

fizikai szemle



2007/1

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

Főszerkesztő:

Németh Judit

Szerkesztőbizottság:

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

Szerkesztő:

Tóth Kálmán

Műszaki szerkesztő:

Kármán Tamás

A folyóirat e-mailcíme:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

http://www.fizikaiszemle.hu

A címlapon:

Egy arktiszi ködív (fehér szivárvány az anti-Nap körül) lineáris polárszűrőn át, 180° látószögű halszemoptikával készített két fényképe, a kettősféjű nyílak a polárszűrő áteresztési irányát mutatják. A ködív fehér fénye az ívvel párhuzamos rezgéssíkú és erősen lineárisan poláros, ezért a képeken csak egyes ívdarabjai látszanak. Horváth Gábor felvételei az Északi-sarkon a svéd Beringia 2005 sarkkutató expedíción.

TARTALOM

<i>Király Péter</i> : A 100 éves Eötvös–Pekár–Fekete kísérletek és máig tartó hatásuk	1
<i>Nemecz Ernő</i> : A Föld eredete	6
<i>Forgács P., C. Hoenselaers, P. Tod, Fodor Gy., Vasúth M., Gergely Á.L.</i> : In memoriam Perjés Zoltán (1943–2004)	14
A FIZIKA TANÍTÁSA	
<i>Papp Katalin, Nagy Anett</i> : Public relation és a fizikatanítás – avagy hogyan tegyük vonzóvá a fizika tantárgyat	18
A 2006. évi Eötvös-verseny ünnepélyes eredményhirdetése és díjkiosztója (<i>Geffertb András</i>)	25
VÉLEMÉNYEK	
<i>Kamarás Katalin</i> : Ófalu és Újfalu	27
HÍREK – ESEMÉNYEK	29
MINDENTUDÁS AZ ISKOLÁBAN	
Polariméter a szemben, polarizációs iránytű és napóra az égen, vízen és vízben (<i>Hegedüs Ramón, Horváth Gábor</i>)	34
<i>P. Király</i> : After 100 years still of interest: the gravimetric experiments of Eötvös, Pekár and Fekete	
<i>E. Nemecz</i> : The origin of the Earth	
<i>P. Forgács, C. Hoenselaers, P. Tod, Gy. Fodor, M. Vasúth, Á.L. Gergely</i> : In memoriam Z. Perjés (1943–2004)	
TEACHING PHYSICS	
<i>K. Papp, A. Nagy</i> : Teaching physics and PR: how to make physics attractive	
The 2006 Eötvös physical contest (<i>A. Geffertb</i>)	
OPINIONS	
<i>K. Kamarás</i> : Must we file applications for everything	
EVENTS	
SCIENCE IN BITS FOR THE SCHOOL	
Orientation based on polarimetry in the animal world (<i>R. Hegedüs, G. Horváth</i>)	
<i>P. Király</i> : Nach 100 Jahren immer noch aktuell: Die Schwerekraft-Messungen von Eötvös, Pekár und Fekete	
<i>E. Nemecz</i> : Der Ursprung unserer Erde	
<i>P. Forgács, C. Hoenselaers, P. Tod, Gy. Fodor, M. Vasúth, Á.L. Gergely</i> : In memoriam Z. Perjés (1943–2004)	
PHYSIKUNTERRICHT	
<i>K. Papp, A. Nagy</i> : Physikunterricht: Wie macht man Physik attraktiv?	
Der Eötvös-Wettbewerb in Physik 2006 (<i>A. Geffertb</i>)	
MEINUNGSAUSSERUNGEN	
<i>K. Kamarás</i> : Ohne Bewerbungen geht es nicht	
EREIGNISSE	
WISSENSWERTES FÜR DIE SCHULE	
Polarimetrische Effekte als Orientierungsbehelfe im Tierreich (<i>R. Hegedüs, G. Horváth</i>)	
<i>И. Кириль</i> : Столетняя актуальность результатов измерений Этвеша, Пекара и Фекете по гравитации	
<i>Э. Немеч</i> : Возникновение нашей Земли	
<i>И. Форгач, К. Хунселарс, П. Тод и др.</i> : Памяти З. Пэреша (1943–2004)	
ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ	
<i>К. Пип, А. Надь</i> : Как обучать физике увлекательными методами	
Физический конкурс им. Этвеша 2006. г. (<i>A. Geffertb</i>)	
ЛИЧНЫЕ МНЕНИЯ	
<i>К. Камараш</i> : Необходимо ли подавать прожекты на конкурс	
ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ	
НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ ДЛЯ ШКОЛ	
Поляриметрические явления как способы ориентации зверей (<i>P. Хэгедюш, Г. Хорвати</i>)	

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

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

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

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

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

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

Megjelenik havonta, egyes szám ára: 750.- Ft + postaköltség.

HU ISSN 0015-3257

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

LVII. évfolyam

1. szám

2007. január

A 100 ÉVES EÖTVÖS–PEKÁR–FEKETE KÍSÉRLETEK ÉS MÁIG TARTÓ HATÁSUK

Király Péter

KFKI RMKI Kozmikus Fizikai Főosztály

Eötvös Loránd 1905-ben lemondott akadémiai elnöki tisztéről, hogy a továbbiakban tudományos kutatásainak szentelhesse idejét és erőfeszítéseit. Az ezt követő évben három olyan fontos esemény is volt Eötvös életében, amelyek centenáriumát akár külön-külön is megünnepelhetnénk:

- Nemzetközi konferencián ismertette és elismertette módszereit és eredményeit;
- Ígéretet kapott további kutatásai rendszeres, bőkezű magyar állami támogatására;
- A Göttingeni Egyetem pályázatot írt ki, melynek elnyeréséért kísérletekbe kezdett.

Bár Eötvös számára talán az első két esemény fontosabbnak tűnhetett, a máig tartó hatások szempontjából a harmadiknak volt legnagyobb jelentősége.

A *Nemzetközi Földmérés* (Internationale Erdmessung), a mai *International Union of Geodesy and Geophysics* szervezet (IUGG) elődje, 1906-ban Budapesten rendezte 15. kongresszusát, amelyen Eötvös nagy sikerű előadást tartott módszereiről, addigi eredményeiről és az általa kifejlesztett műszerekről. Ezen meg tudta győzni a nemzetközi szervezet vezetőit, hogy az általa kifejlesztett „csavarási mérleg” vagy későbbi nevén Eötvös-inga segítségével nemcsak a Föld gravitációs sívületjeinek helyi jellemzőit tudja igen pontosan meghatározni, de a messze a talajszint alatti, eltemetett hegységek jelenlétére és alakjára is következtetni képes. Arad környékén terepi méréseken is bemutatta módszerei hatékonyságát.

A *Nemzetközi Földmérés* vezérkara a hallottak és látottak hatására azzal a kéréssel fordult a magyar kormányhoz, hogy Eötvös nagy fontosságú munkáit hatékonyan támogassa. A megítélt évi 60 ezer aranykoronás támogatás, amely az Eötvös-tanszék teljes állami juttatásainak mintegy 15-szörösét tette ki, nagyban segítette a

terepi munkákat, a műszerfejlesztést, sőt további munkatársak alkalmazását is lehetővé tette. A támogatással beszerzett tárgyakat a tanszék berendezésétől elkülönítve kellett leltározni, ami az e témákkal foglalkozó csoportnak bizonyos függetlenséget is biztosított. E csoportból nőtt ki Eötvös halála után a hazai geofizikai kutatásokat irányító önálló intézet, a mai Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI) elődje.

A *Nemzetközi Földmérés* szervezetének egyik alapvető célkitűzése a Föld alakjának minél pontosabb meghatározása volt. De mit is jelent a Föld alakja? A tengereken az átlagos vízszint – bizonyos zavaró tényezőket elhanyagolva – mindenhol merőleges a gravitációból és a Föld forgása okozta centrifugális erőből összetevődő „nehézségi” erőre, vagyis az alakot a nehézségi erő tengerekre simuló szintfelülete adja. Kézenfekvő ezt a definíciót a szárazföldre is kiterjeszteni. Ezért beszélhetünk a szárazföld belsejében is „tengerszint feletti magasságról”.

Némi fizikusi szőrszálhasogatással felvethető azonban az a kérdés, hogy csak a vízre, vagy minden anyagra azonosak-e a szintfelületek. A tehetetlen és súlyos tömeg szigorú arányossága esetén igen, de jogosan merül föl a kérdés, hogy ha a különböző anyagokra az arány kicsit más lenne, akkor mennyire térnének el egymástól a szintfelületek. Eötvös először az 1880-as évek végén, a torziós inga egy kezdeti változatával végzett méréseket különböző anyagok tehetetlen és súlyos tömegének arányosságára nézve. Már ekkor minden korábnál nagyságrendekkel pontosabban, mintegy 5×10^{-8} relatív hibával bizonyította a vizsgált anyagokra az arányosságot. Ha az adott anyagokra a nehézségi erő szintfelületeit az Egyenlítőnél egybeejtjük, akkor a sarkoknál azok legfeljebb 0,7 mm-re térhetnének el egymástól, vagyis földmérési (geodéziai) szempontból teljesen kielégítő pontossággal igaz, hogy a Föld alakját (a geoidot) függetlenül tekinthetjük attól, hogy milyen anyagra vonatkozó szintfelülettel definiáljuk.

A cikk az MTA XI. Osztálya és az ELFT közös ünnepi ülésén 2006. november 22-én elhangzott előadás alapján készült.

A pontosság elég a geodétának, de kérdés, hogy kielégítheti-e a fizikust is. Hiszen a newtoni tömegvonzás egyik alapvető feltevéséről van szó. Eötvös korai kísérletei után minden bizonnyal többször visszatért ehhez a kérdéshez, de újabb, pontosabb vizsgálataihoz a döntő lökést a Göttingeni Egyetem Beneke-díj pályázatának 1906-os kiírása adta. A pályázat kiírása és a díj átadása között mindig három év telt el. A kiírásban Eötvös kifinomult módszereire explicite utaltak, és hangsúlyozták annak fontosságát, hogy a kérdést a fizika időközben tett fontos felfedezéseinek (elektrodinamika, radioaktivitás) fényében újra megvizsgálják. A Beneke-díj bizottság elnöke ekkor *Karl Runge*, a világ első alkalmazott matematika tanszékének vezetője volt, aki numerikus matematikában elért eredményei mellett (Runge–Kutta módszer) *Planck* barátja és a hidrogén-spektrum matematikai leírásának szakértője is volt.

Az Eötvös–Pekár–Fekete (EPF) és a későbbi Renner-kísérletek

A pályázat kiírása Eötvös számára minden bizonnyal elégtételt és kihívást is jelentett. Az új kísérletsorozatban ő már valószínűleg főleg irányítóként és konzulensként vett részt, míg magukat a hosszadalmas méréseket munkatársai végezték. Mivel a kora nyártól késő őszi terjedő időszakban a kutatók minden idejét a terepi, geodéziai és geofizikai célú mérések töltötték ki (melyeket *Pekár Dezső* vezetett), a pályázattal kapcsolatos munkák a téli és kora tavaszi időszakra összpontosulhattak. Kivétel 1908-ban lehetett, amikor a csak 1922-ben megjelent összefoglaló cikk [1] tanúsága szerint a sürgető beadási határidő miatt a kísérletek nyáron is folytatódtak. Sajnos a részletes mérési jegyzőkönyvek elvesztek, sőt maga a benyújtott pályázat sincs már meg, noha *Selényi Pál*, Eötvös 1953-ban megjelent összegyűjtött munkáinak [2] szerkesztője még annak alapján pótolta néhány az 1922-es cikkből kihagyott részt.

Az EPF-kísérletek alapkonceptiója ugyanaz volt, mint Eötvös korai mérésinél. Ha a gravitációs és tehetetlenségi erő aránya anyagfüggő, akkor különböző anyagokra kicsit más irányú a nehézségi gyorsulás. Egy kelet–nyugati irányban felállított, két végén két különböző összetételű anyaggal terhelt torziós ingára emiatt forgatónyomaték hat, amely az inga 180° -os elforgatásakor ellenkező előjelűvé válik. Ezt a kis különbséget kellett különválasztani a gravitációs potenciál második deriváltjai miatt fellépő, az inga irányától függő nyomatéktól. A korai méréseknél Eötvös rúd alakú, először Coulomb-ingának, majd görbületi variométernek nevezett ingát használt, amivel elég volt két (K–Ny és Ny–K) irányban mérni. Később kifejlesztette a ma Eötvös-ingának nevezett horizontális variométert, amelynél az egyik oldalon lévő tömeg mélyebben helyezkedik el, és amellyel a nehézségi potenciál második deriváltjait sokkal részletesebben tudta kimérni (2 helyett 4 összetevőt). Mivel az 1900-

as években a terepi mérésekhez már szinte kizárólag horizontális variométereket használtak, az EPF-kísérleteket is ilyenekkel végezték. A derivált tenzor összetevőit emiatt csak akkor lehetett a mérési eredményekből algebrailag kiküszöbölni, ha legalább négy irányban mértek (a fentiek mellett É–D és D–É irányban is). További komplikációt jelentett, hogy az inga érzékenysége, valamint a környezet gravitációs hatása (pl. esőzések vagy a pincében felhalmozott szénmennyiség változása miatt) a hosszú mérésorozat folyamán fokozatosan megváltozhat. Eötvös munkatársaival három mérési módszert dolgozott ki, amelyek e zavaró hatásokat egyre nagyobb mértékben küszöbölték ki. Emellett a kiértékelésnél interpolációs technikákkal igyekeztek a maradék változások hatását minél jobban csökkenteni.

Az EPF-kísérletek végül körülbelül egy nagyságrenddel szigorúbb felső korlátot adtak különböző anyagpárok esetén a súlyos és tehetetlen tömeg arányának lehetséges eltéréseire, mint Eötvös korai mérései. Szignifikánsnak tekintett eltérést sehol sem találtak. A Föld irányában ható nehézségi gyorsuláson alapuló módszer mellett végeztek egy mérést a Nap irányában ható gyorsulások összehasonlítására is. Ehhez az ingát É–D irányba kellett beállítani, és az inga járásában napi periodicitást kellett keresni. Ilyen periodicitást persze más (pl. hőmérsékleti) változások is okozhatnak, ezért a mérést két azonos anyaggal is el kellett végezni. Itt valamivel kisebb pontosságot értek el, de eltérést itt sem találtak. Emellett vizsgálták, hogy leárnyékolható-e a gravitáció, és hogy radioaktív anyagoknál sérül-e a tehetetlen és súlyos tömeg arányossága, mint ahogy azt egyes szerzők állították. Mindkét esetben a várt negatív eredményre jutottak. Az „ars longa, vita brevis” jellegű pályázat benyújtása után a három szerző 1909-ben elnyerte a Beneke-díjat. Jellegük arra utalt, hogy a mérések pontossága további vizsgálatokkal még fokozható.

Az EPF-kísérletek eredményeiről először Eötvös számolt be nyilvánosan a *Nemzetközi Földmérés* 1909-ben tartott 16., londoni kongresszusán. Mivel az előadás fő témája a torziós ingával végzett hazai geodéziai vizsgálatok leírása volt, csak röviden beszélt a nehézségi erő szintfelületeinek esetleges anyagfüggéséről. A mérési elvek és régi mérési eredményei ismertetése után csak megemlítette az új méréseket, melyek pontosságaként a 10^{-8} értéket adta meg. Eötvös 70 éves születésnapja alkalmából, 1918-ban *Pekár Dezső* és *Fekete Jenő* írt kissé részletesebben az EPF-kísérletek módszereiről és eredményeiről, de a részletes beszámoló, mint már említettük, csak 1922-ben jelent meg [1].

Renner János, aki a pályázatot követő években kapcsolódott be a csoport munkájába, majd később a Fásori Gimnázium nagy tekintélyű fizikatanára és igazgatója is lett, az 1930-as évek elején jobb eszközökkel és kevésbé feszítő időkorlátokkal lényegében megismételte az EPF-kísérleteket (bár természetesen a vizsgált anyagpárok és a mérések egyes részletei eltértek a korábbiaktól). 1935-ben magyar nyelven (német összefoglaló-

val) közölt dolgozata [3] szerint még egy nagyságrendet tudott javítani az EPF-kísérletek eredményén, és ennél pontosabb eredményeket az adott módszerekkel már nem is igen tartott lehetségesnek. A kétféle tömeg arányában ő sem talált sehol szignifikáns eltérést.

Eötvös eredményei és Einstein ekvivalenciaelvé

Einstein 1907-ben mondta ki ekvivalenciaelvét, amelynek alapján később az általános relativitás elmélete és a gravitáció geometriai interpretációja megszületett. Az, hogy szabadon eső liftben és gravitációmentes térben végzett nem-gravitációs kísérletek bizonyos megszorításokkal mindig ugyanarra az eredményre vezetnek, feltételezi a tehetetlen és súlyos tömeg arányosságát, de annál szélesebb jelenségkörre terjed ki. Einstein visszaemlékezései szerint az ekvivalenciaelv megfogalmazásakor nem volt tudatában Eötvös eredményeinek, hanem a kétféle tömeg azonossága inkább evidenciaként, intuitív igazságként élt tudatában. Az EPF-eredményekről már csak azért sem tudhatott, mert azok akkor még meg sem születtek. Elvileg azonban tudhatott volna Eötvös korai eredményeiről, amelyek az összes addigi mérések közül messze a legpontosabbak voltak.

Albert Einstein érdeklődése valószínűleg csak néhány évvel később fordult az ekvivalenciaelv kísérleti igazolása felé, amikor a gravitáció relativisztikus elméletével kapcsolatos vitákban felmerült az a kérdés, hogy a radioaktív bomlásnál felszabaduló energiára is érvényes-e a tehetetlen és súlyos tömeg arányossága. Einstein e kérdés kapcsán 1912-ben levélben fordult *Wilhelm Wien*hez, a Wien-féle eltolódási törvény felfedezőjéhez (aki 1911-ben kapott Nobel-díjat). Először ingaméréseket javasolt uránból és ólomból készült ingák lengésidejének összehasonlítására, és azt kérdezte, hogy Wien szerint elérhető-e ezekkel a szükséges pontosság. Majd új ötletként felvetette, hogy közönséges ingák helyett torziós ingával pontosabban elvégezhető lenne a mérés, és szinte szóról szóra felvázolta a korai Eötvös-kísérletek koncepcióját, sőt „ötletét” a görbületi variométer vázlatos rajzával is illusztrálta [4]. Még azt is felvetette, hogy Wien ezt a fontos kísérletet (*experimentum crucis*) végeztesse el laboratóriumában. Wien e levélre adott válasza nem került elő hagyatékából. Az viszont kétségtelen, hogy Einstein 1913-ban *Marcel Grossmann*-nal közösen írt cikkében már hivatkozik a korai Eötvös-kísérletekre, azok pontosságát is megadva. Arról, hogy e régi kísérletekre és a hivatkozott Eötvös-cikkre Wien, Grossmann, vagy esetleg más hívta fel figyelmét, legfeljebb találgathatunk. Az viszont mindenképpen meglepő, hogy 1912-ben saját ötletként éppen Eötvös zeniális módszerét javasolta, és felvetődhet a gyanú, hogy a méréseket valaki már korábban is említhette neki, de erről közben elfelejtkezett. Eötvös más irányú tevékenységéről egyébként tudott, hiszen nem sokkal korábban közölt cikket a kapillaritás Eötvös-törvényéről.

Einstein a potsdami geodéziai intézet igazgatójának halála után 1917-ben tanácsot kért Eötvöstől az utódlás kérdésében. Eötvös részletes javaslata után Einstein viszontválaszában köszönetet mondott neki azokról a kutatásairól is, amelyek során a súlyos és tehetetlen tömeg arányosságát igazolta. Emellett elküldte neki könyvét, amelyben „e kérdés elméleti vonatkozásaival foglalkozik”.

Ekvivalenciaelv kísérletek 1960 és 1986 között

Renner János kísérletei után az 1960-as évek elejéig a fizika szinte minden területén jelentősen fejlődött a kísérleti technika, de a súlyos és tehetetlen tömeg arányosságának kérdésében nem volt számottevő előrehaladás. Maga az Eötvös-inga közben a nyersanyagkutatásban óriási jelentőségre tett szert, és Eötvös munkatársai (különösen Pekár Dezső és Fekete Jenő) alaposan kivették részüket mind az inga fejlesztéséből és exportra való gyártásából, mind a világ különböző tájain végzett olaj- és földgázkutatásokból. A 30-as évek végétől a gyorsabb graviméteres módszerek nyugaton egyre inkább kiszorították a torziós ingát a nyersanyagkutatásból, de keleten az embargó miatt ez az átállás egészen az 50-es évekig nem történt meg.

A 60-as években az ekvivalenciaelv első modern módszerekkel történő ellenőrzése *Robert Dicke* nevéhez fűződik, aki a gravitációelmélet, a csillagászat és az optika területén is számos újszerű elmélettel és technikai újítással vonta magára a figyelmet. Princetoni csoportjával együtt alaposan felkészült a feladatra, s ennek során a régi EPF- és Renner-mérések kritikai elemzésével is behatóan foglalkozott. 1961 januárjában *Jánosy Lajos* levelet kapott Princetontól egyik barátjától, aki felhívta figyelmét Dicke tervezett kísérletére, és arra kérte, hogy próbáljon kapcsolatot teremteni Dicke és Renner között, hogy a majdnem 30 éves Renner-kísérletek néhány homályos pontját tisztázhassák. Mint később kiderült, elsősorban e kísérletek pontossága és a kiértékelés módja terén voltak kételyeik.

