás részletezése megtalálható a *Fizikai Szemle* 2012/6 számában, az ELFT 2011. évről szóló közhasznúsági jelentésében.

A 2012-es tervezett eredmény: 694 eFt.

A társulat anyagi helyzete sajnos továbbra is aggasztó. Az 1989. évi állapotot tükröző induló tőkéhez (7,6 Mft) képest – bár az elmúlt két évben kicsit nőtt – még mindig csak 3,6 Mft a vagyonunk. Sajnos költségvetési támogatás 2011-ben sem volt és az egyéb támogatások is csökkentek. Az MTESZ a csőd szélén van.

Pozitívum viszont, hogy a MOL továbbra is rengeteget áldoz a tehetségnevelésre. 2011-ben ismét 3,5 millió forinttal támogatta a Társulatot, ami nagy segítség volt. Meg kell még említeni az Innovációs Szövetségen keresztül a Knorr-Bremst, amely az Anketot támogatja, valamint a Paksi Atomerőművet és az Ericssont, továbbá a National Instruments Hungary Kft.-t és a Magnificat Kft.-t, mint támogatókat. Az MTA pedig felajánlott Simonyi Károly *A fizika kultúrtörténete* című könyvének legújabb kiadásából 25 darabot a különböző versenyeken, illetve a Tanári Anketon történő díjazásokra.

### *Tartalmi beszámoló a közhasznú tevékenységről:*

A részletes beszámoló szintén megtalálható a már említett közhasznúsági jelentésben, ezért itt csak vázlatosan foglaljuk össze.

- Szakcsoportok programjai (például: 36. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam, Anyagtudományi Őszi Iskola, Nanoelektronikai Nemzetközi Konferencia, Statisztikus Fizikai Napok, Őszi Fizikus Napok

Nyíregyházán, Közép- és Általános Iskolai Fizikatanári Ankét, elméleti fizikai iskolák stb.)

– Tudományos tevékenységek, kutatások (például: Marx György-emlékelőadás, CERN-látogatás, Science on Stage Koppenhága stb.) A tavalyi évben 2 új tiszteletbeli tagja lett a Társulatnak (*Prof. Joachim Burgdörfer* és *Prof. Kövesi-Domokos Zsuzsa*), mindketten megtartották székfoglaló előadásukat.

– Nevelés és oktatás, képességfejlesztés (például: 54. Országos Fizikatanári Ankét Sárospatakon, CERN-i tanulmányút, tanulmányi versenyek – Eötvös, Öveges, Mikola, Szilárd Leó, Ortway. A területi csoportok szervezésében kiemelkedő például a Varázstorony vetélkedő. A Fizikai Diákolimpiára felkészítő csapat tagjai a Társulattól kerültek ki stb.)

– Ismeretterjesztés: ezen a téren jelentős volt a területi csoportok tevékenysége (például: Baranya megyei „Kis esti fizika” című hagyományos előadássorozat, Debreceni Fizikusnapok, Győr-Moson-Sopron megyei csoport tudományos ülése, Fejér megyei ismeretterjesztő előadások, Csongrád megyei csoport ismeretterjesztő rendezvényei). Fizibusz – vándorló fizikai kísérletek. Atomcsill – előadássorozat középiskolásoknak. A Csodák Palotáját felügyelő Budapest Science Centre Alapítvány kuratóriumának újraválasztása. A *Fizikai Szemle* önálló megjelentetése mellett a KöMaL előállításában is részt veszünk, de ez utóbbi főként a MATFUND Alapítvány feladata. A KöMaL 2012-ben megkapta a Magyar Örökség Díjat.

– Kulturális tevékenységek, kulturális örökség megóvása: ennek keretében Eötvös Loránd emléktáblájának és sírjának koszorúzása, Gábor Dénes emléktábla koszorúzása, Bozóky László emlékülés és síremlékének megkoszorúzása.

– Euroatlanti integráció elősegítése: Az EPS munkájában Kroó Norbert és Nagy Dénes Lajos, a CERN-ben *Sükösd Csaba*, a Science on Stage-ben *Kovách Ádám*, Sükösd Csaba és Ujvári Sándor képviselik a Társulatot. A Science on Stage legutóbb 2011. április 16–19. között zajlott le Koppenhágában, a következő 2013-ban lesz Słubice / Frankfurt (Oder)-ben.

Ezt követően került sor a Felügyelő Bizottság jelentésére. *Újfalussy Balázs* elmondta, hogy a Felügyelő Bizottság folyamatosan figyelemmel kísérte a Társulat működését. A gazdálkodás kiegyensúlyozott, a mérleg pozitív. A beszámolót, a tervet elfogadásra javasolta a bizottság. Az elnökségi üléseket havi rendszerességgel megtartották. A konferenciák nehezen tervezhetőek, de nagy szükség van rendezvényekre. A *Fizikai Szemle* és a Csodák Palotája ügyével is foglalkoztak. A Stratégiai Bizottság elmaradásban van ígéretei megvalósításában. A Társulat működése és gazdálkodása 2011-ben megfelelt az alapszabálynak. A Bizottság kéri a jelentés tudomásulvételét.

Kroó Norbert elmondta, hogy a Stratégiai Bizottság munkája tavaly kezdődött, de a sok egyéb elfoglaltság, valamint a jogszabályi környezetben történt sok változás miatt ez elhúzódik, ezért a Bizottság nevében is elnézést kér.



Zawadowski Alfréd, a megválasztott új elnök.

Ezután szavazásra került sor, aminek eredményeképpen a főtitkári beszámolót és a Felügyelő Bizottság jelentését is a jelenlevők egyhangú igennel elfogadták.

Ezt követően Kürti Jenő ismertette az elnökség javaslatát az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Érmére és a Prométheusz-éremre. Az előbbire *Bakos József*, az utóbbira *Kopcsa József* a jelölt. A főtitkár elmondta, hogy az egyes díjakra vonatkozó javaslatokat a díjbizottság megtárgyalta. A tizenhárom tudományos díjból hatot lehet egy évben kiosztani. *Faigel Gyula*, a bizottság elnöke korábban jelezte, hogy megbízatásuk túlhaladta a 4 évet, ezért az elnökség új díjbizottságot választott, amiről – az ügyrend előírásai szerint – a főtitkár tájékoztatta a Közgyűlést.

Régi díjbizottság: *Csákány Antalné, Érdi Bálint, Faigel Gyula* (elnök), *Iglói Ferenc, Kertész János, Mester András, Nagy Dénes Lajos, Radnóczi György, Trócsányi Zoltán*.

Új díjbizottság: *Benedict Mihály, Biró László Péter, Halász Tibor, Hebling János, Iglói Ferenc, Jánossy András, Kamarás Katalin* (elnök), *Nagy Dénes Lajos, Oláh Katalin, Patkós András, Ujvári Sándor, Vibók Ágnes*.

A mostani döntést a díjakról még a régi díjbizottság hozta.

Ezután szünet és szavazás következett. A küldött-igazolványok leadásakor minden résztvevő megkapta a szavazólapokat, ezzel szavazhattak. Három személyre kellett leadni a szavazatot: az új elnökre, valamint az ELFT-éremre és a Prométheusz-éremre javasolt személyekre. A szünet ideje alatt a Szavazatszám-láló Bizottság összesítette az eredményeket.

A folytatódó közgyűlésen a Szavazatszám-láló Bizottság elnöke kihirdette az eredményt.

Az új elnök személyére 53 érvényes szavazat esett, ebből 52 igen és 1 nem. Tehát a Társulat megválasztotta elnöknek Zawadowski Alfrédot, aki 2013-tól kezdi meg elnöki munkáját. Kroó Norbert gratulált a megválasztott elnöknek. Zawadowski Alfréd megköszönte a szavazatokat. Elmondta, hogy elnökségének időszaka nem ígérkezik könnyűnek. A fizika kiszorul az oktatásból, nagy probléma a NAT kérdése is. Nem a saját véleményét próbálja majd ráerőltetni másokra, hanem igyekezni fog beszélgetésekkel konszenzusra jutni.

A két érem esetén is megvolt az 53 érvényes szavazat. Bakos József 53 igen és 0 nem, Kopcsa József pedig 52 igen és 1 nem szavazatot kapott.

Ezután a díjbizottság képviselője, Nagy Dénes Lajos és Kürti Jenő főtitkár adták át a díjakat:

- *Barnaföldi Gergely* – Jánossy Lajos-díj,
- *Bobátka Sándor* – Selényi Pál-díj,
- *Fodor Gyula* – Novobáztzy Károly-díj,
- *Hartmann Péter* – Budó Ágoston-díj,
- *Lábár János* – Schmid Rezső-díj,
- *Vinkó József* – Detre László-díj,
- *Bartos Elekes István* – Eötvös Plakett,
- Kopcsa József – Prométheusz-érem,
- Bakos József – ELFT-érem.

Átadásra került a *Fizikai Szemle* nívódíja is a *Bokor Nándor* – *Laczik Bálint* szerzőpárosnak, illetve *Radnai Gyulának*.

Bakos József, Bohátka Sándor és Hartmann Péter nem tudtak eljönni, így ők egy későbbi időpontban fogják megkapni díjukat.

Az utolsó napirendi pontban Nagy Dénes Lajos a Stratégiai Bizottság elnöke elmondta, hogy a Felügyelő Bizottságnak sajnos jogos volt az észrevétele, ugyanis késésben vannak. Rövid történeti áttekintést adott az előzményekről. Az ELFT 1949-ben alakult meg a mai formájában. Az 1970-es alapvető átalakulás *Marx György* nevéhez fűződik. 1993–1997 környékén újabb átalakulásra került sor a közhasznúsági törvény miatt. Napjainkban ismét elkerülhetetlen feladat lett a megújulás. A tavalyi Közgyűlésen született meg a stratégiai terv. Azonban recessziós időben, változó jogszabályi környezetben nehéz új stratégiát kialakítani. Folyamatosan kommunikálni kell a tagsággal. Egy internetes vitaforum van készülöben, amely hamarosan elindulhat. A 2011 végén létrejövő új civil törvénynek vannak olyan pontjai, amelyek júniusban lépnek hatályba, így nehéz egy új stratégiát kialakítani. Az MTESZ helyzete is bizonytalan. Meg kellene fontolni, hogy a Társulat tagja legyen-e az MTESZ-nek vagy sem. A támogatási rendszer is átalakult, beszűkült. 2009 óta nincsen mecenatúra támogatás, amiből a nemzetközi tagdíjakat lehetne fizetni. Jövőre feltehetően az SZJA 1%-a is csökken az egykulcsos adó miatt.

Kroó Norbert elnök a Prométheusz-éremmel kitüntetett Kopcsa József társaságában, háttérben Nagy Margó ügyvezető titkár.



A Stratégiai Bizottság egy év halasztást szeretne kérni. Egyik fontos kérdés a *Fizikai Szemle* papíralapúsága, és hogy továbbra is a tagdíj fejében kapják-e a tagok. A szak- és területi csoportok is alakítsák ki véleményüket, és juttassák el az elnökséghez!

Nagy Dénes Lajos nem javasolt vitát, de ha kérdése van valakinek, akkor nyugodtan tegye fel.

Kroó Norbert kérte, hogy a Közgyűlés hatalmazza fel a Stratégiai Bizottságot az egy éves halasztásra.

*Zátonyi Sándor* felhívta a figyelmet, hogy a Békés Megyei Csoport javaslata nem hangzott el a stratégiai kérdésekben és szeretnének választ kapni két javaslatukra: a *Fizikai Szemle* elektronikus formában jelenjen meg, illetve a tagdíjából kapjanak támogatást a területi csoportok.

Kürti Jenő elmondta, hogy az áprilisi elnökségi ülésen beszéltek ezekről a kérdésekről, amelyeket azonban nehéz elválasztani a nagy stratégiától. Lehet, sőt kell beszélni róla, de határozatot nem érdemes most hozni. A konkrétumokra is kitért. A *Fizikai Szemlénél* meg lehetne takarítani a nyomdai és a postázási költségeket, de többet veszítene a Társulat, mint nyerne. Az MTA a nyomdák költségre adja a támogatást, tehát attól eszne az ELFT, ugyanígy a Paksi Atomerőműtől kapott pénztől is. Összességében körülbelül 6 MFt-ot veszítenénk, és csak 4 MFt-ot spórolnánk. A csoportok támogatása is a stratégia része. Mivel a 2011-es évet pozitívan zárta a Társulat, így megvalósulhat a támogatás. A konkrét cél, terv megjelölésével ez az út nyitott.

Moróné Tapody Éva szerint a legfontosabb az, hogy a Társulat létszáma ne csökkenjen. Azon kellene elgondolkodni, hogy mi legyen „a miért érdemes belépni az ELFT-be?” kérdésre a válasz. Nem lenne célzerű egy évet várni.

*Härtlein Károly* szerint a *Fizikai Szemlében* kevés cikk van, amely a tanároknak szól. Aki a Science on Stage-en indul, az írhatna egy cikket a *Szemlébe*.

Nagy Dénes Lajos elmondta, hogy a véleményeket továbbítja a Stratégiai Bizottságnak. Személy szerint támogatja a *Fizikai Szemle* elektronikus megjelenését, de csak távlatilag, és előtte beszélni kellene a támogatókkal.

Kroó Norbert szerint nem kell mindenkinek mindenben egyetértenie. Legfontosabb a tagság létszámának növelése. Ezekkel a kérdésekkel mindenképpen foglalkozni kell!

Kroó Norbert lezárta a vitát.

A Közgyűlés a következő 3 pontban egyhangúan egyetértett:

- A Stratégiai Bizottság folytassa munkáját!
- A Stratégiai Bizottság a legrövidebb időn belül indítsa el a fórumot!
- Az elnökség folyamatosan tájékoztatva legyen!

A zárszóban Kroó Norbert elnök úr megköszönte a Közgyűlésen való megjelenést és a bizottságok, csoportok munkáját. A jövőre nézve további jó közös munkát és kellemes nyarat kívánt, majd bezárta a Társulat 2012. évi Küldöttközgyűlését.

*Kürti Jenő*

# Alkalmazásorientált funkcionális anyagok – Őszi Iskola

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Anyagtudományi és Diffrakciós Szakcsoportja 2012-ben is közösen szervezi az immár hagyományossá vált Őszi Iskolát. Az idei iskola témája: „Alkalmazásorientált funkcionális anyagok”.

A rohamléptekkel fejlődő modern technika az anyagtudományt is folyamatosan új kihívások elé állítja, mert vagy egyre egzotikusabb alkalmazásokat kell hogy kiszolgáljon, vagy kimerülő ásványkészleteket kell pótoljon, költségeket kell csökkentsen. Az ilyen célból előállított anyagokat nevezzük funkcionális anyagoknak. Az új funkcionális anyagok megkívánt jellemzőit az alkalmazási igény szabja meg. Az anyagok fejlesztésének hátterét az anyagok fizikai, kémiai tulajdonságainak egyre mélyebb megértése biztosítja, sokszor alkalmazásuk mérnöki szintű ismeretével együtt. Az anyagok szerkezetének megismerése, egyedülálló tulajdonságaira való rávilágítás új előállítási és/vagy feldolgozási módszerek fejlesztését vonja maga után. Ennek következtében egyre gyakrabban játszik úttörő szerepet a számítógépes modellezés. Sok esetben biológiai összeférhetőséggel kombinálva nyílnak új, érdekes kutatási területek és alkalmazási lehetőségek.

Iskolánk célja, hogy az új funkcionális anyagokat, valamint az ezekhez kapcsolódó új anyagelőállítási és anyagvizsgálási módszereket mutassunk be. Célunk, hogy az iskola hallgatói megismerkedjenek a funkcionális anyagokkal és felhasználásukkal kapcsolatos legújabb kutatási eredményekkel.