Renner biztosította őket, hogy a zavaró hatások kiküszöbölése és a kiértékelés terén is lényegében ugyanúgy járt el, mint Eötvös, de jobb ingája volt és hosszabb mérési sorozatai. Elküldte nekik egyik mérésorozatának teljes adatsorát és kiértékelését, amit Dicke munkatársai lelkiismeretesen átszámoltak (e leveleket és a számolásokat később Renner hagyatékában, az MTA levéltárában találtam meg). Fő kritikájuk arra irányult, hogy Renner (mint valószínűleg korábban Eötvös is) a korábbi és későbbi mérésekből interpolált inga-leolvasásokat is független mérésnek kezelte, ami az adatok hibáit korrelálta tette. Emiatt az átlag valódi mérési hibája az eredetileg számítottnál nagyobb (a Dicke-csoport szerint 2-es, illetve 3-as faktossal, saját későbbi számításaim szerint 2,4-es faktossal). E megnövelt hibákhoz képest viszont a Renner által különböző anyagpárookra megadott eltérések

túl kicsik. Ennek oka nem tisztázódott, ami később oda vezetett, hogy Renner eredményeit nem fogadták el teljes értékűnek.

Dicke és csoportja szimmetrikusabb torziós ingát használt, és Nap irányú gyorsulás alapján ellenőrizte az ekvivalenciaelvet; mintegy 10^{-11} relatív pontosságot ért el [5]. Néhány évvel később *Braginsky* és *Panov* Moszkvában hagyományosabb, de igen hosszú lengésidejű ingákkal állításuk szerint 10^{-12} pontosságot ért el [6], szintén Nap irányú gyorsulást felhasználva.

Az ekvivalenciaelv még erősebb formáját ellenőrizte az a kísérletsorozat, amely az Apolló-program során Holdra juttatott fényviszszaverő tükröket használt fel. A távolságok pontos mérésével ellenőrizhető, hogy a Föld és Hold ugyanolyan gyorsulással „esik”-e a Nap felé, noha tömegükben a gravitációs kötési energia hányada nagyon különböző. A ma már 10^{-13} relatív pontosságú mérések szerint a két test ugyanúgy esik, és a kötési energiára is nagy pontossággal érvényes a súlyos és tehetetlen tömeg arányossága. E pontos mérések alapján úgy tűnt, hogy az EPF- és Renner-mérések eredményei túlhaladottakká váltak, és már csak történeti jelentőségük van. Egy új hipotézis azonban rácaffolt erre a feltételezésre.

Az „ötödik erő” hipotézise és az EPF-kísérletek reneszánsza

1986-ban jelent meg *Ephraim Fischbach* és munkatársai cikke az „ötödik erő” hipotéziséről [7]. Nagy meglepetést keltett, hogy az új, anyagösszetételtől is függő, Yukawa-típusú távolságfüggést mutató kölcsönhatás hipotézise elsősorban a régi EPF-kísérletek eredményeire támaszkodott (bizonyos geofizikai módszerekkel kapott G -mérések és semleges kaonokkal kapcsolatos gyorsító mérések mellett). A cikk nem kevesebbet állít, mint hogy az EPF-mérések eredménye csak azért tűnt negatívnak, mert Eötvös idejében még nem volt meg az a rendszerező elv, amelynek alapján a különböző anyagpárookra vonatkozó kis, önmagukban nem szignifikáns különbségeket megfelelő sorrendbe lehetett volna állítani. A feltételezés szerint az új erő forrása nem maga a tömeg, hanem a barionok (protonok és neutronok) száma, az erő hatótávolsága pedig mindössze néhány száz méter. Az atommagok kötési energiája (tömeghiánya) miatt az erősen kötött magokban (pl. vasban) egységnyi tömegre több barion jut, mint a gyengén kötött magokban. A szerzők a Renner-kísérlet eredményeivel nem foglalkoztak, mert azokat Dicke kritikája némileg diszkreditálta. A Nap irányú gyorsulást felhasználó, még pontosabb mérések viszont azért nem cáfolták az ötödik erő létét, mert annak feltételezett hatótávolsága a Nap távolságánál sokkal rövidebb.

A feltételezett új erő egyrészt sérti az ekvivalenciaelvet, másrészt módosítja a gravitációs erőnél megszokott $1/r^2$ -tel arányos távolságfüggést. Az új erőt Fischbachék két paraméterrel jellemezték: a λ hatótávols-

sággal és a kölcsönhatás gravitációhoz viszonyított, kis távolságra érvényes α erősségével, ahol α függ a két test barionszám/tömeg arányától is. A gravitáció és az ötödik erő együttes potenciálját a következő kifejezéssel írták le:

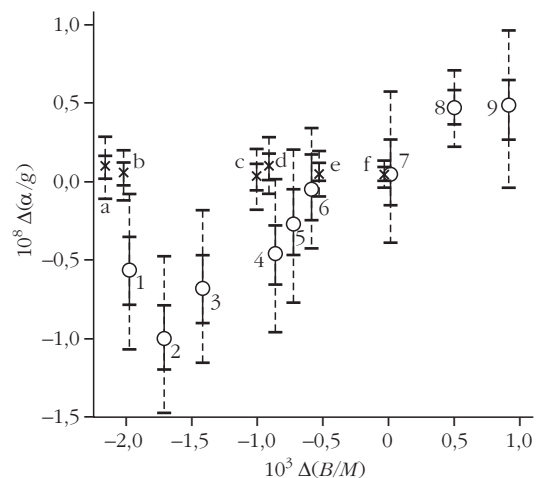
$$V(r) = -G \frac{m_1 m_2}{r} (1 + \alpha e^{-r/\lambda}),$$

ahol G a gravitációs állandó nagy távolságokra érvényes értéke, m_1 és m_2 a két tömeg, r pedig azok távolsága. A laboratóriumi G -mérések eszerint valójában nem G , hanem $G(1 + \alpha)$ értékét mérik, ezért tér el egymástól a laboratóriumi és geofizikai mérések eredménye. Az α paraméter értékét $-0,007$ -re, λ értékét pedig 200 m körülire becsülték.

Fischbachék cikkét követően mind az összetétel-függés, mind a távolságfüggés ellenőrzésére talán százánál is több, igen változatos módszerekkel végzett kísérleti vizsgálat indult, amelyek a 90-es években – több közbülső, pozitívnak látszó eredmény után – végül negatív eredménnyel zárultak. E kísérletek azonban hatékonyan fejlesztették a kísérleti technikát, az elméleti megfontolások pedig sok érveléssel támasztották alá azt a várákozást, hogy mind az ekvivalenciaelv, mind az $1/r^2$ -es távolságfüggés valamilyen szinten azért sérülhet.

Bár az eredeti Fischbach-hipotézis ma már halott, érdemes felidézni a nehézségi gyorsulások EPF- és Renner-kísérletekben talált kis relatív különbségeit a B/M (barionszám/tömeg) különbségek függvényében, saját egykori számításaim alapján. Míg az EPF-kísérletek eredményei valóban pozitív korrelációt sejtetnek, Rennernél ennek nyomát sem találjuk (*1. ábra*). Az eredeti hibaszámítást korrigáló megnövelt szórás miatt az EPF-korreláció sem látszik szignifikánsnak. A Renner-méréseknél viszont továbbra is talányos, miért ilyen kicsik a zérustól való eltérések.

1. ábra. A számmal jelzett pontok az EPF-, a betűvel jelzettek a Renner-mérések eredményét adják, az eredeti és annál 2,4-szer nagyobb hibával ([8] alapján). Renner eredményeinél nem látszik szisztematikus függés a B/M értékek különbségétől, de a zérustól való eltérések a vártnál kisebbek. Az anyagpárok megnevezését lásd [8]-ban.



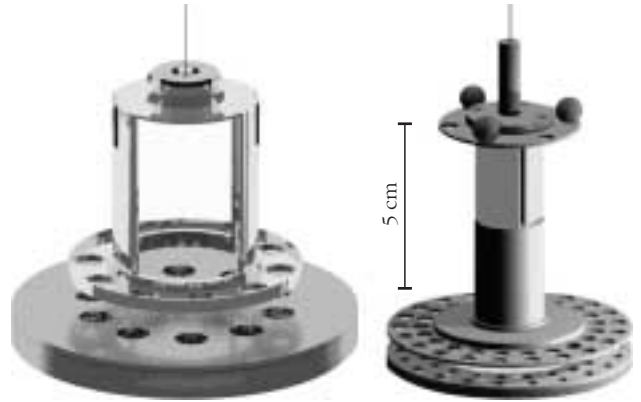
Valószínűleg érdemes lenne az általa alkalmazott hibaszámítást még részletesebben, a lassú külső eredetű változások statisztikáját is figyelembe véve újra megvizsgálni.

Eötvös-típusú kísérletek szerepe a modern kozmológia és a nagy egyesítések korában

Az „ötödik erő” hipotézise Eötvös Loránd nevét és az EPF-kísérleteket világszerte ismertté tette, ezért azóta a kísérletek tágabb körét tekintik „Eötvös-típusúnak”, mint korábban. Röviddel a Fischbach-sejtés közlése után alakult a Washingtoni Egyetemen (Seattle-ben) *Eric Adelberger* vezetésével egy csoport, amely azóta is főként kisméretű, precíziós torziós ingák segítségével végzi a fizika és kozmológia alapjait érintő kísérleteit. Ez a csoport Eötvös tiszteletére az „Eöt-Wash” nevet vette fel, és azóta is ezen a néven működik [9]. Ma is ők tartják a súlyos és tehetetlen tömeg arányára vonatkozó pontossági rekordot (10^{-13}). A Nap és Föld irányú gyorsulás mellett vizsgálták a Galaxis központja felé irányuló gyorsulásban esetleg meglévő anyagfüggést is, ami azért érdekes, mert így az Univerzum tömegének jelentős részét kitevő „sötét anyag” vonzására is kiterjeszhető a kétféle tömeg arányossága. Felmerült annak elméleti lehetősége is, hogy a tömeg mellett a spin is szerepet kaphat a gravitációs kölcsönhatásban. Ennek ellenőrzésére spin-polarizált anyagok felhasználásával is végeztek igen érzékeny ingaméréseket. A Hold lézeres megfigyelései során felmerült az a probléma, hogy az ekvivalenciaelvtől való eltérések egyrészt a Hold és Föld gravitációs kötési energiahányadának különbözősége, másrészt a két test eltérő összetétele miatt is felléphetnének. Szerencsétlen esetben a két hatás kompenzálhatja egymást. Az Eöt-Wash csoport ezért olyan torziós ingát szerkesztett, amely a Földdel, illetve Holddal azonos összetételű kis próbatesteket hasonlított össze, és itt sem talált különbséget. Ez szigorúan is bizonyította a gravitációs kötési energiára fennálló ekvivalenciaelvet.

Az ekvivalenciaelv Földön megvalósítható vizsgálatainál sokkal pontosabb érhető el űrbeli kísérletekben. Már mintegy 20 éve tervezés alatt áll a STEP (Satellite Test of the Equivalence Principle) kísérlet, ami a jelenleginél 5 nagyságrenddel nagyobb relatív pontosságot (10^{-18}) érhetne el. Egy Pisában 1993-ban rendezett STEP-konferencián Eötvös érdemeinek felsorolásával amellet próbáltam érvelni [10], hogy a kísérlet neve inkább Eötvös legyen (esetleg „Equivalence Orbital Test for a Variety Of Substances” rövidítéseként). Várható, hogy az elkövetkező években az ekvivalenciaelvet vizsgáló több űrkísérlet is előkészítési szakaszba lép, s valamelyiküknél talán Eötvös neve is megjelenik.

Felvethető, hogy mi értelme van az ekvivalenciaelv eddigieknél is pontosabb vizsgálatának. Korunk két alapvető elmélete az elemi részecskék világát leíró, modern kvantumelméleten alapuló térelmélet és a gravitációt leíró általános relativitáselmélet. Mindéig egyiknek a jóslatait sem sikerült mérésekkel meg-



2. ábra. Az Eöt-Wash csoport két torziós ingája a gravitációs kölcsönhatás távolságfüggésének vizsgálatára. Az alsó, lassan forgó tárcsa két részből áll; alsó részében nagyobbak a lyukak, és kissé el vannak forgatva a felsőhöz képest. Ha az $1/r^2$ -es távolságfüggés pontosan igaz, akkor a forgó és álló rész megfelelő távolsága esetén nem hat forgatónyomaték közöttük. A legújabb, sötét energiával kapcsolatos méréseket a jobb oldali eszközzel végezték.

cáfolni, igen sok próbát kiálltak. Ugyanakkor a két elmélet nem látszik összeegyeztethetőnek. Valamilyen szinten eltérést kell találni a két elméletből külön-külön következő jóslatoktól, hogy a közötti kapcsolatok megértéséhez kulcsot találjunk. E várakozás ösztönzi nemcsak az ekvivalenciaelv egyre szigorúbb ellenőrzését, de a hatalmas gyorsítók és távcsövek építését is.

Az ekvivalenciaelv esetleges sérülése mellett napjaink másik fontos elméleti várakozása, hogy a gravitáció $1/r^2$ -es távolságfüggése nem igaz minden korlát nélkül. Nagy méretekben a mindeddig hiába keresett részecskékhez kapcsolható sötét anyag és az Univerzum egyre gyorsuló tágulását előidéző sötét energia okoz problémát, és sokan a gravitáció távolságfüggésének módosulását sejtik ilyen nagy távolságokon. Igen kis távolságokon szintén módosulhat a gravitációs erőtvény, hiszen a távolság csökkenésével egyre erősebben jelentkezhetnek különböző kvantumeffektusok. Olyan jóslatok is vannak, hogy mintegy tized mm alatt a gravitáció a szokásos három térbeli dimenzió mellett további dimenziókba is be tud hatolni, és emiatt ennél kisebb távolságokon az $1/r^2$ -es távolságfüggés például $1/r^4$ -re módosul. Más típusú módosulást jósol a „kövér graviton” elmélet, amely szerint kis méretekben a gravitációs erő nem erősödik, hanem gyengül a távolság csökkenésével. Ez magyarázhatná a „sötét energia” nemrégiben kimért energiasűrűségének kicsiny voltát is, hiszen ekkor a nagyon kis hullámhosszú zéruspontrezgések nem járulnának hozzá az Univerzum energiájához. E kérdések vizsgálatához is alkalmasnak látszanak az Eöt-Wash csoport torziós ingái.

Nemrégiben jelent meg az Eöt-Wash csoport új cikke [11], amelyben egy torziós szálon függő, sok szabályosan elhelyezett lyukat tartalmazó korong és egy alatta elhelyezett, két rétegben szintén igen sok lyukat tartalmazó forgótárcsa segítségével vizsgálták a gravitáció távolságfüggését. A lyukak elrendezése olyan volt, hogy a korong és tárcsa közti megfelelő távolság

és $1/r^2$ -es távolságfüggés esetén gyakorlatilag ne gyakoroljanak egymásra forgatónyomatékokat (2. ábra). Az igen gondos, hosszan tartó mérés során kimutatták, hogy az $1/r^2$ -es távolságfüggés mintegy 50 mikrométer távolság fölött már igaz, ami kizár több korábbi jóságot, így a sötét energia „kövér gravitonokkal” való egyszerű magyarázatát is. Persze mindig léteznek bonyolultabb magyarázatok, és Adelberger csoportja valószínűleg még tovább fogja finomítani mérési módszereit.

Érdekes elgondolni, mit szólna Eötvös Loránd, ha tudná, hogy ingája nyomán, amely „egyszerű volt, mint Hamlet fuvolája”, ma olyan érzékeny mérőműszerek születnek, amelyek az Univerzum fő összetevőjének mibenlétét is képesek minden más műszernél pontosabban vizsgálni.

Végül felhívom az olvasók figyelmét, hogy Eötvös Loránd életéről, tevékenységéről és munkáiról a világhálón is sok információt találhatnak. Az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet tartja fenn a virtuális Eötvös-múzeum honlapját [12], míg a KFKI tudománytörténeti honlapján [13] sok más, Eötvössel kapcsolatos anyag mellett az e cikk alapjául szolgáló előadás képei is megtalálhatók [14].

Irodalom

1. R. v. Eötvös, D. Pekár, E. Fekete, *Annalen der Physik* 68 (1922) 11
2. Roland Eötvös *gesammelte Arbeiten*. Összeállította: Selényi Pál, Akadémiai Kiadó, Budapest (1953)
3. Renner J., Kísérleti vizsgálatok a tömegvonzás és tehetetlenség arányosságáról. *Matematikai és Természettudományi Értesítő* 13 (1935) 542
4. J. Illy, Einstein und der Eötvös-Versuch: ein Brief Albert Einsteins an Willy Wien. *Annals of Science* 46 (1989) 417
5. P.G. Roll, R. Krotkov, R.H. Dicke, The equivalence of inertial and passive gravitational mass. *Ann. Phys. (NY)* 26 (1964) 442
6. V.B. Braginsky, V.I. Panov, Verification of Equivalence Principle of Inertial and Gravitational Mass. *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* 61 (1971) 873, vagy *Sov. Phys. JETP* 34 (1972) 463
7. E. Fischbach et al., Reanalysis of the Eötvös Experiment. *Phys. Rev. Lett.* 56 (1986) 3
8. Fischbach, E., Bod L., Nárayné Ziegler M., Marx Gy., Az Eötvös-kísérlet száz éve. www.kfki.hu/eotvos/szazeves.html
9. Az Eöt-Wash csoport honlapja: www.npl.washington.edu/eotwash/
10. Király P., Eötvös and STEP. *Phys. Rev. Lett.* 98 (2007) 021101
11. D.J. Kapner et al., Tests of the gravitational inverse-square law below the dark-energy length scale. *arXiv:hep-ph/0611184* (2006)
12. Eötvös Loránd virtuális múzeum: www.elgi.hu/museum/
13. Eötvös Loránd munkái és méltatása: www.kfki.hu/eotvos/
14. Király P., Ünnepi előadás 2006. nov. 22-én. www.kfki.hu/eotvos/eotvoseloadas06.pdf

A FÖLD EREDETE

Nemecz Ernő
az MTA rendes tagja

A föld, ahol az élet terem,
a mindent nyelő sírverem,
a síkság, hegy, tenger, folyó:
öröknek látszik és múló.

Világűr és mennyboltozat,
sok forgó égi kapcsolat,
a milliárdnyi tűzgyoltyó:
öröknek látszik és múló.

Mit eltemet a feledés
egy gyík-kúszás, egy szárnyverés,
egy rezdület, mely elpörog:
múlónak látszik és örök.

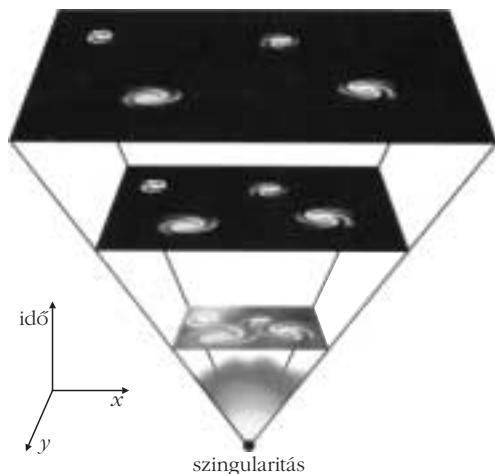
Mert ami egyszer végbement,
azon nem másít semmi rend,
se Isten, se az ördögök:
múlónak látszik és örök.

Weöres Sándor

Azok a természettudományok, amelyek vizsgálati tárgyuk, a „valami” történetével is foglalkoznak – többek között a földtan, csillagászat – voltaképpen Weöres *Öröklét* című versének gondolatát követik, amikor a megtörtént, tehát örök életű eseményeket igyekeznek felderíteni. Ilyen eseménysor a Föld keletkezésének elgondolt története is.

Ahhoz, hogy a Föld létrejöttéről, összetételéről és a rajta megtörtént eseményekről valamilyen elképzelésünk legyen, rövid áttekintésben egészen a kezdetekig kell visszamennünk. Az Univerzum keletkezése az ősi kultúráktól kezdve máig foglalkoztatja az emberi elmét, és a nagy vallások, filozófiai irányzatok számtalan elgondolást hagytak ránk. Ezekre nem kitérve a mai felfogást a természettudományos elvekre és ismeretekre alapozó elméletekkel foglaljuk össze. Amikor azonban természettudományos megközelítésről be-

szélünk, nem szabad figyelmen kívül hagynunk, hogy nem a tudományos kutatásban megszokott kísérletekről, kísérletileg igazolt, vagy szükségszerű tényekről, hanem feltevésekben gazdag teóriákról van szó. Igaz, a fizika, a részecskekutatás révén, a világkezdet első perceihez közeli viszonyokat tudja felidézni, azonban mindazok a gondolatok és ismeretek, amelyeket az azóta eltelt időre és folyamatokra vetítünk, nem nélkülözik a spekulatívnak tekinthető összerendezést. Hiszen a Világegyetemmel nem kísérletezhetünk, de elképzelhetünk egy, a rendelkezésre álló ismeretekkel ellentétben nem álló eseménysort. Mivel az ismeretek is állandóan bővülnek, de távolról sem elegendők, az Univerzum történetét egyértelműen nem rajzolhatjuk meg. Innen van az, hogy sokféle elmélettel találkozunk, melyeknek sok filozófiai, sőt, mondhatjuk, metafizikai vonása is van.