Az idén is megőrizzük az Őszi Iskola hagyományos felépítését, ezért meghívott előadók tartanak hosszabb, összefoglaló jellegű előadásokat, főleg PhD, illetve diplomázó hallgatónak.

Emellett várjuk azon kollégák jelentkezését, akik rövidebb előadást kívánnak tartani a szakterület kurrens témáiról, vagy saját eredményes kutatásairól.

Az iskola 2012. október 3-án, szerdán ebéddel kezdődik és 2012. október 5-én, pénteken délután ebéddel zárul. Az iskola helye: Mátrafüredi Akadémiai Üdülő, 3232 Mátrafüred, Akadémia u. 1–3.

A költségek előre láthatóan az alábbiak szerint alakulnak:

ELFT-tagnak 30 eFt, ami tartalmazza a részvételi díjat + szállásköltséget.

Nem ELFT-tagnak 33 eFt, ami tartalmazza a részvételi díjat + szállásköltséget.

Jelentkezési határidő: 2012. szeptember 17-e (hétfő). Kérjük, hogy a hatékony szervezés érdekében a határidőt szíveskedjenek betartani.

Jelentkezéshez az alábbi adatokat kérjük: név, intézet neve, címe (ahova az ELFT által kiállított számlát kéri), e-mail cím, más elérhetőség (például telefon/mobil telefon), ELFT tag-e.

A jelentkezési adatokat a következő címek egyikére kérjük e-mailben vagy faxon elküldeni: *Újfalussy Balázs*, [ujfalussy.balazs@wigner.mta.hu](mailto:ujfalussy.balazs@wigner.mta.hu), 1-392-2215 vagy *Fábián Margit*, [fabian.margit@energia.mta.hu](mailto:fabian.margit@energia.mta.hu), 1-392-2215.

## AZ AKADÉMIAI ÉLET HÍREI

### MTA TTK MFA kutatótábor: középiskolások a kutatólaborban

Ötödik alkalommal is sikerrel zárult a „Tanuljunk egymástól” nyári iskola

A Magyar Tudományos Akadémia Természettudományi Kutatóközpont Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézete (MTA TTK MFA) a műszaki és természettudományos pálya népszerűsítése érdekében 2012. június 25. és 29. között ötödik alkalommal rendezte meg hagyományos nyári táborát. A táborba 24 diák nyert felvételt, és egy teljes héten át dolgozott együtt az Intézet kutatóival. A leggyorsabban fejlődő és a jövőt meghatározó kulcstechnológiák – a nanotudományok, a mikro- és nanoelektronika, a korszerű anyagtechnológia, a fotonika és a biotechnológia – egyes területeibe kaphattak bepillantást a 8-11. évfolyamos középiskolások.

A széles körben meghirdetett „Tanuljunk egymástól” programra internetes pályázaton az ország és a Kárpát-medence minden részéből érkezett pályázat. A kezdeményezés nem titkolt célja a kritikus szint alá csökkent hazai műszaki és természettudományos érdeklődés élénkítése volt. A jelentkezők közül az inté-

zet emeritus professzoraiból és vezető kutatóiból álló zsűri választotta ki azt a 24 főt, akik egy hetet Csillebércen, az MTA TTK MFA-ban tölthettek az intézet költségén. A legfiatalabb diák 14 éves, a 8. osztályt az idén végezte el, a többiek pedig 11. osztályos 17-18 éves diákok, akik jövőre érettségiznek.

A nyári iskolás középiskolások – akik közül idén feltűnően sok volt a lány – ezen a héten bepillantást nyertek az intézetben folyó kutatásokba, kipróbálhatták magukat a fizika, kémia, biológia, informatika és a mérnöki tudományok területén, ráadásul saját ötleteiket is megvalósíthatták. Munkájukat az intézet doktórandszainak, fiatal kutatóinak irányításával, mentori segítséggel végezték.

A diákok az intézet teljes infrastruktúráját és nagy értékű eszközparkját igénybe vehették a munkájukhoz; az elektronmikroszkópokat, a spektroszkópiai laboratóriumokat, a mintaparációs berendezéseket és a



mikroelektronikai tiszta-teret. A már hagyományos témák – mikroelektronikai érzékelők fejlesztése, nanobevonatok elektronmikroszkópos vizsgálata – mellett a fiatalok újabb kutatási területekbe is bekapcsolódhattak. Első kézből szerezhettek tapasztalatokat alapkutatási témákról: a „Schrödinger macskája” problémáról, játékelméleti kérdésekről, ZnO nanodetektorok fejlesztéséről, továbbá gyakorlati eredményeket is felmutató témákkal, elektrokróm rétegek készítésével vagy acélkerámia kompozitok előállításával is próbálkozhattak.

Nemcsak tudással, hanem szabadidős élményekkel is gazdagodtak a fiatalok. *Daróczi Csaba Sándor* – a nyári iskola főszerzőjének vezetésével – az egy hét során meglátogatták Budapest és környéke nevezetességeit és a szomszéd intézmény jóvoltából kipróbálhatták az MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont csillagászati távcsövét is. A diákok a laboratóriumban végzett munkájukról pénteken az MTA TTK MFA Tudományos Tanácsa előtt adtak számot.

Az ünnepélyes oklevélátadáson *Bársony István* igazgató elmondta: „Ezzel a kezdeménnyel a fiatalokban a felismerés és az alkotó munka örömeinek megismertetése és megszerettetése a célunk, hiszen közvetve vagy közvetlenül csak az alkotó munkától várhatunk gazdasági és társadalmi felemelkedést.” Hozzátette, hogy a „Tanuljunk egymástól” kezdeményezés nevének megfelelően a héten nemcsak a diákok, hanem a mentorok is sokat tanultak. Kutatási idejükben az évek során egyre lelkesebben, színvonalasabban és hatékonyabban áldoznak évente egy hetet az utánpótlás nevelésre.

Búcsúzóul a diákok kézhez kaptak egy „túlélő csoportot” is, amelyben napelemes elektromos autó, ultrabolya LED, mágnes és lézer is helyet kapott. A szervezők reményei szerint ezzel olyan kísérleteket végezhetnek majd otthon és az iskolájukban, amelyekkel társaikban is felkeltik az érdeklődést és velük is megszeretik a természettudományokat.

## Nyíregyházáról az MTA nyári táborába

Az MTA Természettudományi Kutatóközpont Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézete 2012-ben is meghirdette a Nyári Iskolát középiskolás diákoknak a 2012. június 25–29. közötti hétre.

A tudományos kutatótáborba olyan fiatalok jelentkezését várták, akik nem a 2011–2012-es tanév végzős diákjai és érdeklődésük a természettudományos tárgyak iránt meghatározó.

A tanév végének közeledtével a fenti feltételeknek megfelelő, szorgalmas, de az éves munkában megfáradt diákok első hallásra lelkesedéssel, majd kissé közömbösen fogadták a hírt a pályázat lehetőségéről. Különösen azért, mert segítség felhasználásával ugyan, de a pályázat zömét maguknak kellett megírniuk.

A pályázatnak tartalmaznia kellett a személyi adatok mellett a diák önéletrajzát, továbbtanulási terveit, a vá-

lasztott kutatási témát annak indoklásával, nyelvismeretének szintjét, saját ötleteket, valamint ajánlásokat. Jelentkezni elektronikus formában június 4-ig lehetett.

A leírtaknak eleget tevő diákjaim közül végül is egy lelkes maradt, aki a pályázati anyagot elkészítette, és azon szerencsések közé tartozott, akit az MFA professzorai kiválasztottak.