1. ábra. Galaxisok keletkezése az ősrobbanás utáni 300 ezer évtől. A tágulás során minden galaxis távolodik egymástól.

A kozmológusok többsége ma az ősrobbanás (Big Bang¹) elmélet vagy valamely változatának híve, amely három feltevésen nyugszik: a fizikai törvények univerzalitása, a kozmológiai és kopernikuszi elvek. A tágulásnak is nevezett elmélet kidolgozóit *Friedmann*, *Lemaître*, *Robertson* és *Walker* voltak, s az elmélet döntő igazolása volt az *Edwin Hubble* által a távoli galaxisok spektrumaiban észlelt vöröseltolódási jelenség. Eszerint a Világegyetem alkotórészei (galaxisok stb.) egy kezdeti pontból kiindulva a távolsággal növekvő sebességgel tágulnak, és a spektrum vöröseltolódása a Doppler-effektus következménye. Ha ezt a folyamatot időben visszafelé gondoljuk el, egy pillanatban végül egyetlen pontba² érkeünk, amely az egész Világegyetemet magában foglalta (szingularitás). Az ősrobbanás pillanata a számításoktól függően 12–15 milliárd évvel ezelőtt volt³. A Planck-időt (10^{-43} s) extrém gyors kiterjedés, *Alan Guth* (1979) által *kozmosz infláció*nak nevezett szakasz követi 10^{-30} s-ig, amely alatt a Világegyetem eredeti méretének 10^{48} -szorosára növekedett (1. ábra). A következő négyszázezer évet a kozmológusok tovább részletezik. Összefoglalóan felsorolva az eseményeket: az egyesített szupererők felbomlanak, a gravitáció elkülönül, gyenge, erős és elektromágneses kölcsönhatások lépnek föl, a szuperszimmetria felbomlik, a kvark-hadron átmenet, könnyű elemek (D, He, Li) 3000 K-en végbemenő szintézise, az anyag felülmúlja az antianyagot. Az Univerzum a kezdeti nagy hőmérsékletéről alacsony hőmérsékletre hűl, és a távolodási sebesség (a Hubble-állandó) a jelenlegire mérséklődik (Mpc-ként 70 km/s). Fontos volt, hogy *Penzias* és *Wilson* 1964-ben felismerték és megmérték az Univerzum minden irányából csekély ingadozással érkező mikrohullámú háttérsugárzást, amely 2,725 K hőmérsékletű feketetest sugárzásának felel meg, s minthogy eredete csaknem a kozmosz keletkezéséig (300 ezer

éves korra) megy vissza, ezért maradványsugárzásnak is hívják, és az ősrobbanási elmélet megerősítésének tekintik. A Big Bang elmélet a foton/barion arányból jól jelezte a ${}^4\text{He}$, ${}^3\text{He}$, D és ${}^7\text{Li}$ közönséges hidrogénhez viszonyított arányát is. Ezek: ${}^4\text{He}/\text{H} = 0,25$, ${}^2\text{H}/\text{H} = 10^{-3}$, ${}^3\text{He}/\text{H} = 10^{-4}$ és ${}^7\text{Li}/\text{H} = 10^{-9}$, ami jól egyezik a megfigyelésekkel.

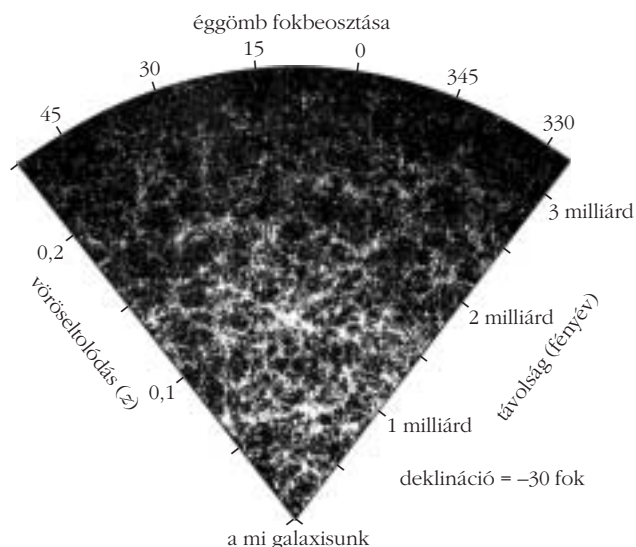
Az Univerzum kialakulása

A kozmológia egyik alapvető problémája a „darabos” Világegyetem létrejöttének megértése. A kérdés az, hogy az exponenciálisan táguló és a kezdetben csaknem homogén plazmából hogyan keletkeztek a csillagok, valamint azok kísérői, továbbá a galaxisok, azok halmazai és szuperhalmazai: vagyis a Világegyetem struktúrája. Az ősrobbanás teoretikusai egyetértenek abban, hogy már az eredeti, csak sugárzásból álló állapot után, a kozmikus infláció során megjelenik a gravitáció, melynek hatására lokális hőmérsékleti és sűrűségbeli – akár $1/100000$ -nyi – ingadozások az anyag csomósodásához, a mai anyageloszlás szerkezetének kialakulásához vezettek. A létrejött 8×10^{83} cm^3 térfogatú ($r = 14 \times 10^9$ fényév sugarú) látható Univerzum 350 milliárd galaxisában $3\text{--}5 \times 10^{22}$ csillag van és az atomok száma 4×10^{79} , az átlagos sűrűség pedig 10^{-29} g/cm^3 (2. ábra). Ez az Univerzum nagy skálán izotrópnak tekinthető.

Az antropikus elv

B. Carter használta elsőül az *antropikus* elnevezést. Őt követően sokan adtak hangot annak a nézetüknek, hogy az alapvető fizikai állandók már az Univerzum keletkezésekor feltűnő módon úgy alakultak, hogy később lehetővé tegyék a „megfigyelő” megjelenését a Világegyetemben. Íme néhány példa.

2. ábra. Galaxisok eloszlása 3 milliárd fényév távolságon belül a Tejútrendszer felől nézve.



¹ Fred Hoyle elnevezése 1950-ből, magyarul Nagy Bumm.

² A. Guth számításai szerint a kiindulási gömb átmérője 10 cm, Barrow szerint 3 mm lehetett.

³ Újabbban 13,7 milliárd évvel számolnak.



3. ábra. Az égbolt egy kicsiny szeletében a képen látható valamennyi objektum 5–10 milliárd fényévre levő egy-egy galaxis, az Ursa Major irányában (a Hubble-űrtéleszkóp felvétele, NASA).

Ha az egyesített erők szétválásakor a gravitációs erő 10^{-40} -ed részével erősebb lett volna, akkor a részecskék közötti elektromágneses erők működése következtében a Világegyetem kiterjedés helyett összeomlott volna. A proton+elektron neutronhoz viszonyított tömegaránya stabilizálja a hidrogén-atomot, amely arány legkisebb eltérése esetén a Nap sokkal rövidebb életű lenne. Így a Napban nem alakulhattak volna ki a Li-nál nehezebb elemek, többek között a szén és oxigén, továbbá a szupernóva-robbanások során a vasnál nehezebb elemek. Különösen szembeűnő az élő anyaghoz nélkülözhetetlen szén és oxigén képződése. A ^{12}C három ^4He fúziójával keletkezik, mivel azonban ezek egyidejű, együttes és alkalmas találkozásának valószínűsége csekély, a gyakoribb $2^4\text{He} \rightarrow ^8\text{Be}$ reakció és a Nap belsejében uralkodó hőmérséklet szükséges a szén képződéséhez. A ^{12}C és ^4He további fúziója ^{16}O képződéséhez vezet, de az oxigén alacsonyabb rezonanciaszintje miatt a folyamat nem meríti ki teljesen a szén mennyiségét, vagyis a két elem az élőanyag szükségletének megfelelő arányban van jelen.

További fizikai paraméterek itt fel nem sorolt beállítódását az Univerzum „finomhangolásának” nevezik. E bámulatos összerendezettség láttán alig van kozmológus, aki az antropikus elv alakításához nem járult hozzá, ezért ennek sok változata (gyenge, erős, végleges stb.) létezik, és ezek mindegyike átlépte a fizika határát a filozófia irányába.

A kozmológiai irodalomban az őrobbanás-elmélet bírálatával is találkozunk. Az alapvető probléma a szingularitás miatt alakult ki, mert ez az állapot túl van a matematikai kezelhetőség határán. De gond van az egyenletes gázfelhőből kiinduló mai világegyetemi struktúra kialakulásával is. Megoldatlan továbbá a „hiányzó tömeg” kérdése (l. Németh J., Szabados L.: A sötét anyag, *Fizikai Szemle* 56/11 (2006) 362).

Állandó vita tárgya, hogy a Világegyetem görbülete konvex vagy konkáv, amiből az állandó tágulás, vagy a gravitáció hatására a Nagy Bummal ellentétes Nagy Reccs következnek. Egyesek szerint e folyamat oszcilláló is lehet, ez viszont szemben áll az entrópiátéttel.

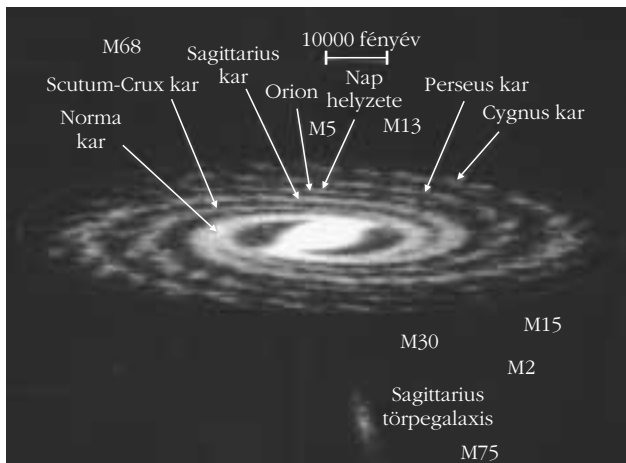
Az antropikus elvnek is vannak szélsőséges hajtásai. *Barrow* és *Tipler* felfogása szerint „megfigyelő szükséges az Univerzum létrejöttéhez”. *Wheeler* felelete arra a kérdésre, hogy miért olyan finoman hangolt az Univerzum: „mert csak így jöhet létre az ember”. Miért izotróp a Világegyetem? *Collins* és *Hawking* így válaszol: „mert mi, emberek, létezőnk”. Végül ide kell illeszteni *Aquinói Tamás* véleményét is arról, hogy miként értjük meg a világot: „mivel a mindenség és benne mi is teremtmények vagyunk, a közös lét összeköt bennünket, s ezért gondolkodásunk és a lét rendje egymásra van hangolva”.

Naprendszerek keletkezése

A naprendszerek és bennük a bolygók keletkezése a galaxisok létezésének problémájához hasonló. A ma általánosan elfogadott felfogás szerint kozmikus porból és gázból (főleg H és He) álló felhőkből gravitációs hatásra sűrűsödtek össze, ámbar a gázok kölcsönhatására vonatkozó matematikai egyenletek kielégítő módon még nem állnak rendelkezésre. Felteszik, hogy szupernóva-robbanás kinetikus energiája indíthatja meg a szomszédos ködben a csillagképződést, a nyomás következtében előáll a sűrűsödés. Egyébként sztelláris rendszerek kialakulása az Orion-köd nagy felbontású felvételein közvetlenül megfigyelhető. Becslések szerint a Földtől 10 parszek távolságon belül szupernóva néhány százmilliótól néhány milliárd évig tartó időszakoként egyszer fordulhat elő.

Saját Naprendszerünkkel kapcsolatban, a kémiai összetételre tekintettel, azt kell feltennünk, hogy Naprendszerük fejlődése valóban szupernóva-robbanás maradványából és az interstelláris ködből indult ki. A Nap anyaga főleg hidrogénből (73,4%) és héliumból (25%) valamint 60 nyomelem keverékéből áll. Láttuk, hogy az őrobbanást követő nukleosintézis a Li-ig jutott el, a csillagok belsejében uralkodó viszonyok a vasig terjedő elemek képződéséhez vezetnek, az ennél nehezebb – Pu, Cm-ig terjedő – elemek viszont csak szupernóva-robbanás hőmérsékleti és nyomásvizonyai között jöhetnek létre. Miután Naprendszerünkben az elemek U-ig tartó sora is jelen van, okunk van arra gondolni, hogy a kiindulás szupernóva-robbanás maradványfelhője lehetett, amely a környező gázköddel adiabatikus tágulás során összekeveredik (kb. 10 ezer év), és ebből indul meg új naprendszerek keletkezése, megváltoztatva azok elemösszetételét az Univerzum átlagához képest.

A G2 színképtípusú Nap a 100 ezer fényév átmérőjű Tejútrendszer, egy spirális galaxis Orion-karjában, a középponttól ~25 ezer fényévi távolságban talál-



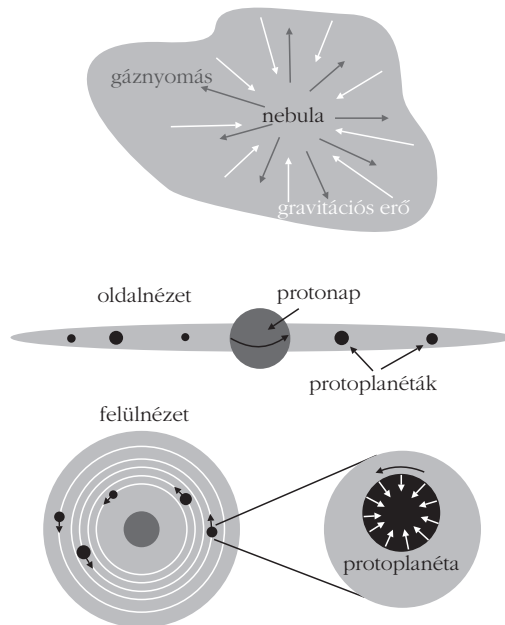
4. ábra. Napunk helyzete a Tejútrendszerben.

ható, és átlagos csillagnak tekinthető (4. ábra). Az egész Naprendszer tömegének 99,86%-a a Napban, de impulzusnyomatékának túlnyomó része a bolygóknak van felhalmozva. Ennek az elhelyezkedésnek és méretnek a földi viszonyok alakulása szempontjából jelentősége van. A Nap csaknem pontos körpályán kering a Tejútrendszer központja körül az Orion-kar Perseus-kar felőli részén kevés csillag társaságában. Keringési sebessége elegendő ahhoz, hogy két spirális kar között maradjon a földi élet egész tartama alatt, s ezáltal elkerülje a karok belsejében gyakori szupernóva-robbanások földi életre pusztító hatását. A Földet ugyanis még 3300 fényév távolságból is, különösen az Ia típusú szupernóva-robbanások során, olyan erős γ -sugárzás fenyegetheti, hogy a felsőlégköri ózon több mint fele nitrogén-oxidokká alakul, és a felszín szabaddá válik az UV- és kozmikus sugarak számára. A spirális karok belsejében tehát a szupernóvák gyakori robbanása valósággal sterilizálhatja a földi típusú életet.

A bolygórendszer és a Föld keletkezése

A tudománytörténet legalább hatféle keletkezési elméletet tart számon, de ezek részletezése nélkül a ma leginkább elfogadott elképzelést tárgyaljuk. Ez *Kant* (1755) – és *Laplace* (1796) tőle független – nebularis elméletére tér vissza a sokkal több asztronómiai ismeret birtokában. A mai elmélet lényegét az 5. ábrán tanulmányozhatjuk. A ködben, amelyben egy szupernóva-robbanás lökéshulláma sűrűsödési csomópontokat kelt, a gravitációs erő felülmúlja a gázszeccskék széttartó mozgását és a nebula kezd összehúzódni. A főleg H-ből, kisebb részben He-ből álló gázfelhőről felteszik, hogy csekély sűrűsége miatt kiterjedése (az Orion-köd analógiájára) 30–40 fényévnél lehetett, tömege 2–10-szerese a Napénak, és eleve forgásban volt (mint a Világegyetem minden objektuma).

Miközben tízmilliomod részére zsugorodott, az impulzusnyomaték megmaradásának törvénye szerint, forgási sebességének növekedése folytán, a

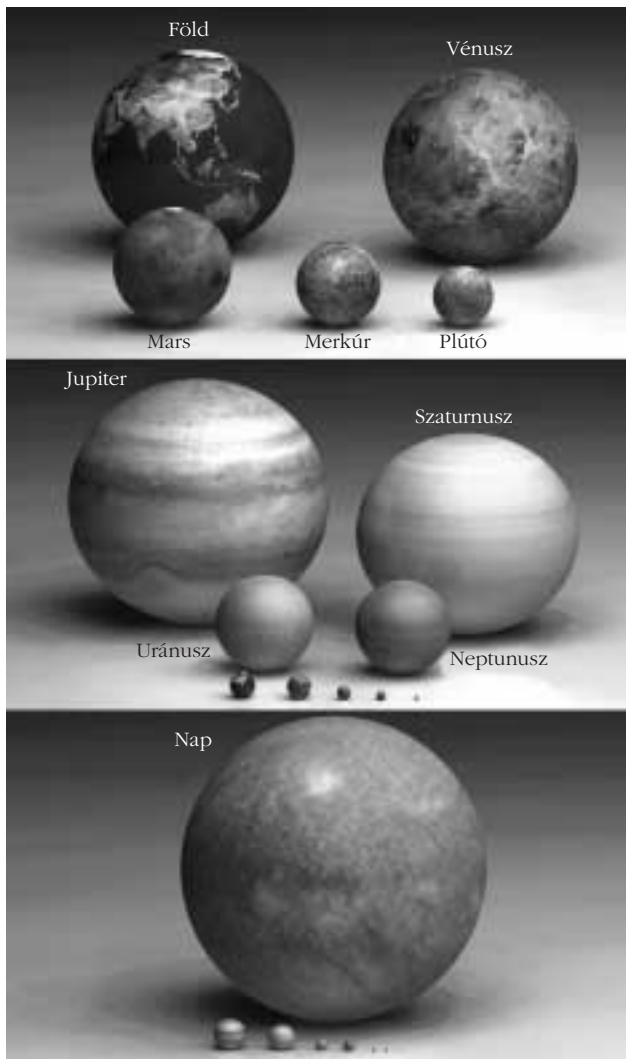


5. ábra. A protonap és protoplanéták kialakulása a nebula gravitációs összehúzódása következtében

gázfelhő 4,58 milliárd évvel ezelőtt forgó koronggal alakult, centrumában a Nappal. E korong jelenlegi rádiusza, ahol a napszél sebességét a gravitáció kiegyenlíti, mintegy 80 CsE ($1,14 \times 10^{10}$ km). A gravitációs összehúzódás nyomán a Nap belseje elérte a H-fúziós hőmérsékletét (15 millió K-t) és fényleni kezdett – a mai fényességének 70%-ával (–4,4 milliárd év). Impulzusnyomatéka áthelyeződik a korong bolygóira, ezért kicsi a forgási sebessége (tengelyforgási periódus: 26 nap), ami összhangban van az a tapasztalattal, hogy a 6000 °C felszíni hőmérsékletű csillagok lassabban forognak, mint a 7000 °C hőmérsékletűek.

G.P. Kuiper szerint amint a gázfelhő megszűnik teljes terjedelmében egyformán forogni, turbulencia és árapályjelenségek örvényeket idéznek elő benne, s ezek a bolygók előfutárai (protoplanéták, 5. ábra). Az ezekben meginduló kondenzáció a bolygók kétféle típusát hozza létre: a Föld típusú kőzetbolygókat (belső bolygók) és a külső óriás gázbolygókat és holdjaikat. Az elmélet helyesen értelmezi a következőket: a bolygók kellő távolságban vannak egymástól, csaknem kör alakban, ugyanazon síkban keringenek. A belső bolygók sűrűsége nagy, atmoszférájuk vékony vagy nincs, lassan forognak, kevés hidrogént és héliumot tartalmaznak. A külsők sűrűsége kicsi, vastag atmoszféra, gyors forgás, sok hold jellemzi őket, és túlnyomóan jégből, H-ből és He-ből állnak.