*Nádasi Gábor* 2005 szeptembere óta a tanítványom: együtt tanultunk három éven át matematikát, amelynek során alaposabban megismerhettem. Megoldásaiban néha olyan elgondolásokat lehetett találni, ami kreativitásának a csírát hordozta. Algoritmikus gondolkodása is megfelelően alakult: a matematikai helyzetekben megkívánt szabálykövetéseket az egzaktságra törekedve tartotta szem előtt. A fizika – a mindennapi élet – tanulmányozását már a tantervben





előírt idő előtt elkezdtük: a *Jármezei Tamás* által szervezett Jedlik Ányos Fizikaversenyen a Bolyai korcsoporttól kezdve szorgalmasan és esetenként eredményesen szerepelt. Ennek köszönhetően a Mozaik levelezős tanulmányi versenyen, valamint a Nyolcosztályos gimnáziumok tanulmányi versenyén is szépen teljesített. Tanórai munkáját a szorgalom, kitartás és a teljesíteni akarás jellemzi. Együttműködési képessége jó: a közös munkát az optimális elosztást követően hatékonyan végzi el. Vonzódása a természettudományokhoz jó kezűgyességgel és vizuális képességgel egészül ki, így útját kereső fiatalemberként jövőjének tervezése szempontjából is hasznos lehetett számára ez a természettudományos kutatótábor.

Gabi a tábor meghatározó élményeit foglalta össze röviden, egyúttal buzdítva társait a lehetőségek kihasználására:

„Nagy örömmre szolgált, hogy a sikeres pályázás után kiválasztottak az MFA fizikusi nyári iskolájába júniusban, s így egyedül »képviselhettem« Nyíregyházát az ország minden részéről, és többek közt Erdélyből érkezett lelkes kutatótársak között.

A Magyar Tudományos Akadémia Természettudományi Kutatócentrum Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézete (MFA) által immár ötödik alkalommal megrendezett Nyári Iskola azt a célt szolgálja, hogy a kíváncsi, reál tantárgyakból (főleg fizikából) jól teljesítő, de még nem végzős diákoknak lehetővé tegye a bekapcsolódást különféle kutatásokba és a megismerkedést magával a kutatói szakmával. Mindezt ösztöndíjas rendszerbe illesztve, azaz a szerencsés kiválasztottnak az utazás költségeinek megtérítésén kívül ingyenes szállást és étkeztetést is biztosítanak – nem is akármilyet!

Idén 23 diákot választottak ki, akik közül 9-en voltak lányok. Szinte mindannyian külön témát választot-

tunk, csupán két duó és két trió akadt közöttünk. A június 24-i, vasárnapi érkezés (az utazást mindenkinek önállóan kellett megszerveznie), ismerkedés és túrázás (Budapest, Csillebérc) után hétfőn a főépület tanácsstermében köszöntöttek minket, majd a bemutatkozások és a balesetvédelmi oktatás után az összes, listán szereplő laboratóriumot meglátogattuk a kutatóközpont (KFKI) területén. A nézelődést csak a sok felújítási munka, a szakadó eső és a CERN új szerverparkjának építése nehezítette meg kissé, de maga a környék, az erdős, parkos helyszín sokat dobott minden »kolléga« hangulatán. Mint minden nap, a hétfő is kellemes közös programokkal zárult, a Millenáris Park megtekintése után körbesétáltuk a Margit-szigetet.

Kedden azután minden résztvevő számára beindult a meló. Én az »Optikai rács készítése holográfiával« című témában tevékenykedtem a mentorommal, *Há-mori Andrással*, akitől rengeteget tanultam már aznap is, mert a délelőtt a holográfiai labor, valamint az elvégzendő munka megismerésével zajlott, s az ínycsiklandó ebéd után mentem csak át a 18-as épületbe, ahol egy több szobás steril tér fogadott. Ez egy olyan helyiség, ahol túlnyomás uralkodik, így a levegő kifelé áramlik, s a bent lévőknél a testet szinte teljesen beborító ruha »feszül«, mindezzel megakadályozva a legkisebb szennyeződés bekerülését, a minták tönkretételét (főleg szilíciumlaposkákról van szó). Itt előkészítettem a munkámhoz elengedhetetlen üveg-hordozókat (*a képen ez látható*), és a salétromsavas letisztítás után fotoreziszt-lakkréteget vittem fel rájuk egy speciális centrifuga segítségével. A munkaidő letelte után egészen éjfélig kémleltük az eget a tábor melletti egyik csillagvizsgálóban.

Szerda délelőtt végeztem a sterilszobában előző nap megkezdett munkámmal és délután már nekieshettem az üveglapokon található lakkréteg beexponálásának a hélium-kadmium lézer segítségével. Már az első próbálkozás sikeres lett, ezért később (pár szabályos minta elkészítése után) szándékosan kellett elrontanom néhányat, hogy lássam a különbséget a jó és a rossz között. A nap a Hősök terén és a Gellért-hegyen történő csatangelőssel zárult.

Csütörtökön azután a munka végleges befejeztével belekezdtem a témahet lezáró prezentációm elkészítésébe, s a sportpályán szalonnasütéssel eltöltött búcsúest után pénteken – a többiekhez hasonlóan – én is számot adtam a táborban szerzett ismereteimről és élményeimről.

A napot – és a hetet – pingpongozással, valamint a tábor medencéjében való fürdőzéssel és egy hajnalig tartó Budapest-túrával zártuk le végleg, majd szombaton egy kalandos hazautazás keretében visszaérkeztem Nyíregyházára.

Ezzel a cikkel szeretném bátorítani az összes kíváncsi és kalandvágyó természetű diákot arra, hogy jövő május-júniusban pályázzon az MFA Nyári Iskolában való részvételi lehetőségre, mert ha bekerül (ami igazán nem nehéz dolog), egy életre szóló élményben lesz része!”

*Leitner Lászlóné, Nádasi Gábor*

# Akadémiai kutatóközpontban azonosították a szupravezetőkön belüli kölcsönhatásokat

Az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont három munkatársa, *Kamarás Katalin* akadémikus, *Klupp Gyöngyi* és *Matus Péter* elsőként azonosították egyértelműen az

elektromos ellenállás nélküli áramvezető anyagokban fellépő kölcsönhatásokat. Eredményeiről a *Nature Communications* című folyóiratban számoltak be.

## Akadémiai kutatóközpontban ellenőrzik a CERN adatait

Az elemi részecskék tömegéért felelős Higgs-bozon kimutatására a svájci Genf mellett épült Nagy Hadronütköztető egyik észlelőrendszeréből, a CMS-ből származó adatok egy részének kezelését mostantól közvetlenül az

MTA Wigner Fizikai Kutatóközpontban (MTA WFK) végzik. A budapesti CMS-állomás az akadémiai intézmény és az Európai Nukleáris Kutatói Szervezet (CERN) együttműködésének újabb fontos fejezete.

## HÍREK ITTHONRÓL

### Tíz éves a Varázskuckó, Debrecen

„A Magyar Érdemrend Lovagkeresztrel kitüntették ki *Nagy Mihályt*, a Hatvani István Kísérletező Verseny megalapítóját, a »Varázskuckó, Debrecen« Természet-tudományos Játsszóház Alapítvány kuratóriumának elnökét.” (*Hajdú-Bibari Napló*, 2012. március 16.)

Igen, a 2011-ben tízéves „Varázskuckó, Debrecen” egyik megalapítóját állami kitüntetésben részesítették. Megérdemelten. Jómagam is sokszor voltam előadásai-  
k, kísérletező délutánjaik részese. Férfiasan bevallom, hogy egyik-másik kísérletet nem ismertem régebben, ám ez csak emlékezetesebbé tette az élményt.

A Debreceni Református Kollégium több évszázados hagyományainak megfelelően itt is felkarolták a Csodák Palotájához hasonló, a természettudományos ismeretek játssza tanulása terén működő intézmények ügyét. Nagy Mihály és munkatársai, látva az ezen a téren egyre halmozódó gondokat, megpróbálták tenni valamit, nehogy az derüljön ki, hogy a 21. században a szellemileg-testileg rest utókor szégyenszemre nem képes használni a nagyhírű elődök által ránk hagyományozott, sokszínű technikai-tudományos örökséget. Ugyanis nem elég, hogy van valamink, azt működtetni is kell. Ha nem tudunk valamit működtetni, az olyan, mintha az nem is lenne..., csak költségesebb. Vagy azért, mert kihasználatlanul áll, vagy azért, mert a tudatlan felhasználó tönkreteszi azt. Lehet, hogy hamarosan így járnak például a nukleáris erőművek, ahol rengeteg tudás halmozódott fel, ami kihasználatlan marad, ahogy a médiumok hisztérikusan ellenzik az ilyen energiaforrásokat, az általuk manipulált tömeg pedig nyomást gyakorol, hogy dobjuk el a hasznos tudást. De mi lesz, ha pár évtized múlva kiderül, hogy mégsem lehet megkerülni ezt az energiaforrást sem? Addigra a mai tudás birtokosai már lehet, hogy ki is

halnak... Könyvből megtanulni valamit üzemeltetni nem azonos az élő gyakorlati tudással.