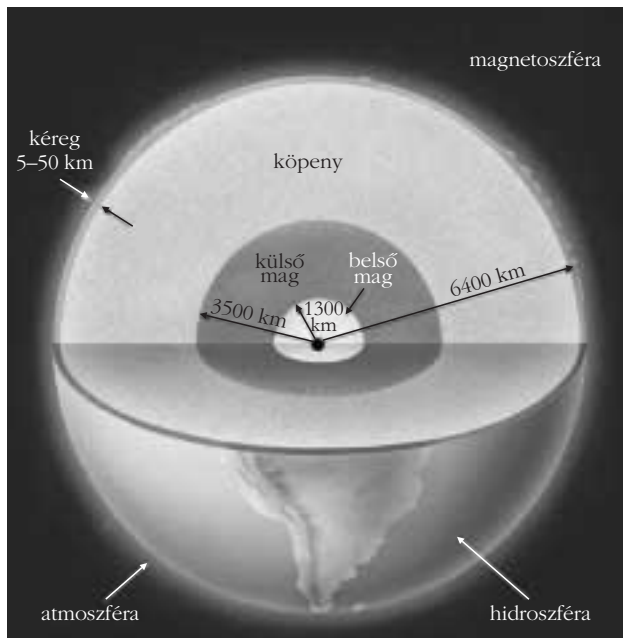
A kémiai összetételt és annak bolygók szerinti eltérését *H.C. Urey* értelmezte helyesen. Eszerint a belső bolygók olyan hőmérsékleten keletkeztek (<1200 °C), amely elegendő volt ahhoz, hogy a napszél eltávolítsa a könnyű elemeket (H, He), és a nagy olvadáspontú (hőálló) elemek (Fe, Si stb.) helyben kondenzálódjanak. A Jupiter bolygó távolságától kezdődően viszont a víz, metán, ammónia megfagyott, megakadályozva a



6. ábra. A Naprendszer bolygóinak méretaránya

hőálló elemek nagyobb szemcsékké történő összeállását, és az eredeti ködből sok H-t és He-ot megkötvő rövid idő alatt nagybolygókká növekedtek (6. ábra). A Naprendszer fontos tagjai a Naptól való távolság sorrendjében: Merkúr, Vénusz, Föld, Mars, kisbolygóöv a Ceres törpebolygóval ($d = 933$ km), Jupiter, Szaturnusz, Uránusz, Neptunusz, Plútó törpebolygó, Kuiper-öv és a mintegy trillió meteoroidot tartalmazó Oort-felhő. Az óriásbolygóknak szerepük van abban, hogy a Jupitertől a Nap felé eső térségtől, benne a Földtől is, távol tartják az időnként erre tartó égitesteket, amint azt nemrég láttuk egy üstökös Jupiterbe csapódása során.

A Föld típusú bolygók esetében a csillagközi por-szemcsék a hőálló elemekkel keveredve, a gravitációs tömörödés és a radioaktív elemek termelte hő hatására megolvadtak, fémtömböket alkottak, és nagyobb sűrűségük következtében lesüllyedtek, a magban összegyűltek. A Föld, éppen úgy, mint a többi belső bolygó, különböző méretű, összetételű, a központi vasmagtól a kéregig csökkenő sűrűségű övekből áll (7. ábra). A Föld átlagos sűrűsége $5,55 \text{ g/cm}^3$, amely a legnagyobb az összes bolygó közül.



7. ábra. A Föld belső szerkezete

Itt kell megemlítenünk, hogy Földünknek egy kísérője is van, amely a Naprendszer valamennyi holdja közül a saját bolygójának tömegéhez viszonyítva a legnagyobb. Keletkezését szintén több elmélet magyarázza. Az ismert adatokkal legjobb összhangban levő felfogás szerint a Föld korai, de már differenciálódott állapotában egy Mars méretű égitest ütközhetett a Földnek, melynek egy köpeny összetételű részét kiszakítva a Hold pályájára állította.

A Föld, az élet helyszíne

A továbbiakban a Földet mint az élet helyszínét fogjuk tekinteni. Régóta foglalkoztatja az emberiség fantáziáját, hogy van-e élet a Földön kívül is. Ezt a korábban teljesen elvi kérdést újabban asztronómiai eszközökkel igyekeznek vizsgálni, és abból a statisztikai logikából indulnak ki, hogy a galaxisok sok százmilliárd csillaga között miért ne lehetnének olyan csillagok, amelyeket bolygórendszer vesz körbe, és a bolygók között akár a Földhöz hasonló is lehet. A nehézségek ellenére (nagy távolság, kis méret, saját fény hiánya) 1995-ben sikerült az első extraszoláris bolygót (röviden exobolygót) megfigyelni Nap típusú csillag mellett: a tőlünk 50 fényév távolságban levő 51 Pegasi csillag körül keringő exobolygót. 2006 végéig már 200-nál több bolygót találtak, a legközelebbit 15 fényév távolságban. Ezek kivétel nélkül a Jupiternél 2–10-szer nagyobb tömegű, a saját csillagjukhoz közeli (Merkúr-) pályán keringő bolygók, s mint ilyenek nem valószínű, hogy élet hordozói.

Ha a mi Földünk életet fenntartó tulajdonságait tekintjük, a kivételes viszonyok egybeesése miatt, a Világegyetemmel kapcsolatban említett antropikus elvre kell gondolnunk. A 8. ábra mutatja be a Naprendszer „lakható” zónáját a központi csillag méretének függ-

vényében. Ebből kitűnik *Ward* és *Brownlee* kopernikuszi felfogással szembeni nézete, hogy az olyan bolygó, mint a mi Földünk és annak helyzete a Naprendszerben és a Tejútrendszerben, s amely annyira barátságos a komplex élet számára, rendkívüli ritkaság lehet az Univerzumban.

Az élő anyag számára elengedhetetlen a H_2O vegyület folyékony és/vagy gőz halmazállapota, a hőmérséklet nem túl széles határok közötti állandósága, káros események hiánya vagy ritkasága. E feltételek teljesülése sok tényező egyidejű jelenlétének függvénye. Említsük meg ezek közül a legfontosabbakat.

A galaktikus elhelyezkedés

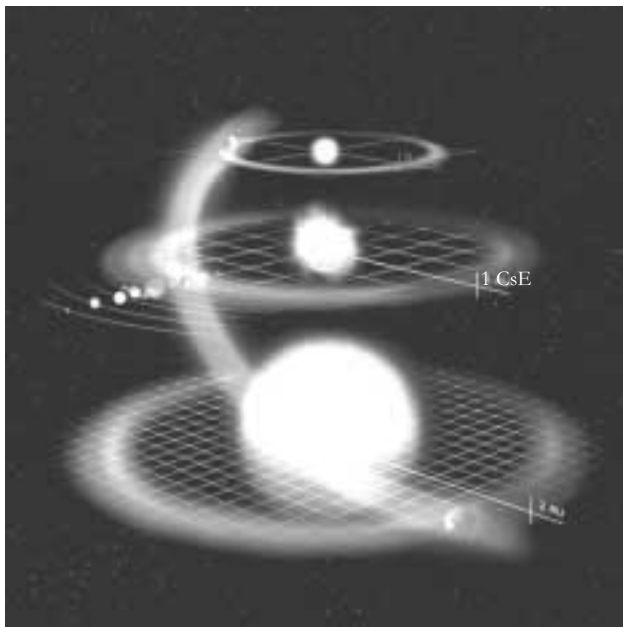
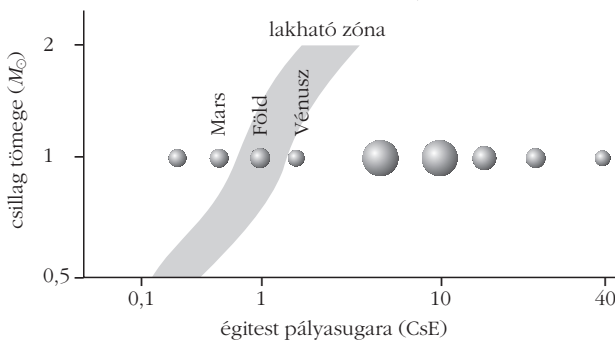
A Nap kedvező helyen van a galaxisban, mert elegendő távolságra van ahhoz, hogy a központból érkező erős röntgen- és γ -sugárzás fluxusa kellően lecsökkenjen. A centrumtól kifelé csökkenő fémtartalom a Nap helyén még elegendő, hogy az U-ig terjedő elemek jelen legyenek a Földön. Az adott helyen csekély a gravitációs perturbáció, és ennek következtében kevés nagy meteoritbecsapódás várható. Fontos, hogy a Nap keringési sebessége (226 millió év/körforgás) összhangban legyen a galaxis spirális karjának keringési sebességével, mert különben kereszttezhetné a

karok közötti zónát. Ennek a galaktikus lakhatósági zónának szélességét *Lineweaver* (2005) 7–9 kiloparszekre teszi, amelyben a galaxis csillagainak mindössze 5%-a van.

A központi csillag (Nap) tulajdonságai

Az élhető bolygó központi csillagának mérete sem közömbös, mert csak olyan közepes nagyságú lehet, amely rendkívül hosszú fejlődés során (további 5 milliárd év múlva) alakul át fehér törpévé. A nagy csillagok ugyanis viszonylag rövid idő alatt (1 milliárd év) szupernóva-kitöréssel mennek át. Nagy szerepe van a Nap–bolygó távolságnak, a napsugárzás erősségének, ingadozásának és spektrumának abban, hogy a Földön több milliárd éven át megfelelő klíma alakuljon ki. A klíma alakulásának elsődleges forrása a Nap sugárzási energiája, de a klíma ingadozása rendkívül összetett jelenség, és csak a geológiai múltba való visszatekintés útján ítéltethető meg. Ha a sugárzási energia és Föld albedója minden korlátozás nélkül érvényesülhetne, az átlagos hőmérséklet körülbelül $33\text{ }^\circ\text{C}$ -kal kisebb volna a jelenleginél, vagyis a víz csak fagyott állapotban létezne. A nagyobb átlagos hőmérsékletet tehát az atmoszféra összetételében levő, a földi infravörös sugarakat visszaverő, üvegházhatást kiváltó gázok idézik elő. Ilyenek: CO_2 , metán, ammónia. Különleges hatást a CO_2 -nak tulajdonítanak, jóllehet ennek koncentrációja az utóbbi 600 millió évben geológiai és biológiai hatásokra $>0,5\%$ és $0,02\%$ között ingadozott. A fosszilis tüzelőanyagok égetése 1850-től napjainkig $0,028\%$ -ról $0,036\%$ -ra növelte az atmoszféra CO_2 -koncentrációját, és az évszázad végére $0,056\%$ -ot várnak $1,5\text{--}5\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérséklet-emelkedéssel. A klíma alakulására további hatással van a nagy mennyiségű metán felszabadulása a mezőgazdasági tevékenység, a szibériai olvadás következtében. A vulkanizmus, aeroszolok, felhőzet viszont csökkenti a hőmérsékletet.

8. ábra. A Föld a Naprendszer lakható zónájában helyezkedik el.



A Föld mérete

Morris (2003) foglalta össze a mérettel összefüggő előnyöket és hátrányokat. Kis bolygó nem tud elegendő atmoszférát megtartani, aminek szélsőséges hőmérséklet-ingadozás, erős UV-sugárzás a következménye. Ugyanakkor a lemeztektonika korai megszűnése rendkívül meredek hegyek, kanyonok kialakulásához vezetne. Ellenkező esetben, ha a bolygó nagy és gravitációs ereje jelentősen felülmúlná a Földét, az megnehezítené hegyek és kontinensek kialakulását. Szélső esetben a felszínt egyetlen óceán borítaná, ami technológiát kezelő élőlény kifejlődését nem tenné lehetővé.

A nagy Hold jelentősége

A Mars nagyságú égitest ütközése a Földdel hozta létre a Holdat, beállítva ezzel a Föld forgási sebességét, tengelyének a keringési síkkal bezárt szögét ($23,5^\circ$). Ezt a szögértéket, mely optimum az élőlények szempontjából, a Hold nagy tömege giroszkópszerű hatással stabilizálja, különben a tengely mozgá-

sa kaotikussá válna, mint a hold nélküli bolygók esetében. A forgási sebességet a Hold jelentős árapálytevékenysége lecsökkentette s így egy nap hossza a 3,5 milliárd év előtti 15 órától a jelenlegi 24 órára nőtt. Jelenleg a Hold évi 38 mm-nyi távolodása 0,02 ms-mal növeli a nap hosszát. Mindez kedvezően hatott a magasabb rendű élőlények fejlődésére.

A mágneses mező szerepe

A Föld élőlényeit az űrből érkező káros sugárzással szemben a magnetoszféra védi meg. Ezt a Föld magjában elhelyezkedő, a Hold gravitációs hatására az alsó köpenytől eltérő sebességgel forgó olvadt külső vas-mag gerjeszti a dinamoelv alapján. Ahhoz, hogy ez folyós állapotban legyen, hosszú felezési idejű radioaktív elemekre (U, Th, K) van szükség, amelyek az Univerzumban meglehetősen ritkán fordulnak elő.

A lemeztektonika hatása az élő rendszerre

Láttuk az atmoszféra CO₂-tartalmának befolyását a klímára. A CO₂-koncentrációt a felszíni mállási folyamatok tartják megfelelő határértékek között. A felszíni szilikátközetekből ugyanis a csapadékvíz hatására kioldódó Ca²⁺-ionok a légköri CO₂-dal reagálva mészkővé (CaCO₃) alakulnak. A folyamat annál intenzívebb, minél nagyobb a hőmérséklet. A CO₂ kivonása az atmoszférából viszont csökkenti a hőmérsékletet, s vele a mállási sebességet. Az atmoszférának a többé-kevésbé egyenletes klíma fenntartásához CO₂-bevitelre van szüksége, ami a lemeztektonikai tevékenység révén valósul meg. A Föld felső kérgét hat egymáshoz képest vándorló lemez alkotja, melyek részben elrejtik a mállás során képződött CaCO₃-ot, részben például vulkánok működtetésével CO₂-ot bocsátanak az atmoszférába. Másrészt a lemezek egymással történő súrlódása szeizmikus jelenségekhez vezet, ennek ellenére az emberiség 70%-a földrengések által sűrűn látogatott területeken él.

A jégkorszakok szerepe

Ismeretlen, de feltűnő kapcsolat látszik fennállni a földi jégkorszaki periódusok és az élőlények minőségi és számbeli változása között. Az első intenzív jégkorszak (hólabda Föld) 2,4 milliárd évvel ezelőtt kezdődött, majd közvetlenül a befejeződése utántól származik az első eukarióta egysejtű élőlény. Ezt követi a kriogén hólabda periódus (850–635 millió évek között), majd 50 millió év múlva megjelennek az Ediacaran fossziliák (Kanada), minden mai élőlény előzményei. Nem túlzottan hosszú idő múlva (–542 millió évben) a kambriumban az élővilágnak fajta- és egyedszám tekintetében egy robbanásszerű kibontakozása ment végbe. A legújabb korra térve: az utolsó jégkorszak 1,5 millió évvel ezelőtt kezdődött. A neandervölgyi és a modern ember kialakulása az ingadozó jégkorszakok idején ment végbe, és a nagytermetű emlősök kipusztultak. –12 ezer évtől a jég visszaszorult, megindul a mezőgazdasági tevékenység, és az úgynevezett kis jégkorszak (a 14. századtól a 19. század közepeig) után következett be a technikai robbanás.

A Gaia-elmélet

A földi életet lehetővé tevő tényezők említetknél is nagyobb sokaságának összehangolt jelenléte már régebben gondolkodóba ejtette a kutatókat. Koherensnek tűnő elgondolást jelenleg sokan a Gaia-elméletben látnak. Kidolgozása *Sir James Lovelock* nevéhez és *A new look at life on Earth* című, 1979-ben megjelent könyvéhez fűződik. Eredetileg két variáció alakult ki: a *gyenge* és az *erős* Gaia-elmélet. Az első annyit mond ki, hogy az organizmusok a Földön az idők folyamán radikálisan megváltoztatták összetételüket. Az erősebb változat szerint a Föld bioszférája önszervező rendszer, amely úgy működik, hogy a maga rendszerét egy metaegyensúlyi állapotban tartja, amely rendkívül kedvező az élet számára.

Szerinte a biomassza befolyásolja a bolygó feltételeit úgy, hogy az minél kedvezőbb (hospitable) legyen. A „hospitality” kifejezést a teljes homeosztázis⁴ értelemben használja. E kezdeti hipotézis, amelyet a kritikusok teleologikusnak tartanak, azt mondja, hogy az atmoszféra homeosztázisban van a bioszféra által és érdekében. Tehát az élő anyag egy homeosztatikus visszacsatolás révén stabilizálja az atmoszféra összetételét és hőmérsékletét.

Lovelock érvei

- A Föld felszíni hőmérséklete állandó, bár a nap-sugárzás energiája a kezdetektől 25–30%-kal nőtt;
- Az atmoszféra összetétele állandó, bár változóknak kellene lennie;
- Az óceánok sótartalma állandó.

Több nemzetközi konferencián⁵ foglalkoztak az elmélettel. Elsőként *Ford Doolittle* kritizálta azzal, hogy az organizmusok nem vehettek részt olyan folyamatban, amely előre látta és tervezte volna önmagát. Az ellenvélemények hatására Lovelock új variációt terjesztett elő, amely elhagyta azt a gondolatot, hogy a Gaia tudatosan alakította ki az élet számára kedvező feltételeket, amit a tudományos közvélemény már jobban fogadott. Azt állította, hogy a Gaia-elmélet homeosztatikus volt, vagyis a biota úgy befolyásolta az abiotikus világot, hogy az homeosztatikus visszacsatolásává vált.

James Kirchner fizikus szerint nem egyszerűen gyenge és erős Gaia-elméletről van szó, hanem van: influential Gaia, co-evolutionary Gaia, homeostatic Gaia, teleological Gaia és optimizing Gaia. Az optimalizáló Gaia szerint a biota úgy manipulálja a környezetét, hogy az biológiailag kedvező, sőt optimális legyen. Az atmoszféra Lovelock szerint több mint anomális. Hihetetlen, hogy a véletlen úgy alakítsa a hőmérsékletet, pH-t, az élelemként szereplő vegyületeket, hogy azok hosszú időre éppen optimálisak legyenek.

⁴ A homeosztázis egy nyílt rendszer, különösen organizmus olyan tulajdonsága, amely átalakítja belső környezetét, hogy egy többszöri dinamikus egyensúly révén stabil maradjon.

⁵ Az egyiket az Amerika Geofizikai Unió rendezésében 1988-ban, a másodikat Spanyolországban 2000-ben tartották.

nek az élet számára. Inkább: a biota által felhasznált energia aktiválja az optimum fenntartását. A gyenge hipotézist koevolúciónak nevezik, és lényege a következő: a biota befolyásolja az abiotikus környezetet, a környezet pedig befolyásolja a biotát a darwini folyamatokkal (Lovelock 1996). A gyenge változat nem homeosztázisra épül, csak azt állítja, hogy az élet és környezete hat egymásra, amit szigorúan tudományos szempontból elfogadhatóbbnak tartanak. Például mindenki elfogadja, hogy a fotoszintetikus baktériumok a prekambriumban teljesen megváltoztatták az atmoszférát, oxidatívává tették, és ezzel alkalmassá a további fejlődés számára. Más kérdés azonban, hogy ez a folyamat nem igényli egy homeosztázis általi koordináció közreműködését.

Lovelock 1979-ben azt írja: a Gaia kutatása kísérlet a legnagyobb élő teremtmény (a Föld) megtalálására. Milyen „élő” lény, milyen szempontból? – vetik fel. A Gaia valódi élő organizmus? Milyen értelemben? És milyen szempontból tud egy kibernetikus Gaia „optimális” fizikai és kémiai környezetet biztosítani az élővilág számára a bolygón? Optimálisat, kinek?

Lovelock egy szerzőtársa, *Lynn Margulis* óvatosabban fogalmaz, szerinte csak egy homeoretikus⁶ és nem homeosztatikusan mérlegelés létezik, vagyis a Föld atmoszférájának, hidroszférájának és litoszférájának összetétele egy pontok rendszere körül homeosztatikusan van ugyan rendezve, de ez a pontrendszer az idővel maga is változik. Tehát szerinte nincs a bioszférának olyan tendenciája, hogy a létező élőhelyét megőrizze, még kevésbé, hogy komfortosabbá tegye. Ennek megfelelően a Föld nem egy élő organizmus, amely él és hirtelen elpusztul, hanem egy olyan közösségfajta (community), amelyben az integráció különböző fokán álló egységek léteznek. A Föld egy interaktív ökoszisztéma, mégpedig egyetlen óriás ökoszisztéma a Föld felszínén. A Gaia egy nagy szimbiózis, amint az úrból látható. Kérdés: a Gaianak nevezett globális biogeokémiai-klimatikus rendszer hogyan változott az idők folyamán? Mi a története? A Gaia tudja-e biztosítani egy rendszer stabilitását valamilyen időtartamra és közben a változást hosszú időskálán? Miképpen igazolják a geológiai megfigyelések az elmélet nézeteit? *Staley* (2002) úgy véli, hogy az alternatív Gaia-elmélet a tradicionális darwini elvekre épül ugyan, de az új megközelítésben a populáció dinamikáját nem a darwini szelekció, hanem a környezet szabályozása határozza meg.

Ami a Gaia-elmélet filozófiai aspektusát illeti, helyes ahhoz a bírálathoz csatlakozni, amely elképzelhetetlennek tartja, hogy az élővilág mintegy előre lássa és hajtsa végre azokat a homeosztatikusan változásokat, amelyek a saját kedvező életkörülményeinek fenntartásához szükségesek (az elkövetkező időkben).

⁶ Homeorhesis egy olyan dinamikus rendszer amely egy trajektóriára tér vissza és nem egy állapotra, mint a homeosztázis esetében.

Összefoglalás

Az Univerzum – szingularitástól egy kis égitesten értelmes élőlény megjelenéséig terjedő – folyamatainak elgondolása természetesen nem végleges és nem is kifogástalan. Az ősrobbanási teória, melyet a Világegyetem keletkezése standard elméletének tartanak több, tudományosan igazolhatatlan feltevésből indul ki. Különösen sok vita tárgya volt a kezdet ($t = 0$ idő) és a semmiből (ex nihilo) való keletkezés megjelölése a korábbi nézetekhez képest, melyek a világot örökké létezőnek gondolták. Ezért új variációk álltak elő, lehetővé téve az örökké létezést (pl. steady state elmélet), de ezek nem állták meg helyüket.

Az ősi vallások (kereszténység, rabbinita judaizmus, iszlám, a hinduizmus némely ága) képviselői részben elfogadták az ősrobbanás elméletét, és párhuzamot láttak benne a teremtésre vonatkozó isteni nyilatkozattal. *Mózes* (*Gen. 1,2*) szerint a világot Isten teremtette, először létrehozva a teret, anyagot, időt, majd a fényt (energiát). A tudományos keletkezési elmélet különböző következményeinek is vannak vallási-filozófiai vonatkozásai. Ha a gravitáció nem tudja megállítani a kozmikus tágulást, a csillagok oly távolra kerülnek, hogy sötét lesz az éjszaka. A Biblia egy helye: „Az ég és a Föld elmúlnak...” (*Máté 24,35*) lehet utalás erre a kozmikus szituációra. Akik a Nagy Reccs elgondolói, azok a Zen filozófusok oszcilláló univerzumában találnak előzményekre.

Ezek a párhuzamok arra utalnak, hogy a kísérletileg igazolható mennyiségek, melyek korábban demarkációs határt jelentettek a tudományok és az értelmes érvelés filozófiai, teológiai és szellemtudományi módszere között, mennyire elmosódnak, ha a tudományos vizsgálódás oly messzire tör előre. E kétféle gondolkodás természetesen nem vezethető vissza egymásra, de szerencsére az emberi elme a mennyiségi és minőségi fogalmakat egyaránt megérti. A Big Bang elméletet övező sok kritika nem kell, hogy elbizonytalanítson, mert aktuális *Allan Sandage* felfogása, aki szerint: „A tudomány az egyetlen akkorrigáló emberi intézmény, de a folyamat csak akkor halad előre, ha önmagát hibásnak tekinti.” Befejezésül pedig felidézhetjük *Nicolaus Steno* (*Niels Stensen*) dán kutatónak (1638–1686), a kristálytan egyik megalapozójának gondolatát: „A szépet látjuk, de még szebb, amit értünk is, a legszebb viszont az, amit fel sem foghatunk.”

Irodalom

- J.D. Barrow, *A Világegyetem születése*. Kulturtrade, Budapest (1997)
 J.D. Barrow, F. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle*. Oxford Univ. Press (1986)
 G.C. Brown, C.J. Hawkesworth, R.C.L. Wilson (szerk.), *Understanding the Earth, a new synthesis*. Cambridge Univ. Press (1992)
 P. Francis, *A bolygók*. Gondolat, Budapest (1988)
 S.W. Hawking, *Az idő rövid története*. Mecenás könyvek, Talentum, Budapest (1988)
 C.W. Lane, Critical review of the anthropic cosmological principle. *International Philosophical Quarterly* 27 (1987) 437–447
 F.J. Tipler, Intelligent Life in Cosmology. *International Journal of Astrobiology* 2 (2003) 141–148

IN MEMORIAM PERJÉS ZOLTÁN (1943–2004)

Két évvel ezelőtt távozott közülünk *Perjés Zoltán*, a gravitációelmélet nemzetközi hírvizsgálója, a magyarországi relativitáselméleti iskola megteremtője. Nemrég készítettünk el egy kiadványt, amely tudományos munkáit foglalja egybe és rendszerezi annak elősegítésére, hogy iskolateremtő tevékenysége és eredményei minél szélesebb körben ismertté váljanak. A *Fizikai Szemle* olvasói körében is ezt szeretnénk elérni, ezért e kötet megjelenésének alkalmából újra fölidézzük emlékét.

Életrajzát inkább csak kiegészítjük, és visszautalunk a halála után megjelent nekrológra.¹ Kutatói pályájának és tudósi habitusának bemutatására helyezve a hangsúlyt két nemzetközi hírvizsgáló munkatársára, *Cornelius Hoenselaers*, a Loughboroughi Egyetem Matematika Tanszékének egyetemi tanára, az Einstein-egyenletek egzakt megoldásainak elismert szakértője, valamint *Paul Tod*, az Oxfordi Egyetem Matematika Tanszékének professzora, a matematikai relativitáselmélet és a tvisztorelmélet kiváló művelője által az említett kötet számára írt méltatását adjuk közre² (némileg szerkesztett formában), kiegészítve három egykori tanítványának személyes visszaemlékezésével.

Perjés Zoltán 1943-ban született Budapesten. Édesanyja (*Rubik Olga*) révén rokona a Rubik-kocka világhírvizsgáló föltalálójának, *Rubik Ernő*nek. Valószínűleg ezen családi gyökerekkel függ össze az élete végéig megőrzött erőteljes homo ludens arculat: nagy lelkesedéssel oldott meg „játékos” matematikai problémákat. (Tudjuk persze, hogy a kutató elmétől nem idegen sem a játék, sem a játékosság, elegendő itt Zoltán egyik világhírvizsgáló kollégájára és barátjára, a később még szóba kerülő *Roger Penrose*-ra utalnunk.)

Középiskolai tanulmányait Budapest egyik legkitűnőbb középiskolájában, a Piarista Gimnáziumban végezte, ahonnan az érettségi után rögtön az Eötvös Loránd Tudományegyetem fizikus szakára került.

Érdeklődését már a pályája kezdetétől a gravitáció elmélete kötötte le. Egy rövid – kényszerű – kitérő után a Rézszecke- és Magfizikai Kutatóintézet Elméleti Osztályára (illetve annak az egykori KFKI-beli jogelődjeinek egyikére) került, ahol már szabadon foglalkozhatott az általános relativitáselmélettel. Kezdetben a stacionárius gravitációs terekkel (ilyen pl. egy egyenletesen forgó „fekete lyuk” által létrehozott téridő), a csatolt Einstein–Maxwell-egyenletek szerkezetével foglalkozott. Kidolgozta az Einstein-elmélet tanulmányozása céljára igen fontos úgynevezett Killing-szimmetriák spinorelméletét, majd ezt alkalmazva sikerült az Einstein-egyenletek addig nem ismert, új megoldásait előállítania. Ezek az eredmé-

nyei nagyon jelentősek, számos további kutatásnak nyitottak utat (részletesebben C. Hoenselaers írására utalunk).

Egy másik, érdeklődése középpontjában álló téma az elméleti fizika egyik legnagyobb megoldatlan problémája, a gravitáció kvantumelmélete volt. Emiatt elkezdett a Roger Penrose által javasolt, a probléma addigi megközelítéseitől radikálisan különböző tvisztorelmélettel foglalkozni. 1972–73-ban egy évet töltött a londoni Birkbeck College-ban, ahol Penrose csoportjában maga is részt vett a tvisztorelmélet kidolgozásában (erről Paul Tod számol be részletesebben).

Tudományos eredményeinek köszönhetően jelentős nemzetközi ismertségre és elismertségre tett szert, sokfelé hívták külföldre, hosszabb-rövidebb időre. Nagyon sok külföldi egyetemen és kutatóintézetben, nemzetközi konferenciákon tartott előadást eredményeiről.

A magyar tudományos életben is igen aktív szerepet játszott, számos „Nemzetközi Relativitáselméleti Műhelyt” rendezett, létrehozott egy – sajnos, csak néhány évig fennálló – Nemzetközi Elméleti Fizikai Kutatócsoportot a KFKI-ban a Magyar Tudományos Akadémia támogatásával. Számos diplomamunkásnak, doktoranduszának és aspiránsnak volt témavezetője, s tanítványai közül jó néhányból a gravitációelmélet nemzetközileg is elismert kutatója lett.

Meg kell említeni Perjés Zoltán tudomány népszerűsítő tevékenységét is – többek között a *Fizikai Szemle* hasábjain. (*21/2* 48 és *21/3* 1, 1971).

Forgács Péter
MTA KFKI RMKI

PERJÉS ZOLTÁN ÉS AZ EINSTEIN-EGYENLETEK EGZAKT MEGOLDÁSAI

Az egzakt megoldások vizsgálata azon kutatási területek egyike volt, melyekkel Perjés Zoltán kis megszakításokkal, de igen hosszú ideig aktívan foglalkozott. Munkájával a relativitáselmélet sok más kutatóját is inspirálta, és a terület több fontos új fogalmának megalkotása az ő nevéhez fűződik.

Az Einstein-egyenletek megoldása rendkívül nehéz feladat, és a témáról beszélni sem nagyon lehet a matematika olyan ágai, elsősorban a differenciálgeometria, szakkifejezéseinek használata nélkül, amelyek esetleg nem közismertek a fizika más területén járatosak számára. Az alapfeladat röviden megfogalmazható: egy négyváltozós, nemlineáris, csatolt parciális differenciálegyenlet-rendszer megoldását kell valamilyen ismertnek tekintett függvényekkel kifejezni. A megfogalmazás mögött rejlő feladatnak azonban ilyen

¹ Rácz I., *Perjés Zoltán 1943–2004. Fizikai Szemle* 55/2 (2005) 70

² *Lukács Árpád*, RMKI Elméleti Főosztály fordításának felhasználásával

PERJÉS ZOLTÁN, A TVISZTORELMÉLET MAGYAR TUDÓSA

általánosságban egyetlen megoldása sem ismert. A gyakorlatban egyszerűsítő feltételeket kiróva, konkrét speciális esetekre vonatkozó megoldások megtalálására törekszünk. Egy ilyen speciális eset az, amikor stacionárius (időtől nem függő) megoldásokat keresünk (matematikai szaknyelven: feltesszük egy időszerű Killing-vektormező létezését).

Pályája kezdeti szakaszán Zoltán kidolgozott egy formalizmust, melyben a téridő tulajdonságait leíró Einstein- vagy Einstein–Maxwell-egyenleteket egy háromdimenziós sokaság és két komplex skalármező (Ernst-potenciál) segítségével írta fel. Az egyik komplex skalármennyiség a gravitációs potenciál általánosításának tekinthető, míg a másik az elektromágneses teret írja le, és egy, a háromdimenziós tér Ricci-tenzorát tartalmazó egyenletben forrástagként szerepel. Ennek a háromdimenziós térnek a leírására kidolgozott egy ma is az Ő nevéhez fűződő módszer (spinegyütthető- és spinorformalizmust). Ennek segítségével rájött arra, hogy abban az esetben, ha a fenti felbontásban szereplő háromdimenziós tér sík, a megoldások kifejezhetők a Laplace-egyenlet megoldásaival. Ezeket a megoldásokat később újra felfedezték, és így ma *Perjés–Israel–Wilson-megoldások*-ként ismertek.

Ugyanezt a formalizmust alkalmazva *Kóta Józseffel* az időfüggetlen gravitációs terek egy másik osztályára vonatkozó valamennyi megoldást megadta.

Ehhez a problémakörhöz legközelebb a nyolcvanas évek közepén tért vissza, amikor kollégáival a fordított problémát vizsgálta: a szokásos esetben először az Ernst-egyenletet oldjuk meg, majd a kapott megoldásból kapható a háromdimenziós tér metrikája. Az Ernst-potenciált a háromdimenziós tér egy komplex koordinátájaként felhasználva az Ernst-egyenletek egyszerű alakra hozhatók, de a metrika kiszámolása jóval nehezebb lesz. Ennek ellenére ezzel a módszerrel számos fontos tételt sikerült igazolniuk.

1990 táján Zoltánt több, az egzakt megoldásokkal kapcsolatos probléma is érdekelte. Bizonyos sugárzást tartalmazó, az úgynevezett Robinson–Trautman-téridők aszimptotikus tulajdonságait, a stacionárius Einstein–Maxwell-terek multipólmomentumait vizsgálta. E cikk szerzőjével közösen olyan új kutatási irányvonalat indított el, amely az egzakt megoldások egy új osztályának a megkonstruálásához vezetett el.

A vázolt témák és eredmények korántsem teljes listájával azt kívántam bemutatni, hogy Perjés Zoltán relativitáselméleti kutatásainak jelentőségét és eredményeinek hatását a terület kutatói közösségére aligha lehet eltúlozni.

E rövid írás végén szeretném még azt elmondani, hogy Zoltán élénk, az emberi megismerés minden területe iránti érdeklődéssel és életkedvvel teli személyének elvesztése közösségünk minden Őt ismerő tagja számára – így számomra is – nehezen betölthető űrt hagyott maga után.

Cornelius Hoenselaers
Loughborough-i Egyetem, Anglia

A Roger Penrose (lovaggá ütése óta „Sir Roger”) körül kialakult tvisztorelméleti kutatócsoporthoz akkor csatlakoztam, amikor ő 1973-ban intézetünkbe érkezett, mint az alkalmazott matematika Rouse Ball professzora. Vele együtt érkeztek a Birkbeck College-beli munkatársai, így mi, az újonnan csatlakozók jó képet kaphattunk arról, hogy milyen volt a tvisztorelmélet fénykora, még Londonban. A csoport számára a „szentírást” Penrose és *MacCallum* 1973-as cikke (*Physics Reports* 6C(1973) 241–315) jelentette, ami az 1970-es előadásai alapján.

Bár személyesen nem volt jelen, megbeszélésein gyakran szóba került a birkbecki csoport egy tagja, Perjés Zoltán, a tvisztorelmélet magyar kutatója. Az 1972–73-as tanévet töltötte Birkbeckben Leverhulme-ösztöndíjas vendégkutatóként. Ezt az évet arra szánta, hogy alaposan megvizsgálja a tömeggel rendelkező részecskék tvisztorelméleti leírását.

Zoltán a csoportba a görbült terek feletti spinorok avatott ismerőjeként érkezett. Korábban kidolgozott egy módszert, amelyben egy háromdimenziós tér $SU(2)$ -spinorjai segítségével vizsgálhatók a stacionárius téridők. A Penrose-féle tvisztorelméletről és a spinhálózatokról szóló cikkek hatására döntött úgy, hogy kiutazik ezek szerzőjéhez. Birkbeckbe érkezésével nagyjából egy időben jelent meg első tvisztorelméleti műve, melyben az említett Penrose–MacCallum-cikkben foglaltakkal ismertette meg a magyar olvasót.

A fizikában Penrose által bevezetett „tvisztor” mint matematikai fogalom egy négydimenziós komplex vektortér (a T tvisztortér) egy elemét (Z^α) jelenti, amely, itt nem részletezett tulajdonságainak köszönhetően, fizikai jelentéssel is felruházható: megfelelő leírását adja egy zérus tömegű, spinnel rendelkező relativisztikus részecskének.

A tvisztorelmélet számos alapvető eredménye fűződik Penrose nevéhez. Zoltán kutatásai szempontjából közvetlen fontossággal ezek közül kettő bír. Az egyik a tömeg nélküli részecskét leíró tvisztor (gravitációs vagy elektromágneses) síkhullámon való szóródásának tárgyalása. A másik, hogy miképpen alkalmas két vagy több tvisztor (kvadratikus) kombinációja tömeggel és spinnel egyaránt rendelkező részecskék, azok impulzusának és impulzusmomentumának leírására.

Zoltán Birkbeckben született első művében a relativisztikus pontmechanika jól ismert dinamikai mennyiségeinek (tömeg, impulzus és impulzusmomentum) a tvisztorváltozókkal való kifejezését dolgozta ki.

Munkásságának jelentős eredményeket hozó része indult ki abból az ismert nem-egyértelműségből, amely a több-tvisztor – tömeges részecske megfeleltetés sajátossága. A tömeges részecskét reprezentáló (kvadratikus) kifejezés (tvisztor-) változóit bizonyos szabályok szerint felcserélve az új kifejezés ugyanannak a tömeges részecskének felel meg, a „szabályok”

összessége egy úgynevezett belső szimmetriát alkot. E szabályok részletes tanulmányozásával Zoltán arra az eredményre jutott, hogy a háromtvisztor-részecske belső szimmetriacsoportja az elemi részecskék akkori rendszerezésének alapját jelentő $SU(3)$ csoport egy négyparaméteres komplex translációcsoporttal való inhomogén kiterjesztése, az $ISU(3)$ csoport. Birkbeckből való távozása után Zoltán tvisztorelméleti munkáinak középpontjában az elemi részecskéknek ezen a belső szimmetriacsoporton alapuló osztályozása állt. Részletesen kidolgozta az $ISU(3)$ csoport ábrázoláselméletét. Kitért az n -tvisztor részecske esetére is, amikor a szimmetriacsoport az $SU(n)$ inhomogén kiterjesztése.

Munkájának egy fontos „mellékterméke” az a felismerés, hogy, míg a tvisztorokon alapuló osztályozási rendszerekben a kéttvisztor-részecskék pontszerűek és leptonnak felelnek meg, addig a háromtvisztor-részecskék hadronok, és az őket alkotó tvisztorok a kvarkokkal azonosíthatók.

A háromtvisztor-részecskék és a hadronok közötti analógiát erősíti meg egy birkbecki kollégájával, *George Sparling*gal közösen írt későbbi, az úgynevezett tömegfelhasadást vizsgáló cikkének sikere is. Ebben egyesítik a Gell-Mann–Okubo-tömegformulák egy egész sorát.

Zoltán egyik cikkét velem együtt írta. Egymástól függetlenül kezdtük tanulmányozni a nem nulla spinű és tömegű részecskék (sík, valamint impulzusszerű) gravitációs, illetve elektromágneses hullámokon való szóródását. A jelenségre adott leírásunk a helyes eredményt adta a tömeggel rendelkező, zérus és nem zérus spinű részecskékre elektromágneses és gravitációs térben ható erő kifejezésére.

A nyolcvanas évek közepén *Hughston* és *Shaw* a klasszikus húrelméletet – ami nem más, mint az egydimenziós kiterjedt test mozgásának a természetesen adódó Hamilton-függvénnyel való leírása – öntötték a tvisztorelmélet segítségével geometriai formába. Zoltán ennek a geometriai elméletnek a kvantálását végezte el Penrose tvisztorkvantálási eljárását alkalmazva.

A tvisztorelmélet fejlődése Oxfordban és a világ más tájain is haladt tovább, és el is ért egy-két igen látványos eredményt. Azonban az elmélet egyre inkább matematikává vált, és egyre inkább átkerült a matematikusok érdeklődési körébe. Zoltán továbbra is inkább fizikusnak vallotta magát, és így nem volt igazán kedvére való ez a változás. A hetvenes és a nyolcvanas években Ő és budapesti csoportja az oxfordi és a pittsburghi csoportokkal együtt továbbra is nagy erőfeszítéssel dolgoztak a tvisztorrészecske-elmélet továbbfejlesztésén. Ez az erőfeszítés ugyan nem vezetett a szokásos értelemben is teljes elmélet kifejlesztésére, de az alkalmazott ötletek és módszerek jelentősége ezen messze túlmutat. A tvisztorrészecske-elmélet a ma általánosan elfogadott elmélet eredményeinek jelentős részét kevesebb és természetesebb feltevésből kiindulva képes reprodukálni. Nem szükséges a szín bevezetése, az elmélet tisztán

geometriai jellegű, és az unitaritás és a relativisztikus szimmetriák egyesítéséhez is természetes alapot szolgáltat.

Utolsó tvisztorelméleti dolgozatában Zoltán – ismét *George Sparling*gal közösen – arra tesz kísérletet, hogy az Einstein-egyenletek valós, Lorentz-szignatúrájú megoldásai esetére is definiálják a tvisztorokat. (Ez igen nehéz probléma, és régóta foglalkoztatja a tvisztorelmélettel foglalkozó kutatókat.) Cikkükben egy konkrét példát vizsgálva meghatározzák a Schwarzschild-téridő egy absztrakt tvisztorterét. Számomra különösen szép emlék, hogy ezt az eredményt személyesen Zoltántól hallhattam egy budapesti konferencián.

Paul Tod

Oxfordi Egyetem, Anglia

TANÍTVÁNYAI MEGEMLÉKEZÉSE PERJÉS ZOLTÁN RÓL

Zoltán kedvenc problémája az általános relativitáselmélet egzakt megoldásainak keresése volt, de érdeklődése rendkívül széles körű volt. Tanítványaiként ennek hasznélvezői voltunk. Ebben a rövid megemlékezésben a velünk végzett közös munkái közül mutatunk be néhányat.

A stacionárius tengelyszimmetrikus téridők multipól-momentumaival kapcsolatos kutatásokat *Cornelius Hoenselaers* német kutató, Zoltán egyik legjobb barátja javasolta, aki számtalanszor látogatta meg itt Magyarországon is. A momentumok kifejezhetők a téridő geometriáját meghatározó Ernst-potenciál szimmetriatengelyen való sorfejtési együtthatóival. A kapott kifejezéseket azóta is használják, amikor egy újonnan megtalált téridő koordináta-rendszer-független jellemzését akarják megadni a gravitációs multipól-momentumai segítségével.