A gyakorlati tudás kialakításához kerestek helyet a fővárosi Csodák Palotája kisöccsének, és azt egy megértő iskolaigazgató jóvoltából a Dóczy Gimnázium két helyiségében találták meg. Létrehoztak egy alapítványt, hogy gazdaságilag is képesek legyenek fenntartani az általuk kezdeményezett „Varázskuckó Játsszóházat”. A debreceni tanárok segítettek a Kuckót étellel megtölteni. Kettejük nevét ide is írom: *Kotormán Mihály*, *Kirsch Éva*, de sokkal többen vannak. Sok öreg, már nyugdíjas és sok fiatal tanár, mérnök, kutató sorakozott fel a Varázskuckó zászlaja alá. Segítséget nyújtottak az egyetemek tanszékei, az ATOMKI, a társadalmi egyesületek, például Magnitúdó Csillagászati Egyesület, Szőnyi Pál Ásványbarát Kör. Segítettek az ipar képviselői is. Több száz diák kapcsolódott be a munkába a tíz év alatt.

A tíz éves jubileumra szép kis füzetet adtak ki, ahol leírják és képekkel bemutatják, hogyan, miért alakult meg a Varázskuckó és az alapítványa, hogyan működik, kik támogatják pénzzel, anyaggal, berendezésekkel, munkával. Bemutatják a Hatvani István Kísérletező Versenyt (amit szintén a Kuckó patronál). Beszámolnak sok-sok általuk szervezett előadásról, kiállításról. Válogatott irodalomjegyzéket adnak az évek során megjelent művekből, valamint az esetleges segítők részére bankszámlaszámot, adószámot közölnek.

Információk a Varázskuckóról a <http://doczy.drk.hu> honlapon található. Itt a kis füzet tartalma is megjelenik, ha ügyesen kattintgatunk az „egyebek” között.

Ezt a sokrétű szervező, tudományos, irodalmi munkát ismerték el a márciusi kitüntetéssel.

*Török István* nyugdíjas fizikus, ATOMKI

## Nagy valószínűséggel megtalálták a Higgs-bozont

A Genf melletti Nagy Hadronütköztetőben (LHC) szinte teljes bizonyossággal sikerült igazolni az elemi részecskék tömegéért felelős, megjósolt, de eddig még ki nem mutatott Higgs-bozon létezését – jelentette be az Európai Nukleáris Kutatási Szervezet (CERN). A nagy jelentőségű eredményt, amely óriási lendület adhat a Standard Modellen túlmutató fizikai elméleteknek, az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont Részecske- és Magfizikai Intézetében értékelték a CERN-ben dolgozó magyar kutatók.

„Különleges nap a mai” – méltatta a tudománytörténeti eseményt a genfi szemináriumon *Rolf-Dieter Heuer*, a CERN főigazgatója. A világszerte nagy érdeklődéssel kísért élő közvetítést *Pálinkás József*, az MTA elnöke jelenlétében nézték meg az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont Részecske- és Magfizikai Intézetének munkatársai, közöttük olyanok, akik immár hosszú évek óta részesei az ott folyó kutatásoknak. „Mi magyarok 1 százalékban tulajdonosai vagyunk az LHC-nek” – hangsúlyozta az eseményen *Lévai Péter*, a kutatóközpont főigazgatója, aki egyúttal gratulált is a CMS-ben, vagyis a Higgs-bozon vizsgálatát is végző egyik nagy észlelőrendszer tevékenységében részt vevő magyar kutatóknak. A CMS-kísérlet egyike a világ legnagyobb tudományos együttműködéseinek: 37 ország több mint 3000 kutatója – köztük az MTA Wigner

Fizikai Kutatóközpont, az MTA Atommagkutató Intézet, a Debreceni Egyetem, valamint az Eötvös Loránd Tudományegyetem több mint 30 munkatársa – fogott össze, hogy tisztázza a részecskefizika alapvető problémáit. Az észlelőrendszer 25 éven keresztül épült, és legalább további 2 évtizedig üzemel majd.

A részecskefizika Standard Modellje szerint a fizikai világ kvarkokból és leptonokból, valamint a közöttük ható erőkből áll. Még napjainkban sem ismert, hogy honnan ered ezen elemi részecskék tömege. A fizikusok úgy vélik, hogy az elemi részecskék az úgynevezett Higgs-térben mozogva nyernek tömeget, s abban keletkezik a Higgs-részecske is. A Higgs-tér alapvetően más sajátosságokkal bír, mint a többi fizikai jelenség: nem anyag, nem is erő, és a teret egyenletesen tölti be. A CERN óriási gyorsítójának, a Nagy Hadronütköztetőnek egyik fő célja, hogy a megjósolt részecskét kísérletileg kimutassa. A genfi bejelentés szerint az LHC-ben 4,9 szigma valószínűséggel mutatták ki azt a részecskét, amely tulajdonságai alapján valószínűleg a Higgs-bozon. A szigma a részecskefizikai kísérletek bizonyosságát jelző érték, amely sok különböző összetevőből áll. Azt, hogy a kutatók valóban a Higgs-bozont mutatták-e ki még további mérésekkel kell megerősíteni. Ezek várhatóan az év végére be is fejeződhetnek.

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

## Keleten a fény

Kelet-Európában egy szokatlan projekt kezd alakot öltetni. Az Extrém Fényforrás Berendezés (Extreme Light Infrastructure, ELI) egy olyan flexibilis, több célt szolgáló létesítmény, amely különböző országokban létesített, változatos tulajdonságú fényforrásokat foglal magába. Az Európai Unió által finanszírozott, 700 millió eurós projekt 2015-ben fog működésbe lépni. Az ELI az alap- és alkalmazott kutatások egyik központja, a lézeres részecskegyorsítók műszaki problémáinak vizsgálata, biológiai és orvostudományi kutatások, röntgen- és gamma-sugárzásos képalkotás témaköreiben, valamint a technológiai transzfer kezdeményezője és támogatója lesz. Ez nagyon ambiciózus feladat, de az ELI-nek minden lehetősége megvan arra, hogy a kutatások élvonalába kerüljön olyan területeken, mint a lézeres részecskegyorsítás, vákuumfizika, attoszekundumos tudomány és fotonukleáris fizika.

A négy tervezett ELI-telephely közül hármat már kiválasztottak. Az első Csehországban, Prágában egy kompakt lézer-plazma gyorsítónak fog otthont adni, amely ultrarövid impulzusú, nagyenergiájú (10 GeV) részecskenyalábot, valamint sugárzást (néhány MeV

energiáig) fog szolgáltatni. A második helyszín Magyarországon, Szegeden lesz, ahol egy femtoszekundumos lézer fog attoszekundumos skálán pillanatfelvételeket készíteni az elektronok dinamikájáról atomokban, molekulákban, plazmákban és szilárd anyagokban. Az atommagfizikai folyamatokat egy 30 PW energiájú lézerrel a harmadik helyszínen, a romániai Măgurele-ben fogják vizsgálni.

A negyedik helyszínről – amely esetleg az eddigi helyszínek szomszédságában, de esetleg egy negyedik országban lesz – később, az év folyamán döntenek. Ez egy nagy létesítmény, az ELI program igazi sztárja lesz, amely egy 200 PW energiájú, ultranagy intenzitású lézerek fog otthont adni, amely a lézeres gyorsítást kiterjeszti az ultra-relativisztikus tartományba.

Azt a körülményt, hogy egy korszerű ELI fényforrásnak adhatnak otthont, sokkal többre értékelik a kelet-európai országokban, mint bármely más EU-tagállamban. Bár több mint 20 év telt el a berlini fal és a vasfüggöny leomlása óta, amely megosztotta a kontinenst, a tudomány Kelet-Európában még mindig küszködik a nem kielégítő anyagi támogatás, az elavult kutatási infrastruktúra, az évtizedes agyelszívás

következményeivel. Azok az erőfeszítések, amelyekkel megpróbálták Kelet-Európába visszahívni a nyugatra távozott tudósokat, csak kevés sikerrel jártak a problémák enyhítésében.

Eközben Kelet-Európa tudósai sokkal könnyebben juthatnak hozzá anyagi támogatáshoz és jobb kutatási feltételekhez különféle nemzetközi együttműködésekhez való csatlakozás révén. A kelet-európai országok tevékenyen részt vesznek a hamburgi DESY, valamint a svájci CERN Nagy Hadronütköztetője (Large Hadron Collider) melletti kísérletekben – Magyarország, Bulgária, a Cseh és Szlovák Köztársaságok már mind a CERN tagállamai 1990 óta. Románia most jelentette be, hogy csatlakozni szeretne. Az ilyen együtt-

működések kétségtelen előnyökkel járnak, bár a kutatók részére kevésbé vonzó, ha hosszú ideig távol kell dolgozniuk otthonuktól.

Az ELI azonban támogatni fogja Kelet-Európa tudományos közösségeit azzal, hogy helyi lehetőségeket kínál. Továbbá nagy nemzetközi együttműködések fog Kelet-Európába hozni. A negyedik ELI-telephely, amely a legnagyobb intenzitású fényforrásnak ad otthont, várhatóan a világ vezető laboratóriumai közé fog tartozni – mindegyik szóba jövő helyszín kétségtelenül tudatában van annak, hogy ez milyen előnyökkel jár. Nehéz döntés lesz, de végül is egyet ki kell választani, hogy ragyogni tudjon!

<http://www.nature.com>

## Az Oak Ridge Nemzeti Laboratórium és a Tennessee Egyetem kutatói feltérképezték az atommagok sokaságát

Az ORNL (Oak Ridge National Laboratory) és a Tennessee Egyetem kutatócsoportja az Energiaügyi Minisztérium (Department of Energy) Jaguár nevű szuperszámítógépe segítségével meghatározták a lehetséges izotópok számát, amelyeket a fizika törvényei megengednek. A *Witek Nazarewicz* vezette kutatócsoport a sűrűségfüggő módszer (egy kvantummechanikai számítási eljárást) alkalmazták a nukleáris kölcsönhatás hat különböző modelljére. Megállapították, hogy a protonoknak és neutronoknak mintegy 7000 lehetséges kombinációja létezik, amelyek kötött atommagokat hozhatnak létre, egészen a 120 protont tartalmazó elemig, amely hipotetikus elemet „unbinilium”-nak nevezték el. A kutatócsoport eredményeit a *Nature* június 28-i számában tették közzé.

Ezeknek az elemeknek a többségét még nem sikerült kísérletileg megfigyelni. „Ezek a magok kötöttek, vagyis nem bocsátanak ki protonokat vagy neutronokat, de radioaktívak – rövid élettartamúak, mivel más folyamatok, például béta-bomlás, segítségével átalakulhatnak.” – magyarázta Nazarewicz. Az összes lehetséges magból eddig a természetben mintegy 3000 atommagot figyeltek meg magfizikai laboratóriumokban. A többiek nagytömegű csillagokban vagy heves csillagrobbanásokban keletkezhetnek.

A számítások lehetővé tették, hogy a kutatók azonosítsák az atommagok úgynevezett Drip-vonalait, amelyek a stabil atommagok létezésének határát jelzik. Az atommagban minden protonszámhoz tartozik egy korlát, amely megszabja, hány neutron képes a mag megkötni. Például a hélium atommagja, amely két protont tartalmaz, nem képes hatnál több neutron megtartani. Ha egy további neutron adunk a maghoz, az egyszerűen „lecsepeg” (drip). Teljesen hasonlóan létezik egy korlát a protonok számában is, amely egy adott számú neutronot tartalmazó atommaghoz hozzáadható. Nehezebb atommagoknál a „csepegési vonal” (drip line) helyének meghatározása csupán a kísérleti adatokból való elméleti extrapoláción alapul, ezért eléggé bizonytalan.

Minél közelebb van egy atommag a csepegési vonalhoz, annál gyorsabban bomlik el stabilabb konfigurációba. Részecskegyorsítókkal nem sikerült azonosítani ezen egzotikus izotópok többségét. Érthetően azokat sem, amelyek közel vannak a neutronok csepegési vonalához, mivel a jelenleg rendelkezésre álló részecskenyalábok és targetek kombinációjával ezeket nem lehet létrehozni. Nazarewicz szerint teljesen valamennyi radioaktív izotóp elbomlik, mielőtt átalakulhatna annak a 288 izotópnak valamelyikébe, amely a „stabilitás szigetét” alkotja. Az itt található stabil izotópok felezési ideje hosszabb, mint a Naprendszer várható – körülbelül 4,6 milliárd év – élettartama.

Az atommagok halmazára vonatkozó korábbi becslések 5000-tól 20000 atommagig terjedtek, jegyezte meg Nazarewicz. A kutatócsoport számításai olyan mikroszkopikus nukleon-nukleon kölcsönhatáson alapultak, amelyek az atommagokban klaszter-szerkezeteket hoztak létre, és a hat különböző magmodell keretében végzett számítások meglepően konzisztensek voltak. Különböző modellek használatával az elméleti fizikusoknak először sikerült megbecsülni a megjósolt „csepegési vonalak” értékének bizonytalanságait.

Minthogy a legtöbb különleges atommag kívül esik a jelenlegi kísérleti lehetőségeinken, a használt modelleknek illeszkedniük kell az ismert atommagok tulajdonságaihoz, hogy a kutatók az eredményeket extrapolálhassák az ismeretlen, egzotikus atommagokra is. „Ez nem egy új terület” – jegyezte meg Nazarewicz. – „Az elmúlt években a létező modelleket sikerült javítani, hogy sokkal több eredményt tartalmazzanak. Most egy olyan atommagmodellt dolgozunk ki, amely a legjobb elméleti eredményeken és a legjobb kísérleti adatokon alapul.”

A számítások óriásiak voltak, mindegyik atommag-sorozatra két óráig tartottak a 244256 processzoros Jaguár szuperszámítógép-rendszeren. Minden ilyen futtatás mintegy 250000 lehetséges atommag-konfigu-

rációt vizsgált meg. „Ezek a számítások 2-3 évvel ez előtt nem lettek volna lehetségesek, a Jaguár szuperszámítógép egyedülálló lehetőséget realizált az elméleti magfizika számára.” – mondta Nazarewicz.

A kutatásokat, a Jaguár szuperszámítógép használatát az Energiaügyi Minisztérium (DOE) Tudományos Hivatala (Office of Science), valamint a Finn Tudományos Akadémia támogatta, hogy jobban sikerüljön megérteni az Univerzum fejlődését és kiaknázni az esetleges gyakorlati alkalmazásokat.

A különleges atommagok között említhető a vas-45, a 26 protont és 19 neutronot tartalmazó izotóp, amely

segíthet megérteni a protonok szupravezetését. Ugyanitt találjuk a körte alakú rádium-225 izotópot 88 protonnal és 137 neutronnal, amely azt segítheti megérteni, miért van az Univerzumban több anyag mint antianyag, valamint a terbium-149, amely 65 protont és 84 neutronot tartalmaz, és képes arra, hogy antitekhez kapcsolódjon, és így besugározhatja a rákos sejteket anélkül, hogy az egészséges sejtekre hatással lenne. Egereken és mostanra már embereken is végeztek sikeres kísérleteket, és ez a kezelési mód az „alfa-kés” (alpha knife) nevet kapta.