Zoltán hihetetlen kitartással, precizitással és nagy sebességgel tudott papíron vagy táblán számolni. Ugyanakkor valószínű, hogy nemzetközi viszonylatban is az elsők között volt, aki nagyszámítógépen futtatott algebrai programokat használt egyenletek megoldására. Mesélte, hogy amikor 1984-ben Tokióban töltött kilenc hónapot, a legjobb barátja egy tornateremnyi méretű számítógép volt, és, hogy hazafelé menet a gyorsvasúton olvasta a sornyomtató által kiírt százoldalas futási eredményeket. Ha valami érdekeset talált, a következő megállónál átszállt a visszatérő vonatra, akármilyen késő este is volt, és beírta a módosított programot a gépteremben. A számítógép egyik legnagyobb felhasználója lehetett, mert három hónappal elhalasztották a gép kibővítését, hogy zavartalanul dolgozhasson a hazautazása előtti utolsó hónapokban.

A nagy kihívások érdekelték. Ilyen volt például az gravitáció kvantumelméletének kidolgozása. Ebben az irányban való első lépésnek tekintette az általa

kidolgozott parametrikus sokaság formalizmust. Ennek keretében a téridő térré és idővé történő felbontása nem a szokásos hiperfelületek mentén történik, hanem időszerű görbék mentén.

Zoltán egzakt megoldások keresésére irányuló erőfeszítéseinek egyike a tökéletes folyadékokat tartalmazó téridők megtalálását célozta meg. A „nagy kihívás” itt egy forgó neutroncsillag belsejében a téridő geometriáját leíró egzakt megoldás megtalálása volt. Ebben a témában az első lépés egy olyan általános tetrad formalizmus kidolgozása volt, ami megkönnyítette további egzakt megoldások keresését. Ezt a munkát egy tehetséges fiatal svéd diákkal, *Mattias Marklund*dal egy konferencián való véletlen találkozás indította, ami az Umeai Egyetem relativitáselméleti kutatócsoportjával való tartós együttműködéssé bővült az évek során.

Az Einstein-egyenletek bonyolultsága miatt az egzakt megoldások keresése rengeteg próbálgatással jár, igen gyakran kudarccal is. Olyasmí lehet, mint az aranyásás. Zoltán kedvét sosem vették el a sikertelen próbálkozások, tudta, hogy ott van az arany valahol. A feltevéseknek, amelyekkel megoldást talált, a matematikai jelentése sokszor világosabb volt, mint az, hogy fizikailag minek felelnek meg. Ilyen volt, például, a téridő görbületi tenzorának speciális Petrov-osztályba való tartozása. Noha egy gömbszimmetrikus csillagot leíró téridő Petrov D osztályba tartozik, eldöntetlen kérdés volt, hogy a csillag forgó változata még mindig kielégítheti-e ezt a tulajdonságot. Ennek a bizonytalanságnak a feloldására merült fel a *Hartle* által kidolgozott lassú forgás közelítés használata. Csak ha egy feltevés a lassan forgó csillagra is igaz maradhat, akkor érdemes ilyen tulajdonsággal rendelkező gyorsan forgó megoldást keresni. A legismertebb téridő-megoldás, amiről remélni lehetett, hogy egy izolált forgó csillagot írhat le, a *Wahlquist*-megoldás volt. Azonban a *Hartle*-formalizmus alkalmazásával ki lehetett mutatni, hogy már a lassan forgó változata is szükségképpen egy külső objektum által deformálva van.

Egy további fontos témakör a neutroncsillagokból és/vagy fekete lyukakból álló kompakt kettős rendszerek pályafejlődése gravitációs sugárzás jelenlétében. Ezekbe a kutatásokba Zoltán *Kip Thorne*-nal való konzultációi eredményeképpen kapcsolódott be. Az általános relativitáselmélet szerint a gyorsuló tömegek gravitációs sugárzást bocsátanak ki. Neutroncsillagokból és/vagy fekete lyukakból álló kompakt kettős rendszerek esetén ez a sugárzás jelentős változást okoz a pályaparaméterekben. Zoltánnak ez a munkája egy új kutatási irányt nyitott meg, amely a perturbációs számítás egyre magasabb rendjeiben, a rendszer fizikai paramétereitől függő járulékok kiszámítását tűzi ki célul. Tanítványaival közösen kiszámította a spin-pálya kölcsönhatási járulékokat, melyek a pályafejlődésben és a gravitációs sugárzási veszteségekben jelennek meg.

A perturbációs technikák alkalmazásával, valamint a gravitációs sugárzás vizsgálatával figyelme a fekete

lyuk perturbációk felé fordult. Töltéssel rendelkező fekete lyukak érdekelték, melyekre sikeresen levezetett egy, az elektromágneses és gravitációs potenciálokra vonatkozó csatolt egyenletrendszer abban az esetben, amikor a perturbált téridő stacionárius vagy tengelyszimmetrikus. Ebben a munkában a Killingvektorok létezését és az általa kidolgozott 3 dimenziós formalizmust használta fel.

Hamarosan megszülettek az eredmények a perturbált téridőre vonatkozó szimmetriák feltételezése nélkül is. A perturbált Maxwell-spinorra vonatkozó homogén hullámegyenlet megoldása adja a nyírást meghatározó hullámegyenlet forrástagját. Később sikerült általánosítania az eredményeket kozmológiai állandót is tartalmazó fekete lyukak esetére.

Az eredmények publikálása során kisebb vita alakult ki a bírálóval a mértékrögzítési feltételekkel kapcsolatban. Ez a párbeszéd indította el azt a munkát, amelyben a főirányok mérhetőségét vizsgáltuk, továbbá azt, hogy hogyan adható meg a perturbált téridő egy általános definíciója. Zoli ezen munkái nemzetközi téren is jó fogadtatásra találtak. Kollégáival együttműködésben megvizsgálták Petrov D típusú téridők perturbációit a Kasner-téridő példáján keresztül, valamint a specialitási index szerepét a kozmológiai modellek dinamikájának vizsgálatában.

Zoli konzultációi *J. Ehlers* professzorral a Friedmann-univerzumok perturbációinak vizsgálatára ösztönözték. Diplomamunkásával ki is dolgozták por és sugárzás jelenlétében a lineáris perturbációs probléma egyenleteit sík téridő esetén. Ezt a munkát továbbfejlesztette a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás fluktuációinak vizsgálatával.

Zoltánt jól ismerte és becsülte a nemzetközi relativitáselméleti közösség. Az általa szervezett konferenciákra a szakma legjobbjai is eljöttek Magyarországra. Ilyenkor nekünk, tanítványainak is többször volt alkalmunk családja vendégszeretét élvezni, otthonában olyan neves vendégekkel vacsorázhattunk együtt mint Roger Penrose, *Roy Kerr*.

A munkához való viszonya igen becsületes és őszinte volt. Tisztelettel közeledett mindenkihez, aki komolyan dolgozott, függetlenül attól, hogy világhírű kutatóról vagy még csak egyetemi hallgatóról volt-e szó. A közös munkában nagy tudással, igen jó megfigyelésekkel és gyors gondolkodással vett részt. Tanítványait és társ szerzőit egyúttal barátainak is tekintette. Egyszer elmondta, hogy a társ szerzőkkel közösen írt cikkek számára barátokkal való beszélgetést jelentenek, ezért ezeket jobbnak tartja.

Saját bevallása szerint pályázati munkaterveit úgy írta meg, hogy a majdani beszámoló készítésekor a jövő időt egyszerűen múlt időbe tehesse. Semmi olyat nem ígért meg, amit ne gondolt volna megvalósíthatónak. Nem jól tűrte a dilettantizmust, a történet és a nagyképűséget.

Fodor Gyula, Vasúth Mátyás
Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet
Gergely Árpád László
Szegedi Egyetem

PUBLIC RELATION ÉS A FIZIKATANÍTÁS

– avagy hogyan tegyük vonzóvá a fizika tantárgyat

Papp Katalin, Szegedi Tudományegyetem, Kísérleti Fizikai Tanszék
Nagy Anett, Radnóti Miklós Kísérleti Gimnázium, Szeged

„Az iskola arra való, hogy az ember megtanuljon tanulni, hogy felébredjen tudásvágya, megismerje a jól végzett munka örömét, megízlelje az alkotás izgalmát, megtanulja szeretni amit csinál, és megtalálja azt a munkát, amit szeretni fog.”

Szent-Györgyi Albert

OK! Megtanulom a fizikát, de mit kapok érte? – teszi fel a kérdést egy 14 éves diák. – Gyerekem, bár tudom, hogy szereted a fizikát, mégis inkább válaszd a közgazdász pályát, a mai világban többre mégy vele! – mondja a szülő a pályaválasztás előtt álló fiatalnak. – Miért ne hagyjam, hogy süsse a Nap? – kérdezi a bankkártyáját, mobiltelefonját virtuóz módon használó fiatal.

Sorolhatnánk tovább azokat a naponta elhangzó kijelentéseket, amelyek a természettudományos tantárgyak kedvezőtlen tanulói megítélését, a fiatalok természettudományos pályáktól való elfordulását, a természettudományos tudásszint csökkenését illusztrálják. A kilencvenes években erősödött föl ez a kedvezőtlen tendencia, és az összetett jelenséget befolyásoló tényezők hatását vizsgáló kutatások eredményei ma már a nemzetközi és hazai tantárgy-pedagógiai szakirodalomban nagy számban megtalálhatók (TIMSS, PISA és hazai vizsgálatok, [1–7]).

Írásunkban azokat az általunk kifejlesztett, kipróbált lehetőségeket, konkrét stratégiákat mutatjuk be, amelyek a természettudományos ismeretek társadalmi megítélését, a fiatalok természettudományos attitűdjét reményeink szerint kedvezően befolyásolják. Meggyőződésünk, hogy a hasznosítható természettudományos tudás, a mindenki számára szükséges releváns természettudományos műveltség iskolán belüli terepe mellett *fokozott figyelmet kell fordítani az iskolán kívüli környezetre* is. Fejlesztéseinknél kiindulási elvként használtuk föl az átalakuló természettudományos nevelés főbb ismérveit.

Megváltozott a természettudományos tanítás filozófiája, szemlélete, amely szerint az iskolai természettudományos oktatás célja (az elitképzést leszámítva) nem az, hogy valamennyi tantárgy esetén tudományos alapképzést adjon, hanem az, hogy a hétköznapi életben biztonsággal eligazodó, kompetens személyiségeket képezzen, és ehhez használható ismereteket nyújtson. Az iskolából kikerülő fiatalokkal szemben ma már nem az az elvárás, hogy az iskolában szerzett szakmai és elméleti tudásuk alapján a (lehetőleg az első és egyetlen)

munkahelyükön minél tovább helytálljanak, hanem az, hogy a naponta megújuló feladatok megoldása érdekében képesek legyenek ismereteiket rendszeresen felfrissíteni, magukat az életük során akár többször is, többféle munkakör ellátására átképezni. Az oktatásnak, így a természettudományos oktatásnak is fel kell készítenie a tanulókat arra, hogy egész életükön át képesek legyenek valamennyi új technikai és tudományos kihívással felkészülten szembenézni. *Marx György* szerint „ezt egyetlen más tantárgy sem vállalhatja fel, a természettudománynak tehát kiemelten fontos alaptantárgynak kell lennie. A legfőbb cél az, hogy a saját világában eligazodó, azt összetettségében értő, s egyben kritikusán szemlélő, felelősen gondolkodó és döntő felnőtteket neveljünk.” [8]

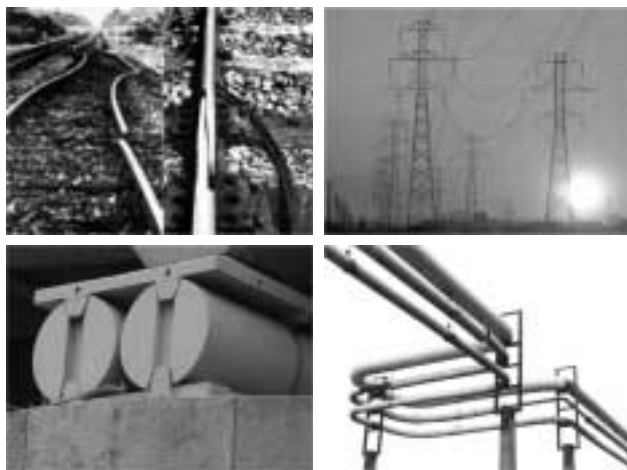
Célkitűzéseink szerint kutatásunkban *tudatosan összekapcsoltuk a tananyagot a mindennapos tárgyakkal, jelenségekkel*. Ez a természettudományos tanításban triviálisnak tűnő módszer segíthet abban, hogy megszűnjön a szakadék az iskolában megszerzett tudás és a tanulók iskolán kívüli mindennapos tapasztalatai között, amelyet a szakirodalomban többen is megfogalmaztak:

- „az ismeretek csak iskola situációban működnek, a tudás a mindennapokban nem használható...” (*Radnóti Katalin* [9])
- „a tudományos ismeretek gyakorlati alkalmazása nem hatékony...” (*B. Németh Mária* [5])
- „az iskolai tananyag elszakad a tanulók számára ismert és közvetlenül megtapasztalható jelenségektől...” (*Korom Erzsébet* [5])

További jellemzők, hogy a stratégiák *kiemelten támaszkodnak a tanulók aktivitására* (egyéni és csoportos egyaránt) *és iskolán kívüli környezetben valósulnak meg*. Fejlesztéseinket, amelyekből az alábbiakban jellegzetes példákat válogatunk, csoportokba sorolhatjuk.

Irányított tanulói megfigyelés

Természeti, technikai környezetünk tele van olyan jelenségekkel, gyakorlati alkalmazásokkal, amelyekre ráirányítva a tanulók figyelmét – kirándulásokon vagy akár múzeumi vagy tárlatlátogatáson – jó alkalom adódik a fizikai ismeretek közvetlen megtapasztalására. Például a hőtan tanításánál, a hőtágulás törvényének megfigyeléséhez jó alkalmat kínálnak a vasúti



1. ábra. Hőtágulás a mindennapi környezetünkben

sínek, a lazán rögzített elektromos vezetékek, a hidak felfüggesztésének, a távfűtés csöveinek speciális formájú elrendezései (1. ábra).

Tárlatlátogatáson a képzőművészeti alkotások megtekintése mellett az igényes kivitelű csillár szépen csiszolt függelékei a fénytörés jelenségének közvetlen megtapasztalását segíthetik (2. ábra).

Mérések terepen

A fizikai mennyiségek mérése, a fizika mérőtudomány jellegének bemutatása nem csak az iskolai előadóteremben lehetséges. Például a sebesség fogalmának kialakításához, méréséhez ad segítséget az alábbiakban részletezett egyszerű „utcai” sebességmérés.

Sebességmérés terepen

A tanulók feladata: az utcai járműforgalom átlagos sebességének meghatározása egy kijelölt útszakaszon. A vizsgálat célja annak megállapítása, hogy a két egymás mellett található iskola előtti egyenes útszakaszon (~200 m) közlekedő autók betartják-e az előírt sebességkorlátozást (3. ábra).

A csoportokba szerveződött diákok biciklikerek, jelző zászlók, stopper segítségével mérik az autók sebességét. Ugyancsak jól használható erre, ahogy a mozgások elemzéséhez általában is, a digitális fényképezőgép. A mérés eredménye: az átlagos sebesség 56 km/h. Közös en levelet fogalmaztak meg a Rendőrfőkapitányság Közlekedésfelügyeleti Osztályának, és kérték a gyerekforgalomra figyelmeztető tábla kihelyezését.

3. ábra. Sebességmérés az iskola előtt



2. ábra. Színképek megfigyelése egy tárlatlátogatáson

A szabadesésre vonatkozó formulák alkalmazására mutathatunk példát egy híd vagy egy fa magasságának lemérésével, az itt nem részletezett, de már Öveges tanár úr könyveiben is megtalálható ejtési, illetve hajítási kísérletekkel.

Próbáld ki, mérd meg otthon!

A tanulók érdeklődését felkeltő, vonzó témájú és pontosan megfogalmazott otthon elvégezhető kísérletek, mérések nemcsak szakmai haszonnal járnak, hanem a tanulók önállóságát, kreativitását, kísérletező készségét is fejlesztik, nem beszélve a „burkolt óraszámnövelő” hatásukról. Az alábbiak példák arra, hogy egy-egy problémát különböző szinten, a differenciált foglalkoztatást megvalósítva dolgozhatnak fel a diákok.

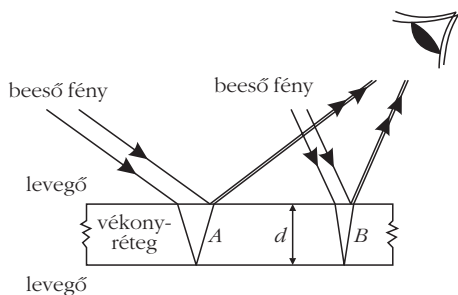
Interferencia vékony rétegen („Körömlakk-szivárvány”)

Egy edénybe öntsünk vizet, és az aljára fektessünk egy fekete kartonlapot. Cseppentsünk egy nagyobb csepp szintelen körömlakkot (körömerősítőt) a vízbe, a víz felszínéhez nagyon közelről. Ez a csepp vékony, kör alakú bevonatot képez majd a víz felszínén, ami néhány perc várakozás után a szélekről kiindulva megszárad. Ekkor óvatosan emeljük ki a kartonlapot ügyelve arra, hogy a vékony körömlakkréteg a papírra ragadjon, és rajta is maradjon. Hagyjuk megszáradni az átázott papírt (pl. újságpapíron). Szébbnél szebb, a szivárvány színeiben pompázó lakkrétegeket kapunk (4. ábra).

A jelenség a fény interferenciájának eredménye. Tekintsünk egy fénytörő vékony réteget. A ráeső fény mind a felső mind az alsó felületéről visszaverődhet. Az 5. ábra a két helyről visszaverődő fehér fény sugármeneteit mutatja. A visszavert fénysugarak mind-

4. ábra. Szivárvány a körömlakkrétegen





5. ábra. Interferencia vékony rétegen

két helyről a megfigyelő szemébe jutnak és interferálnak egymással. Bizonyos hullámhosszokra az erősítés, másokra a gyengítés feltétele teljesül. Példaként foglalkozunk azzal az esettel, amikor a vörös fény teljesen kioltódik. Ekkor a megfigyelő túlnyomóan kékzöld színű hullámok visszaverődését fogja látni azon a helyen. Másrészt, ha a *B* pontban az útkülönbség rövidebb, a megfigyelő túlnyomó részben a vörös fény visszaverődését látja. Így a szivárvány minden színe megjelenhet a vékony réteg különböző részeiről visszaverődve. Ahol azonban a hártya vékonyabb a látható fény hullámhosszána, a rétegről egyáltalán nem verődik vissza fény, láthatatlanná válik. Ennek oka az, hogy az első és hátsó felületekről visszaverődő fény kioltja egymást, mert a nagyobb törésmutatójú közeg határáról történő visszaverődés során a fázis 180° -kal ugrik, míg a kisebb törésmutatójú közeg határáról történő visszaverődés során fázisugrás nem lép fel. A megszáradt körömlakkréteg nem egyforma vastagságú a víz felszínén. A réteg a szélén elvékonyodik, míg a belsejében egyre vastagabb. A körömlakkréteg törésmutatója pedig függ a ráeső fény hullámhosszától. A megszáradt körömlakk törésmutatója 1,42 körüli érték.

Buborék mozgásának vizsgálata

Az egyszerű eszközökkel végzett kísérletek az iskolán kívül is segíthetnek a fizika népszerűsítésében. Ezt már sokan és régen felismerték. Erre jó példa lehet a következő kísérlet, amely egy 1893-ban kiadott könyvből származik [10]. A kor hangulatát és beszédstílusát felelevenítve eredeti szövegével is bemutatható és magyarázható a kísérlet.

„Vidám lakoma végén, mikor a pezsgős palackok szaporán ürülnek és szítják a jókedvet, ajánlkozzál, hogy fölidézed a társaság megrettentésére magát a Sátánt, mégpedig anélkül, hogy a középkorban divott hókuszpókuszhoz folyamodnál. A csemegés tálból keress ki egy nagyobb szem jó száraz malagaszőlőt, tölts egy poharat tele pezsgővel és ejtsd bele a malagaszőlő szemet. Csakhamar megindul a produkció. A pezsgőborból kifejlődő szénsav apró buborékokban lepi el a szőlőszemet s olyan hatással van rá, mintha valamely tárgyat léggömbök emelnének föl. Néhány másodperc alatt a szénsavbuborékok fölemelik a szőlőszemet a pohár felszínére. A szőlőszemről azonban, mihelyt a pohár felszínére ér, elillannak a szénsavbuborékok, a szőlőszem visszanyeri súlyát és lemerül a pohár fenekére. A pohár mélyén a szénsavbuborékok

aztán újra megkönnyítik a szőlőszemet, az újra felemelkedik, aztán megint lemerül s ez a hintázás eltart vagy tíz percig, amíg tudniillik a pohárban levő pezsgőből a szénsav mind el nem szállt.” (6. ábra)

Ez a látszólag egyszerű jelenség számos kérdést vet fel. Mitől „pezseg” a pezsgő? Mitől alakulnak ki a buborékok a pezsgőben, és miért alkotnak hosszú láncot miközben a felszínre jönnek? Milyen törvények írják le a buborékok mozgását?