<http://www.ornl.gov>

## Nagy tiltakozást váltott ki a japán atomreaktor újraindítása

Az atomenergia újból zöld utat kapott Japánban, bár ettől nem mindenki boldog. Mintegy 650 tiltakozó gyűlt össze Ōi nukleáris létesítményénél Japán nyugati részén a Fukui prefektúrában. Ahogy azonban a 3. számú reaktor kritikussá vált, a tiltakozók lassan elmentek.

Az a körülmény, hogy a Fukushima reaktorkatasztrófa után ilyen hamar újraindultak az atomenergia alkalmazásával, a becslések szerint 180 000 tiltakozó aggodalmát váltotta ki, akik összegyűltek Tokióban *Yoshibiko Noda* miniszterelnök irodája előtt. Noda június 16-án bejelentette, hogy az Ōi atomerőmű 3. és 4. számú blokkját újra fogják indítani.

Ez a reaktor az első, amelyet újraindítanak a Fukushima Daiichi erőmű tavalyi év március 11-i cunami és földrengést követő leolvadása után. Az esemény

hatására az ország 54 atomreaktorát biztonsági vizsgálatok céljából leállította. Az utolsó reaktort májusban állították le.

Az állandó energiahiány miatt azonban Noda hajlíthatatlan abban, hogy Japánnak szüksége van atomenergiára, amely a földrengés előtt a teljes energiaszükséglet egyharmadát fedezte. Az Ōi erőmű, amelyet a Kansai Electric Power Company (KEPCO) üzemeltet, segíthet abban, hogy elkerüljék a megjósolt 15 százalékos energiahiányt. A társaság szerint az 1180 megawattos reaktornak július 3-án kell elkezdenni az energiatermelést, és a teljes teljesítményt július 8-án kell elérnie. A létesítmény 4. számú, ugyancsak 1180 megawattos reaktorát a KEPCO a tervek szerint július 17-én indítja be.

<http://www.newscientist.com>

## HÍREK AZ UNIVERZUMBÓL

### Magántulajdonú űrszonda fogja a veszélyes aszteroidákat felkutatni

Egy amerikai nonprofit szervezet bejelentette, hogy űrmissziót fog indítani, amelynek célja a Naprendszer belsejének feltérképezése, és hogy olyan aszteroidák létezésére találjon bizonyítékot, amelyek a Földdel ütközhetnek. Az öt és fél éves program, amely a szervezet szerint az első magántőkével finanszírozott távoli űrbeli misszió (deep-space mission), a tervek szerint 2016-ban vagy 2017-ben fog elindulni.

A rendkívül ambiciózus tervet a B612 alapítvány szervezi, amelyet *Antoine de Saint-Exupéry Kis hercege*nek aszteroidájáról neveztek el, és célja „kibővíteni a világűr kutatásának határait és megvédeni az emberiséget a Földön”.

Ez a védelem legalább tízezer olyan Föld-közeli aszteroida pályáját kívánja feltérképezni, amelyek átmérője legalább 140 km és a Földdel 100 megatonna TNT hatásánál nagyobb erővel képesek ütközni. Ez 3,5-szerese azon objektum átmérőjének, amely 1908-ban a szibériai Tunguzkában becsapódott, és

több mint 80 millió fát csavart ki, valamint több száz kilométeres körzetben minden ablakot betört.

A B612 alapítvány szerint az ilyen aszteroidáknak több mint 98%-a teljesen ismeretlen a csillagászok előtt. Az űrmisszió célja ezeknek legalább 90%-át megtalálni és nyomon követni. „A céljaink elsősorban emberbarátiak, kivesszük a részünket a bolygó megmentéséből, vagy annak egy részében esetleg bekövetkező, valószínűtlen, de óriási katasztrófa elhárításából.” – mondta *Clark Chapman*, a Southwest Research Institute, Boulder, Colorado bolygókutató csillagásza, az alapítvány titkára.

Chapman hozzátette, hogy az alapítvány az űrmisszióknak egyéb hasznát is el tudja képzelni. „Természetesen vannak más járulékos tudományos céljaink is. Ezen aszteroidák feltérképezése szükséges előfeltétele olyan objektumok azonosításának, amelyek a jövőben különböző anyagok kibányászására alkalmasak – vagy az asztronauták meglátogathatják

azokat olyan űreszközök és rendszerek tesztelése céljából, amelyek segítségével embereket küldhetünk a Marsra” – mondta.

A Sentinel elnevezésű űrszondát a floridai Kennedy Űrközpontból fogják egy Falcon 9 rakéta fedélzetén fellőni. A Vénusz melletti gravitációsparitya-mánőver segítségével fogják Nap körüli pályára állítani a Vénusz pályája közelében.

Az űrszondán lesz infravörös teleszkóp, hogy meghatározza a Föld pályáját átszelő aszteroidák helyzetét és pályáját. „Ezek nagyon sötét objektumok” – magyarázza *Scott Hubbard*, aki az aeronautika és asztronautika professzora a Stanford Egyetemen és a B612 program tervezője. „A távoli infravörösben kell nézni, hogy észrevegyük őket.”

A coloradói Ball Aerospace – amely a Spitzer- és a Kepler-űrteljeszkópokat is kifejlesztette – tervezte a Sentinel távcsövet és a szerződés szerint meg is fogja építeni. A műszerben lesz egy 50 cm átmérőjű alumínium tükör, amely nagy látószögben fogja összegyűjteni az infravörös jeleket. A felvételeket egy  $-133\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra lehűtött, 24 millió pixeles elrendezés rögzíti majd.

A szonda az összegyűjtött adatokat – amelyet a Sentinel is használni fog nyomkövetési és navigációs

célokra – a NASA világűr-hálózatán keresztül fogja továbbítani Boulderba, a Sentinel Operational Centerbe. Ez a központ a Cambridge, Massachusetts településén a NASA Minor Planet Centerbe továbbítja az adatokat, hogy azok elérhetőek legyenek oktatási és kutatási intézmények számára. Pasadenában a NASA's Jet Propulsion Laboratory a szerzett információt azután kiterjedt kockázatanalízisnek fogja alávetni, hogy az egyes aszteroidák pályáját meghatározza és felmérje, milyen fenyegetést jelentenek a Föld számára.

A teleszkóp minden 26 órában végigpásztázza az éjszakai égboltot. Az egyes aszteroidák ismételt megfigyelése lehetővé teszi pályájuk kiszámítását és helyzetük meghatározását legalább egy évszázadra előre.

A misszió természete megváltozott 10 évvel ezelőtti megtervezése óta. „Az eredeti elképzelés a bolygók feletti gondnokság volt – a fenyegetés csillapítása... De nem tudunk csillapítani semmit amíg meg sem találtuk.” – mondja Hubbard.

A misszió teljes költségét még ki kell számolni, de Chapman szerint hamarosan lesz egy megbízható becslés az év hátralévő részében. Eközben az alapítvány további támogatókat keres.

<http://www.newscientist.com>

## A Vénusz-átvonulás legszebb képei

A régóta várt jelenség, a Vénusz 2012. június 6-i átvonulása jelentős érdeklődés mellett zajlott, aminek fontos oka lehetett, hogy ez volt életünk utolsó ilyen eseménye. Hazánkból legközelebb 2125-ben lesz látható Vénusz-átvonulás.

A rendkívül kedvezőtlen keddi időjárás után szerda hajnalra mintegy varázsütésre kiderült az ég, és az ország jó részéről sikeresen lehetett megfigyelni az átvonulást. A korai időpont ellenére óriási érdeklődés kísérte az óbudai Polaris Csillagvizsgáló bemutatóját,

mintegy 600-an keresték fel az intézményt. 15-20 amatőr csillagász távcsővel, míg mások a kupolában található nagy refraktórral láthatták a jelenséget. Sokan panaszkodtak, hogy nem tudtak napfogyatkozásnéző szemüveget vásárolni, így a csillagvizsgáló teljes szemüveg-készlete elfogyott. Az beszámolóik alapján ez volt a Magyar Csillagászati Egyesület legnépesebb nyilvános bemutatója.