Az első kérdésre az a válasz, hogy a pezsgő oldott szén-dioxidot tartalmaz, méghozzá magasabb koncentrációban, mint a folyadék feletti levegő. A gyártás során a $2-5 \cdot 10^5$ Pa nyomáson megtöltik szén-dioxiddal az üveget, majd beletöltik a folyadékot (pezsgő, ásványvíz, üdítő). A gázok oldódási képessége növekszik a felette levő gáz nyomásának növelésével. A zárt, feltöltött üvegben a folyadék felszíne felett dinamikus egyensúlyi állapot alakul ki a folyadékban oldott és a gázállapotú CO_2 között. Minél hidegebb az üdítő vagy a sör, annál nagyobb az oldott állapotú CO_2 mennyisége. Amint felnyitjuk az üdítős üveget, az egyensúly felborul és az oldott állapotú gáz fokozatosan elhagyja a folyadékot buborékok formájában.

A második kérdés megválaszolásához figyeljük meg a buborékképződés mechanizmusát. A folyadék belsejében a gáz apró buborékokban gyűlik össze, amelyek elérve egy bizonyos kritikus méretet feljönnek a felszínre. A buborékok azonban nem a folyadék belsejében keletkeznek, hanem a pohár belső felületén bizonyos pontokban. A felszín mikroszkopikusan kicsiny sérüléseiben megfelelőek a feltételek a buborékképződéshez. A mazsola, földimogyoró vagy más tárgyak – szabálytalan felszínük miatt – szintén jó lehetőséget biztosítanak a buborékok kialakulására. A keletkező buborékok akkor szakadnak le a pohár felszínéről, amikor már elérték egy kritikus méretet.

6. ábra. A pezsgőben fel-le mozgó szőlőszem egy léchez köthető, melynek másik végére kis tárgyak helyezhetők





7. ábra. Buborékok pohár pezsgőben



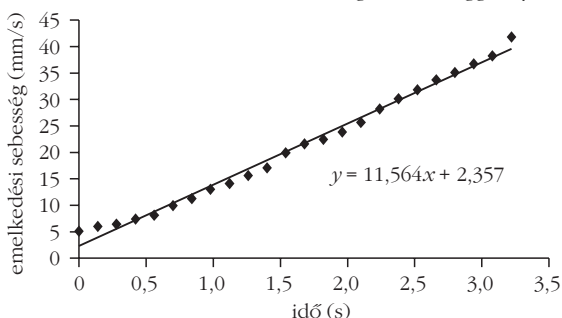
8. ábra. Buborék mozgásának vizsgálata nyomkép alapján

Ekkor a rájuk ható felhajtóerő meghaladja a buborék és az üveg között fellépő adhéziós kölcsönhatás nagyságát. Ez nagyon rövid idő alatt bekövetkezik, mivel a felhajtóerő a térfogattal arányosan nő, míg az adhéziós kölcsönhatás a buborék felületével arányos. Ez azt jelenti, hogy az adhéziós erő a buborék sugárának növekedésével lassabban nő, mint a felhajtóerő. Miután a buborék elhagyja keletkezési helyét, ott egy újabb keletkezik, amelyik szintén elérve a kritikus tömeget követi az előző buborékot egészen a felszínig (7. ábra).

A problémafelvetés jól illusztrálja, hogy egy hétköznapi jelenség különböző szinten tárgyalható. A kvalitatív leírás mellett digitális fényképezési eljárással igényes mérések végezhetők. A buborékok gyors mozgása miatt a nagyobb zárídejű felvételeken a buborék éles körvonala helyett egy kis csík látható, melynek hossza arányos a buborék pillanatnyi sebességével (8. ábra). Ezek a felvételek ezért alkalmasak arra, hogy másik módszerrel is meghatározzuk a buborékok gyorsulását. Ha a zárídejű 1/15 s, akkor ez azt jelenti, hogy a buborék 1/15 s alatt az adott csíknak megfelelő, azzal azonos hosszúságú utat tette meg. Így a vonalak hosszának ismeretében, a buborék sebessége számolható.

Az iskolán kívüli környezetben, otthon elvégzett mérésekből itt csak egy kiragadott részletet, a buborék mozgásának, felfelé emelkedésének sebességét jellemző grafikont mutatjuk be (9. ábra). (A gyorsulás értéke $11,564 \text{ mm/s}^2$.)

9. ábra. A buborék emelkedési sebessége az idő függvényében



Konstruációs feladatok

A konstrukciós feladatok lényege, hogy az adott feladatot a tanulók általában önállóan szerveződő, a feladat jellegéből adódó létszámú csoportokban oldják meg. Az elkészített eszközt, produktumot működés közben, közönség előtt be is mutatják, gyakran verseny keretében, ahol az értékelési szempontok között a kivitel, az esztétikum is szerepet játszik.

Hogyan készítenél galvánelemet gyümölcsből? Rakjad sorrendbe a gyümölcsöket az általuk létrehozott elektromotoros erő (feszültség) nagysága alapján! (10. ábra)

Készíts vízajtású autót! Törekedj arra, hogy minél kevesebb „üzemanyaggal” minél nagyobb utat tegyen meg! (11. ábra)

Készíts gőzhajót, amely a hajótesten képződő vízgőz segítségével minél messzebbre képes eljutni! (12. ábra)

A konstrukciós feladatok különleges szakmai és pedagógiai lehetőséget hordoznak. A merev tanítási óra keretein kívüli, projektszerű tanulói aktivitás, az önálló információgyűjtés (könyvtár-, internethasználat), a csapatmunka, a prezentáció olyan képességek és készségek fejlesztéséhez járul hozzá, amelyek a hagyományos oktatási módszerekkel nem valósulhatnak meg.

Az iskolán kívüli kísérletezés, a konstrukciós feladatok hasznosságáról, sikerességéről, képességfejlesztő hatásáról sok tapasztalatot gyűjthettünk hat év alatt a Szegedi Tudományegyetem Kísérleti Fizikai Tanszéke és az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Csongrád Megyei Csoportja által szervezett diákversenyeken. A háromfordulós versenyre általános és középiskolás diákok

10. ábra. Gyümölcs-telep



iskolájuktól függetlenül nevezhetnek be. A verseny eltér a „hagyományos” tanulmányi versenyektől, mert a kitűzött feladatok megoldása nem matematikai számolást, hanem inkább kísérletezést, jelenség értelmezést igényel. A versenynek a *Játsszunk Fizikát!* nevet adtuk, melyhez minden évben választunk egy híres tudóst, hogy a fizika történetét is népszerűsítsük, és saját kutatómunkára ösztönözzük a diákokat. A verseny célja a diákokban rejlő, a kísérletezés iránti ösztönös vágy felébresztése és ébren tartása, így a kitűzött kísérletek könnyen elvégezhetőek, a tapasztalt jelenségek, pedig többé-kevésbé könnyen megmagyarázhatóak. Nem határozzuk meg szigorúan a szükséges eszközöket és a kísérletek körülményeit, így a diákok tudásuknak megfelelően különböző szinteken, különböző pontossággal végezhetik el a feladatokat [11].



11. ábra. Vízajtású autók



12. ábra. Gőzhajók a szökőkútban

Színelőadások (performance)

A kötetlen, a tanítási órától különböző, színpadi környezetben játszódó tudományos, tudománytörténeti témájú bemutatók a külföldi, de újabban a hazai természettudományos tanítás, tudománynépszerűsítés egyre jobban elterjedő módszere. A színelőadás szereplői általában diákok, de lehetnek tanárok is, a szerzők is változatosak, a „profik” mellett tanár- és diákszerzőkkel is találkozhatunk. Tipikus példája a szórakoztató ismeretterjesztésnek, az előadások gyakran kilépnek az iskolai környezetből, így hatásuk a város, a régió kulturális életében is fontos lehet. A leghasznosabb mégis a színdarabot író, vagy abban

szereplő diákoknak, akik játékos formában foglalkoznak természettudománnyal, nagy tudósok élettörténetével. Az alábbi képek (13. ábra) bolgár diákok *Aliz kvantumországban*, angol tanárok *Az ételek fizikája* és az országjáró soproni diákok (14. ábra) Douglas Adams: *Galaxis útikalauz stoposoknak, avagy az élet, a világmindenség meg minden* előadásaiba nyújtanak bepillantást, de a „műfaj” sikeres művelőivel találkozhatunk Debrecenben és Budapesten is.

Értékörzés, hagyományápolás

A természettudomány, így a fizika történetében találkozhatunk olyan felfedezésekkel, amelyek híres tudósok nagy horderejű elveket bizonyító, igazoló kísérle-

13. ábra. Színelőadások külföldön





14. ábra. Színelőadás Szegeden

teiként váltak ismertté (pl.: *Galilei* ejtési kísérletei, *Torricelli* kísérlete a légnyomás mérésére, *Magdeburgi féltékék* a légnyomásra és a kölcsönhatás törvényére stb.). Ezek utánépítése és megisméltése laikus érdeklődőket is vonzó esemény, és jó alkalom a tudomány népszerűsítésére. A Föld tengely körüli forgását igazoló, először 1851-ban a párizsi Pantheonban elvégzett Foucault-féle inga kísérletet Magyarországon is több helyen, így a szegedi Dómban – 2006. szeptemberétől a szegedi Szent István téri víztoronyban (15. ábra) is – látványos bemutató keretében reprodukálták.

A projektben részt vevő tanulók az inga elkészítésétől (irodalmazás, tervezés, kivitelezés) a bemutatók anyagának összeállításáig és megtartásáig minden fázisban aktívan közreműködtek (16. ábra). A munka során a tanulók a szakmai haszon mellett többek kö-

zött a forrásanyag-gyűjtés, a kommunikáció, a prezentáció területén fejlesztették képességeiket, és a sikeres bemutatók során életre szóló, a tudományhoz kapcsolódó élményt szereztek.

Nemzetközi aktivitások

A világháló segítségével ma már számos lehetőség adódik a diákok bevonásával különböző földrajzi helyeken egy jelenség megfigyelésére (pl. napfogyatkozás, Vénusz-átvonulás), vagy egy univerzális mennyiség mérésére (földátmérő mérése, napállandó mérése) egy adott időben. A legfrissebb ilyen jellegű, a diákokat világszerte aktivizáló megmozdulás *Einstein* halálának 50. évfordulója alkalmából, a *2005 a Fizika Nemzetközi Éve* rendezvény keretében meghirdetett

15. ábra. A Foucault-inga patinás helyszínei



16. ábra. Diákaktivitás az inga előkészítésében



„fénystaféta” volt. Nehéz megbecsülni azoknak a tanulóknak a számát, akik a Princetontól 2005. április 18-án induló „fénytovábbításban” részt vettek. A professzionális fényforrások (lézer, katonai reflektorok, autóizzók stb.) mellett az akció sikeréhez szükség volt a diákok zseblámpáira is, akik a felejthetetlen esemény részeseiként iskolán kívül élték át az „einstein-i csodákat”. A 17. ábra képei a szegedi eseményeket illusztrálják (www.fizikaeve.szeged.hu).



17. ábra. A nevezetes fénystaféta

Ahhoz, hogy a fizikaoktatás, a természettudományos nevelés eredményesebb legyen, tudatos „marketing”-tevékenységre van szükség. A „terméket”, a használható természettudományos tudást „el kell adni”, értékeit bemutatva népszerűsíteni kell nemcsak a diákok körében, iskolán belül a tanárkollégák között, hanem a szülők, az iskolán kívüli szereplők körében, a szűkebb és tágabb nem szakmai társadalmi környezetben is. Az előzőekben bemutatott tanulói aktivitások erre alkalmasak.

A szerzők saját készítésű felvételeik mellett felhasználták Csizsár Imre tanár úr és diákjai, Zátonyi Sándor és Hártlein Károly fotóit. Köszönet érte!

Irodalom

1. <http://www.timss.bc.edu>
2. Vári P., Krolopp J., Egy nemzetközi felmérés főbb eredményei. *Új Pedagógiai Szemle* 1997. április

3. Vári P., Gyorsjelentés a PISA 2003 összehasonlító tanulói teljesítmésmérés nemzetközi eredményeiről. *Új Pedagógiai Szemle* 2005. január
4. B.E. Woolnough, Why students choose physics, or reject it? *Physics Education* 29(1994) 368
5. Csapó B., Az iskolai tudás felszíni rétegei: mit tükröznek az osztályzatok? In: Csapó B. (szerk.) *Az iskolai tudás*. Osiris Kiadó, Budapest (1998) 39–81
6. Józsa K., Mi alakítja az énértékelésünket fizikából? *Iskolakultúra* 9/10(1999) 72
7. Papp K., Ami a számszerű eredmények mögött van... *Fizikai Szemle* 51/1(2001) 26
8. Papp K., Farkas Zs., Virág K., Tóth K., Új időszámítás a természettudományos nevelésben. *Fizikai Szemle* 53/1(2003) 20
9. Radnóti K., A fizika tantárgy helyzete és fejlesztési feladatai egy vizsgálat tükrében. *Fizikai Szemle* 53/5(2003) 170
10. A. Good, *Tom Tit második száz legújabb kísérlete*. Atheneum, Budapest (1893)
11. <http://titan.physx.u-szeged.hu/opt/physics/expphys/hirek.htm/>

JUBILEUMI KÖZÉPISKOLAI FIZIKATANÁRI ANKÉT ÉS ESZKÖZBEMUTATÓ

2007. március 14. és 18. között Szegeden (SZTE ÁOK Oktatási épület, Dóm tér 13.) kerül sor a jubileumi, 50. Középszintű Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató megrendezésére.

Az ankét témája az *Elektromágneses hullámok*.

A rendezvényről további információk érhetőek el a szakcsoport honlapján: <http://www.kfki.hu/elftkisk>
Minden érdeklődőt szeretettel várunk!

Mester András

ELFT Középszintű Oktatási Szakcsoport



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



A 2006. ÉVI EÖTVÖS-VERSENY ÜNNEPÉLYES EREDMÉNYHIRDETÉSE ÉS DÍJKIOSZTÓJA

November 24-én került sor a 2006. évi Eötvös-verseny ünnepélyes eredményhirdetésére és díjkiosztására. Az esemény azonban nem csak ebből a két program-pontból állt. Természetesen megtudhattuk a feladatok helyes megoldását is, és az eredményhirdetés alkalmat adott arra, hogy a korábbi évek versenyzői találkozhassanak egymással és a mostani versenyzőkkel, valamint visszaemlékezzenek a korábbi versenyek feladataira, helyezetteire.

Az eredményhirdetésre egybegyűlteket *Radnai Gyula*, a versenybizottság elnöke köszöntötte, aki az ünnepség házigazdája is volt.

Immár több éves hagyomány, hogy az eredményhirdetésen felidézzük az éppen 50, valamint 25 évvel ezelőtti feladatokat, valamint az akkori versenyen jó helyezést elérték névsorát. Az 1956. október 20-án megtartott versenyen 4 kérdés szerepelt. Ezek közül csupán az elsőt ismertetem: *30 fokos lejtő tetejéről kocsik indul el. Az indulás pillanatában a kocsiról 50 m/s sebességgel puskagolyót lönek ki. Milyen irányítású legyen a puskacső, hogy a golyó eltalálja a kocsit? (Közegellenállás, súrlódás nem veendő figyelembe.)*

A versenyt akkor *Csiszár Imre* nyerte, II. díjat kapott *Rázga Tamás* és *Zsombok Zoltán*, III. díjas lett *Gesztai Tamás*. A szervezőbizottság érdeme, hogy az urak (az azóta elhunyt *Zsombok Zoltán* kivételével) jelen voltak a díjkiosztón. Számukra a versenybizottság egy kis meglepetéssel is szolgált. 50 éve, december 29-én némileg zavaros körülmények között került sor a díjkiosztásra. Olyannyira, hogy az egyik helyezett csak most értesült róla, hogy annak idején volt hivatalos eredményhirdetés. Az akkor elmaradt elismerést pótlandó a versenybizottság elkészítette a díszokleveleket, melyeket *Patkós András*, a versenyt szervező Eötvös Loránd Fizikai Társulat elnöke nyújtott át. Érezhető derültség volt a teremben amikor *Csiszár Imre* akadémiakust mint a „Petőfi Sándor Gimnázium érettségizett tanulója” szólította. *Gesztai Tamás* visszaemlékezésében megemlítette az első feladat megoldásával kapcsolatos élményét is. A verse-

Radnai Gyula üdvözli a megjelenteket



nyen szépen kiszámolta a golyó röppályáját, majd a verseny után otthon jutott eszébe, hogy egy alkalmasan választott koordináta-rendszerben a feladat csaknem triviálissá válik. (Melyik ez a koordináta-rendszer? Lehet esetleg több is?)

Az 50 évvel ezelőttiek után a 25 évvel ezelőtti verseny helyezettei következtek. Ők már csak kisebb létszámmal képviseltették magukat. Ennek egyik oka, hogy ezek a versenyzők nem Budapesten, esetleg nem Magyarországon élnek, vagy legalábbis a díjkiosztó idején külföldön voltak. Külön érdekesség, hogy az 50 évvel ezelőtti II. díjas *Rázga Tamás*, valamint a 25 évvel ezelőtti III. díjas *Glück Ferenc* tanára egyaránt *Holics László* volt, aki szintén részt vett az ünnepségen.

Az idei versenyzők ekkorra már nagyon izgatottan várták, hogy megtudják milyen eredményt értek el. Az eredményhirdetésre azonban még várniuk kellett egy kicsit, mivel ekkor következett az idei feladatok megoldásának ismertetése. A feladatok szövege megtalálható az Eötvös Társulat honlapján (<http://www.kfki.hu/education/verseny/eotvosverseny/06feladatok.html>), a megoldásokat a KöMaL 2007. márciusi számában közli, így ezeket részletesen nem ismertetem.

Az első feladatban szükség volt folyadékok és gázok hővezető-képességének ismeretére. Ezek az adatok azonban némely régebbi táblázatban hibásan szerepelnek, amire a feladat szövege fel is hívta a versenyzők figyelmét.

A második feladat egy mechanikai probléma volt. Érdekességét az adta, hogy nem véges számú test mozgását, illetve a közöttük fellépő erőket kellett vizsgálni, hanem egy nagyobb tömegű test és egy folytonos masszának tekinthető porfelhő szerepelt a példában. A három feladat közül ez bizonyult a legkönnyebbnek. Amint azt *Radnai Gyula* meg is említette, sok versenyző térhetett haza azzal az örömmel, hogy sikerült egy Eötvös-példát megoldania! Jómagam is nagyon örültem, mikor kiderült, hogy ennyi év után ismét sikerült egy példára helyes megoldást adnom.

A harmadik feladat egy gravitációs és elektromágneses térben lévő tekerics mozgásának vizsgálatáról szólt. A megoldáshoz elengedhetetlen volt az egyenletek pontos felírása, a szükséges és megengedett egyszerűsítések megtétele, valamint a precíz levezetés véghezvitele.

A megoldások ismertetése után végre elérkezett az a program-pont, amelyiket a versenyzők a legizgatottabban vártak, vagyis maga az eredményhirdetés. Kilenccen kaptak dicséretet, négyen III. díjat, *Koncz József*, *Kónya Gábor*, *Meszéna Balázs* és *Széchenyi Gábor* II. díjat nyert, *Halász Gábor* fizikus hallgató, az ELTE Radnóti Miklós Gyakorló Gimnáziumának érettségizett tanulója, *Honyek Gyula* tanítványa vehette át az I. díjat. A jó eredményt elért versenyzők könyvutal-



Csizsár Imre

Zsombok Zoltán

Rázga Tamás

Az 50 évvel ezelőtti helyezettek akkor...



...és most. (Csizsár Imre, Geszti Tamás, Rázga Tamás).

ványt, pénzjutalmat kaptak az Eötvös Társulat, az Indotek Befektetési Zrt., valamint *Gutai László* professzor (USA) jóvoltából. A díjakat Patkós András adta át.

A versenyen dicséretet kapott, valamint helyezést elért hallgatók tanárai a Typotex Kiadó, a Nemzeti Tankönyvkiadó, a Vince Kiadó, valamint az Akkord Kiadó által felajánlott könyvekből választhattak, illetve választhattak volna, de sajnos nem mindegyik tanár volt jelen. Pedig volt közöttük olyan is, aki, ha az összes növendéke után járó könyvet átveszi, akár új könyvespolc vásárlásán is gondolkodhatott volna.