A következő oldalon amatőr csillagászok legszebb képei közül válogattunk néhányat.

---

### ОГЛАВЛЕНИЕ

*М. Блахо, А. Эри, Г. Хорват, Р. Гегедюци, Г. Кришка, Ю. Ёшвац, М. Тот, К. Кермес, Л. П. Биро:* Отсутствие реакции на поляризованный свет жуков рода скарабэус, самых осуществляющих ту же поляризацию – часть первая  
*И. Газда:* К. Сили, видный венгерский специалист по истории наук  
*Б. Лацк:* Линейка для измерений на кривых  
*А. Фольо:* Начала медицинской физики в Будапеште  
*Э. Гартман:* Имре Тарьян в венгерской физике кристаллов  
*Г. Ройто:* Наследие профессора Тарьян  
*Ж. Кёбеш-Долокош:* Космическое излучение на сверхвысоких энергиях – часть первая  
*А. Шилон:* Надежды изобретения лун вне системы нашего солнца

#### ЛИЧНЫЕ МНЕНИЯ

*К. Оля:* Проблема энтропии – часть первая  
Научные ли наши знания по нейтрино? (*И. Нандори, З. Троцани*)

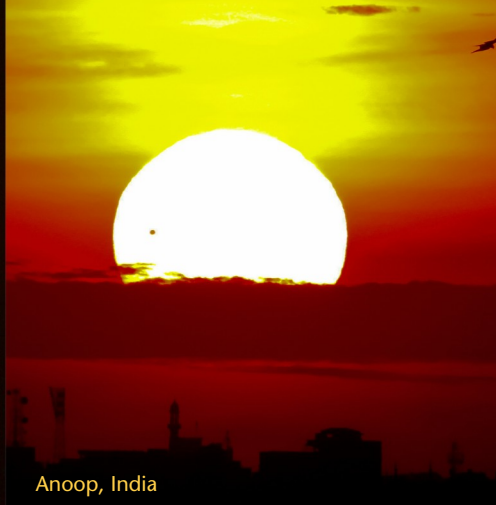
#### ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

*А. Ноо:* Замерзительная струя силой удара в 120 N  
*Л. Виделан:* Волновые группы на паре Лехера  
*Ф. Шандор-Керештей:* Конкурс им. Э. Вигнера по решению физических задач  
*М. Пал:* Цифровая технология для демонстрационных механических измерений  
*И. Лэгради:* Как работает электрический звонок у нас дома  
*Л. Ковач:* Демонстрационный маятник Этвеша в новом настроении  
*К. Гэртлейн:* Эксперименты для выполнения дома

#### КНИГИ, ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ



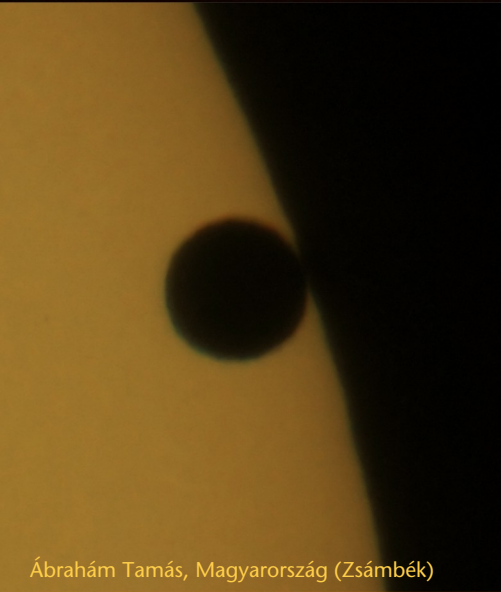
Jorge Duenes, Mexikó (Tijuana)



Anoop, India



Mátyás Kevin, Magyarország (Győr)



Ábrahám Tamás, Magyarország (Zsámbék)



Emil Ivanov, Bulgária (Fekete-tenger)



Barny, Új Zéland



Kenneth Sponsler, Kanda



Khaut Péter, Drezda



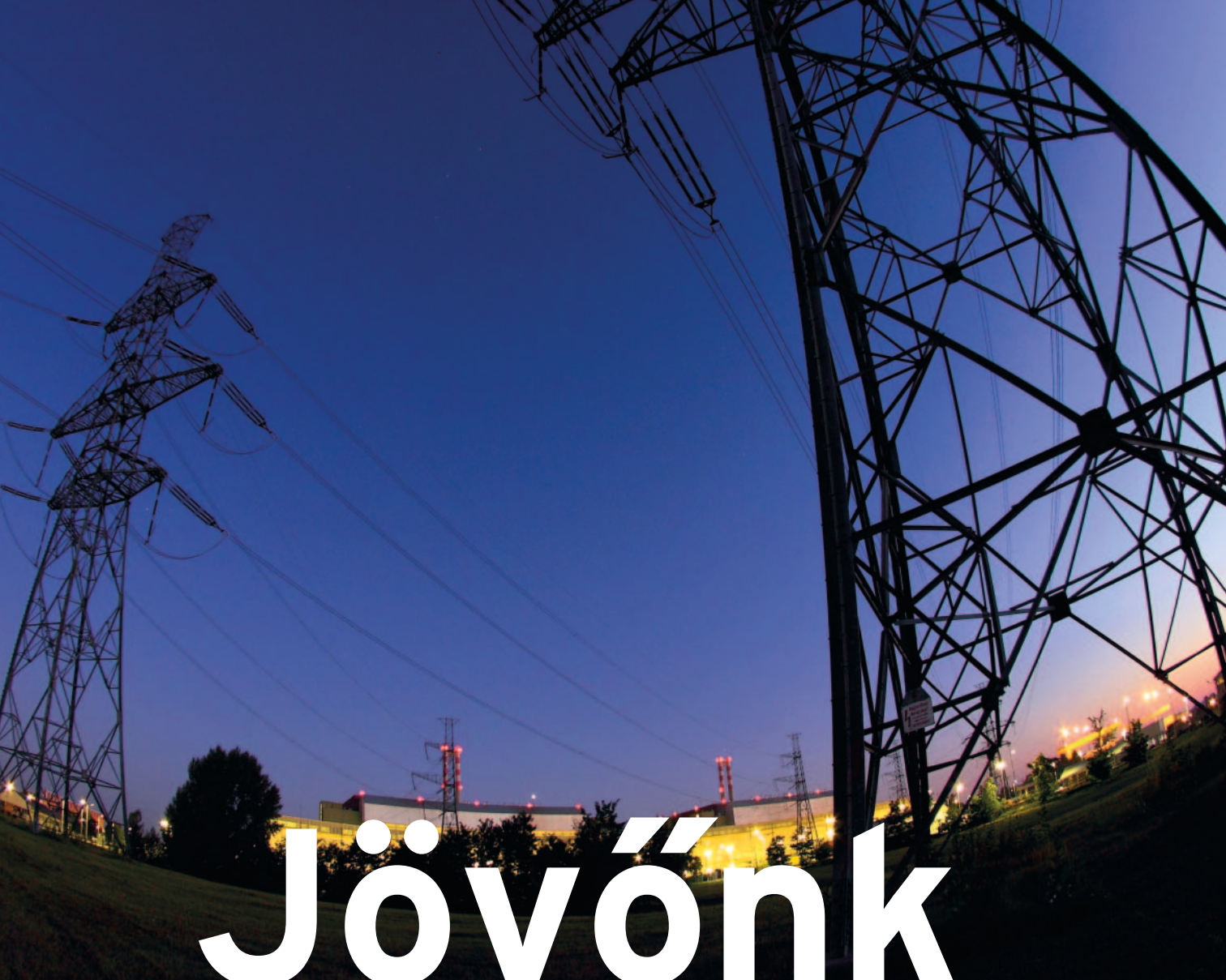
Németh Kornél, Magyarország



Roger De Marfa, Spanyolország



Pócsai Sándor, Magyarország



# Jövönk energiája



## paksi atomerőmű