Patkós András és az I. helyezett Halász Gábor



A versenyen helyezést elért tanulók egy része ma már egyetemi hallgató. Másik részük azonban még a pályaválasztás előtt álló középiskolás. Hozzájuk szólt a korábbi évek helyezetteinek üzenete. A versenybizottság a díjkiosztó előtt arra kérte az elmúlt 20 év díjazottjait, hogy foglalják össze a gondolataikat azzal kapcsolatban, hogy *Érdemes-e ma fizikusnak, matematikusnak, mérnöknek, tanárnak készülni az egyetemen?* A megkérdezettek többsége nem volt jelen, de véleményüket írásban eljuttatták. Ezeket Radnai Gyula kivétítette, illetve felolvasta. A kérdésre mintegy 10–12 válasz érkezett, a legifjabb válaszoló 21, a legidősebb 36 éves volt. A válaszadók többsége a fenti szakmák egyikét választotta hivatásának, és (egyelőre legalábbis) senki sem bánta meg döntését, nem próbálták meg lebeszélni a tanulókat ezekről a pályákról. Többen is kiemelték, hogy matematikusi-fizikusi gondolkodásmóddal az ember sokféle területen érvényesülhet. *Csombok Zoltán* szerint „semmi sem fogja garantálni, hogy egész életpályánkon a

végzettségünkkel megegyező munkát fogunk végezni”. (Ezt a saját példammal is alátámaszthatom, hiszen informatikusi diplomával és Ph.D.-vel a zsebemben néhány év mérnöki munka után nemsokára pénzügyi matematikai területen fogok dolgozni.)

Az írásban eljuttatott válaszok közül kiemelném *Várkonyi Péter* 27 éves mérnök-matematikus véleményét, aki a következőt írta:

„Építészmérnöknek tanultam. Írtam pótzh-t maketezésből, rajzoltam tussal reggeltől reggelig, gyártottam diplomatervet 10 négyzetméternyi papírlepedőre, egyszóval elvégeztem, és... most éppen Amerikában vagyok, egy alkalmazott matematikai tanszéken. Néhány évig eltartott, míg rájöttem, hogy nem rossz matekkel foglalkozni, ha az ember ahhoz ért.”

A formális programok után nyílt lehetőség a versenyzőkről csoportkép készítésére, valamint kötetlen beszélgetésre. A jó hangulathoz üdítőt és szendvicseket a Ramasoft Zrt. biztosított. (Mint utóbb kiderült, a cégnek nincs köze a szendvicsekhez felhasznált Rama margarinhoz, csak névrokonságban állnak.) Hiába volt sok szendvics, mégis hamar elfogytak. Köszönhetően az eseményen jelen levő nagyszámú érdeklődőnek, valamint a szendvicsek „magas színvonalának”.

E sorok írója ezúton is szeretné köszönetét kifejezni a fent felsorolt támogatóknak, az Eötvös Loránd Fizikai Társulatnak és a verseny szervezőbizottságának a régi ismerősök körében eltöltött kellemes délutánért.

Geffertb András

egykori (1991, 1992, 1993) díjazott versenyző
BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék

Biztos vagyok abban, hogy olvasóink közül sokan tapasztalták a hétköznapi életben és a munkabelyeken is a túlzottan elburjánzó bürokráciát, amely sokszor nehezíti életünket, sok felesleges energiát von el a valódi alkotó tevékenység elől. E jelenség nemcsak magyarországi sajátosság, egész Európára jellemző. Alapja a bizalom hiánya. Vezetőink úgy gondolják, hogy ha többet dokumentálunk, akkor kisebb lesz a csalás lehetősége. Sajnos ez nem a dokumentálás mennyiségétől függ, hanem a társadalom értékrendjétől és attól, hogy milyen valódi következményei vannak a nem jogszerű cselekedeteknek. Ennek a hibás, bürokratikus irányvonalnak az egyik legjellemzőbb

megnyilvánulása a pályázati rendszer túlzott elterjedése. Ez az elburjánzó, lassan mindenre kiterjedő rendszer nemcsak sokakat sújt, de jelenlegi mértékben való alkalmazása gazdaságilag is káros egész Európának és ezen belül Magyarországnak is. Ezért határozottunk úgy, hogy Kamarás Katalin cikkét – mely nem illeszkedik teljesen a Fizikai Szemle profiljába – mégis közöljük. E cikk egy kicsit gunyoros hangnemben rávilágít a kialakult rendszer visszasságaira Európa és Amerika viszonyát alapul véve. Úgy gondoljuk, hogy olvasása nemcsak szórakoztató, de igen tanulságos is.

Faigel Gyula

ÓFALU ÉS ÚJFALU

Az alábbi történet teljes egészében a képzelet szülötte, ha az ábrázolt jelenségek mégis emlékeztetnének egyes pályázati stratégiákra, „ezek a hasonlóságok nem szándékosak, nem is véletlenek, hanem elkerülhetetlenek”.¹

Egyszer volt, hol nem volt, volt egyszer két szomszéd falu: nevezzük őket Ófalunak és Újfalunak. Mindkét faluban dolgos emberek laktak, megfoglák a munka végét, ha kellett, de munka után szerettek bizony lazítani is. Volt ezért mindkét falunak egy-egy zenekara. Húzták a kocsmában annak a nótáját, aki fizetett nekik, főleg a vásárok után a lókupecekét. Egyszer aztán Újfaluban valakinek eszébe jutott valami. Miért csak a lókupeceknek húzzanak ezek, meg miért csak a vásáron? Lehetne nekik gyűjteni egy kis pénzt, adna az is, aki nem jár annyit a vásárba, osszák be, aztán húzzák egész évben. El is ballagtak a polgármesterhez küldöttségbe, a polgármester a falugyűlés elé vitte a kérdést, és megbeszélétk. Meghívták a Gazsi prímást a gyűlés elé, és azt mondták neki:

„Hallod-e, te Gazsi! Mi most elindulunk kalapozni a zenekarodnak. Azt akarjuk, hogy abból a pénzből, ami összejön, a legjobb zenét húzd itt a környéken. A pénzt belátásod szerint költöd, de több nincs. Egy év múlva megnézzük, milyen nótát húz a zenekar, aztán megint gyűjtünk, akinek tetszik, ad, akinek nem, az nem. Hát ehhez tartsd magad.”

Gazsi prímás megértette. A zenekar legjobb hegedűseinek állandó fizetést adott, a többi felvette próbaidőre, rendszeresen karbantartották a hangszereket, sokat próbáltak, néha lakodalmakban muzsikáltak, abból lett egy kis pluszpénzüik, ezt részben kiosztották, részben visszaforgatták. Lassan kezdett a hírük a

falu határán kívül is terjedni, Ófaluból is egyre többen jöttek, először csak hallgatni, aztán már zenélni is.

De ezt már nem tűrhette Ófalu! Nosza, összehívták ott is gyorsan a falugyűlést. „Tisztelt Megjelentek!” kezdte a jegyző. „Fontos dolgot kell ma megbeszelnünk. A falu zenekaráról van szó. Nem tűrhetjük, hogy holmi jöttmentek lekörözzenek bennünket. Határozatot kell hoznunk, hogy a mienk lesz a megye legjobb zenekara!”

„Úgy van!” helyeselt a kocsmáros, aki olyan népszerű volt a faluban, hogy örökös tagja volt a képviselőtestületnek. „Menjünk, kalapozzunk össze egy kis pénzt, aztán hívjuk ide a Józsi prímást, hogy csináljon zenekart!”

„Na nem úgy van az!” vágott közbe a polgármester, akinek egyszer a feleségét elszerette egy vándorcitálás és azóta mindenkiel bizalmatlan volt, de a zenészekkel főleg. „A zenészek habókos népség, nem szabad pénzt adnunk a kezükbe. Meg aztán honnan tudjuk, hogy tényleg tudnak muzsikálni azok, akiket a Józsi kiválaszt?”

„De hiszen a Józsi itt húzza a kocsmában már húsz éve, minden purdé hozzá jár, hogy hegedülni tanuljon, ki tudná azt itt nála jobban megmondani?”

„Lárifári, nem kell mindenféle improvizáció, rendnek kell lenni. Először is összeszedjük a pénzt. Utána pedig szakértő testületet állítunk fel az elbírálásra.”

Úgy is lett. Ófalu dolgos polgárai is szívesen áldoztak a zenére, dobtak a kalapba rendszeresen, mikor jöttek és elmondták nekik, hogy ez a pénz a falu zenekarának lesz. Az összegyűlt pénzt a polgármester először is betette a páncélszekrénybe, hogy jó helyen legyen. Aztán hívatta a jegyzőt.

„A mi derék polgáraink ránk bízták a pénzüket, hogy a mienk legyen a legjobb zenekar a megyében. Vigyáznunk kell, nehogy véletlenül valami rosszra költse valaki. Mit tehetünk, jegyző úr?”

¹ Heinrich Böll, *Katbarina Blum elveszett tisztessége*. Ford. Bor Ambrus, 1976.

„Hát, mindenekelőtt kell egy független menedzser, aki szervezi ezt a fontos folyamatot, nehogy azt mondják, hogy mi részrehajlóak vagyunk. Ott a pénz a páncélszekrényben, az első fontos kiadás ennek a menedzsernek a fizetése.”

Jött a menedzser, kapott fizetést, titkárnőt, szolgálati autót, mobiltelefont. Egy hónap múlva le is tette az asztalra az intézkedési tervet:

„Először is, kiválasztjuk a szakértőket. Ezek nem lehetnek zenészek, mert akkor részrehajlással lehetne őket vádolni. Legjobb lesz, ha olyanokra bízunk, akik sose láttak kottát, de érdeklí őket a dolog. Azzal fogunk szakértőt toborozni, hogy aki sok zenészt hallgat meg, annak javul a zenei érzéke. Rögtön írok is szép jelentkezési nyomtatványt, tíz oldalast, hatvan példányban kitöltendő!”

A nyomda és a papírgyár képviselője lelkesen támogatta az ötletet. A szakértőjelöltek szorgosan töltögették a kérdőíveket, a bíráló bizottság ülésezett, tanácskozott három hónapig, végül meghozta a döntést. A szakértők nyilvános meghallgatást írtak ki, de előbb még a képviselő-testület összeült, hogy eldöntésék a szempontokat.

„Nem lehetnek olyan szűklátókörűek, hogy csak azt veszítik be a zenekarba, aki zenélni tud” intették a szakértőket. „Kell az alvégről, kell a felvégről, sőt a jobb- és balvégről is, és vigyázni kell, meglegyen az egyensúly a soványak és a kövérek között. Világos?”

„Hát persze” bólogattak a szakértők, és nekifogtak felelősségteljes munkájuknak. Józsi, a prímás ekkorra már kissé türelmetlenkedett, és a polgárok is kezdték kérdezgetni, mire is megy az ő pénzük, ha még mindig sehol sincs a zenekar. Nosza, ment a jegyző a menedzserhez.

„Semmi probléma, jegyző uram” mondta a menedzser „felveszünk egy PR-szakértőt, az majd mindent megmagyaráz”. Lett PR-szakértő, kapott fizetést, titkárnőt, szolgálati autót, mobiltelefont. Két hónap múlva Ófalu határában mindkét irányban hatalmas tábla jelent meg, ezzel a felirattal: „Itt alakul a megye legjobb zenekara!” Most már, ha a polgárok kérdeztek valamit, csak ezekre a táblákra kellett böknöni. Józsinak pedig azt mondták, nem illik megsértődni, aki fizet, annak a nótáját kell húzni.

Szegény Józsi, húzta volna ő, ha lett volna kivel húzni! De már az első próbán kiderült, hogy ezzel a zenekarral bizony nehéz lesz olyat produkálni, amilyenek ő képzeletében a megye legjobb zenekaráé. Panaszkodott is a feleségének, hogy nem ért ő már semmit ebből az új módiból. „Buta vagy te, apjuk, csak a hegedűhöz értesz, de te már nem változol meg” mondta a felesége. „De itt van a fiunk, a Marci gyerek, te sírtál mindig, hogy milyen botfűlű, most aztán felvirradt a napja, mert az írása szép. Ő lesz a zenekar projektfelelőse. De nem szabad megsérteni, tudod, milyen érzékeny, azért hagyd meg cimbalmosnak, majd teszünk mellé valaki mást is, az ő hangszerét meg lehalkítjuk kicsit.” Marci hatalmas névjegyeket csináltatott, amelyeken az állt: első és főcimbalmos. Így aztán megválasztották a megyei zenebizottságba, ahol azonnal

elvállalta a „Megye legjobb zenekara” cím szempontjainak kidolgozását. A szempontok legfontosabbika volt, hogy a legszebben írt jelentést kellett produkálni, így aztán a táblát már le lehetett cserélni az „Itt működik a megye legjobb zenekara”, később a „Megye kétszeres (háromszoros) legjobb zenekara” szövegűre. Ekkorra persze már Marci is kapott külön fizetést, titkárnőt, szolgálati autót, mobiltelefont, és „Kiváló cimbalmos” emlékérmét is. Az újabb és újabb címeket a kocsmában ünnepelték, jutott a páncélszekrényben lévő pénzből, a megyei előljárókat is meghívták, és idővel a kocsmába is jutott tábla (más betűtípussal, de szigorúan ugyanolyan betűméretben).

A zenekar azért néha összejött, próbáltak is, amíg el nem pattant az első hegedűn a húr. Ment Józsi a jegyzőhöz, hogy ki kéne a húrt cserélni, adna már egy kis pénzt rá. „Nem úgy van az, fiam” mondta a menedzser, akihez a jegyző küldte „először írd szépen igénylést, magyarázd meg, minek húr neked, hogyan fogja az felvirágoztatni egész Ófalu, aztán hozzá nekem három árajánlatot, amelyik nekem a legjobban tetszik, azt majd elfogadjuk”. Józsi ment Marcihoz, Marci megírta, amit kellett, Józsi fölpackolta egy kamionra, ment vissza a menedzserhez. „Most akkor megnyílik a páncélszekrény, és mehetek húrt venni?” kérdezte reménykedve. „A páncélszekrényből?!!! Nem addig van az! A páncélszekrényben levő pénz csak menedzserfizetésre, titkárnőre, szolgálati autóra, mobiltelefonra költhető! Most engedélyeztem neked, hogy megvedd a húrt, vedd meg szépen a saját pénzedből, majd év végén visszakapod, ha írtál róla szép jelentést!”

De az igazi nagy baj csak ezután jött, amikor új zongorát kellett venni! Most mi legyen, hiszen az egész zenekarnak együtt nem volt annyi pénze, hogy ezt megelőlegezze. Marci mellé már három másik projekt-almenedzsert vettek fel, ezzel nem volt baj, mert ők kaptak a páncélszekrényből fizetést, titkárnőt, szolgálati autót, mobiltelefont, de még az ő fizetésük sem volt elég arra, hogy zongorát vegyenek. Zongora-beruházási pályázatot viszont gyönyörűt írtak. Meg is dicsérte Józsit a menedzser: „Vehettek olyan zongorát, hogy hét határra szól! Persze, a hét határra szólást be is kell bizonyítani, húbelebalázs módjára nem lehet zongorát vásárolni. Ehhez már külön menedzsercéget kell választanotok, nem elég a zenekari amatőrökre bízni az ilyesmit.” Szerencsére a papírgyáros fia, akit a papa messze földön kitanított a hirtelen megnövekedett jövedelméből, már alapított egy tanácsadó céget, sok alkalmazottal, titkárnővel, szolgálati autóval és mobiltelefonnal. A cég szépen megírta az összes papírt, a helyi fuvarozó már három teherautót tartott csak arra a célra, hogy a pályázatokat és a jelentéseket szállítsa a menedzseriroda, a polgármesteri hivatal és a kocsmá mellett felépített zenekari hivatali helyiség között.

A kocsmáros, aki a kocsmát azóta konferenciacentrummal bővítette, segítette a zenészeknek egy kis kölcsönrel, hogy a zongora miatt beállt likviditási problémákat áthidalják, és másfél év múlva ott pompázott a

hangszer a kocsmá közepén. A baj csak az volt, hogy ekkorra már nem volt, aki játsszon rajta. A zenészpurdék ugyanis megunták az otthoni nélkülözést, meg hogy az apjuk már nem is a hegedűjén játszott szomorúságában, hanem otthon is jelentést és pályázatot írt, és egyre többen szökdöstek el Újfaluba, ahol tárt karokkal várták őket. Sebaj, jöttek helyettük olyanok, akik Újfaluban nem kellettek (senki sem értette, miért, hiszen olyan gyönyörűen tudtak jelentést írni).

*Happy end nincs? De van!!!*² Sőt, ez egy olyan történet, ami teljes happy enddel végződik. Újfalusi lakosai örültek, mert minden hétvégén utcabál volt, jobbnál-jobb zeneszámokkal, messze földről tódultak hozzájuk a vendégzenekarok, volt móka, kacagás, ami belefért. De Ófalu is prosperált: a tanácsadók és projektmenedzserek nagyobb-nagyobb házakat épít-

² Szörényi Szabolcs, Bródy János: Sáríka. *Illések és pofonok*, Qualiton, Budapest, 1969.

tettek, a falu lakosai rájöttek, hogy a gyerekeket könyvelőnek és tanácsadónak kell taníttatni, a hegedű pedig időben ki kell csavarni a kezükből, vagy ha ez teljesen reménytelen, el kell küldeni őket Újfaluba. A zenekarban ugyan egyre több volt a hamis hang, de ez a falu előjáróit cseppet sem zavarta, hiszen szebbnél-szebb jelentéseket kaptak arról, milyen nagyszerű is az ő zenéjük. Azt pedig, hogy a díjakat rendre Újfalusi vitte el minden fesztiválon, megmagyarázták az ófalusi újságírók azzal, hogy a gonosz Újfalusi „torokszívást” végez Ófaluból. Így már utálniuk is volt kit, meg sajnálni is tudták magukat, ezzel aztán tökéletesé vált az ő boldogságuk is. Igaz, néha még hallották a falu bolondját, aki a sötétség leple alatt surrant végig az utcákon, és egy szemétdombról megmentett hegedűből csalt ki fájdalmas, édes dallamokat. Ilyenkor, nem tudták ugyan már, miért, de valami melegség költözött a szívükbe néhány percre. És ezekben a percekben Ófalusi bolondja is boldog volt...

HÍREK – ESEMÉNYEK

A TÁRSULATI ÉLET HÍREI

ELFT klubdelután a Fizika Doktori Iskolákról (2006. december 22.)

A Társulat évvégi összevetésén mintegy 25 tag vett részt a fizika doktori tanulmányok helyzetével foglalkozó igen élénk eszmecsereben. A Szegedi Tudományegyetem sajnálatos távolmaradása ellenére sokszínű és általános érvényű megvilágítást kapott a kérdéskör.

Az ELFT érdeklődését a doktoranduszok és az új doktorok iránt a Társulat tagsága előregedésének veszélye magyarázza – fejtette ki bevezetőjében *Patkós András*.

Az eszmecsere a doktori iskoláktól kapott számszerűsíthető adatokat összesítő *táblázat* segítette. Az adatgyűjtéssel kapcsolatban felvetették, hogy tanulságos lenne a doktori képzési normatívából az egy ösztöndíjas doktoranduszra valóságosan fordítható összeget is megbecsülni, és az egyes egyetemek eljárását e tekintetben összehasonlítani.

A résztvevők egyöntetűen jó nemzetközi színvonalúnak tartották a fizika területén odaítélt hazai tudományos fokozatokat. A megkövetelt publikációk száma nem egységes, iskolától függően, lényeges mértékben, 2 és 4 között változik. Az elmúlt 5 évben kiadott 173 fokozatot elegendő számúnak tartják, bőven jut külföldi posztdoktori állásokra a végzősökből. Ennek megfelelően a témavezetők száma is megfelelő, a kutatóintézeti vezető kutatók részéről az ajánlat a doktori témákra jelentkezők számát meghaladja.

A BME Doktori Iskoláját képviselő *Virosztek Attila* szerint a doktori tanulmányok megkezdését követő 4. évben történő fokozatszerzés a normális. Ezt a vélelmet egyöntetűen osztották a többi doktori iskola nevében megszólalók is. Volt olyan vélemény, hogy a bírálatok és a vizsgák elhúzódása miatt az 5. évben eredményesen záruló tanulmányok többsége sem anomális. *Frei Zsolt* a nemzetközi versenyképesség szempontjából hátrányosnak ítélte az értékelési eljárás elhúzását. Javasolta a szigorlatnak megfelelő átfogó vizsga korábbi (a 2. év utáni) lebonyolítását, és összekapcsolását a kutatások eredményességének közbelső értékelésével. *Lévai Péter* a doktori kurzusok intenzívebb formáit és a doktoranduszok egyetemi hetirendjének a rendszeres kutatómunkát segítő koncentrációját kérte az ösztöndíjas időszak hatékonyabb kihasználása érdekében. Az ELTE Doktori Iskola vezetője, *Horváth Zalán* utalt arra, hogy a hazai nem-kutatói/oktatói állások szempontjából a doktori fokozat megítélése bizonytalan. Ez magyarázza, hogy szinte kész disszertációt is sutba dobnak egy-egy jó állásajánlat felbukkanásakor. Ez a nemkívánatos jelenség a fizika területén egyelőre kevésbé gyakori, mint a mérnöki területeken. Főleg az informatikai cégek értékrendjébe való beilleszkedés javítása érdekében *Vattay Gábor* javaslatára az ELTE Iskola az alkalmazott témáknál bővítette a publikációval egyen-

értékű alkotások listáját (előbírálattal elfogadott konferencia-előadások).

Többen is foglalkoztak az ösztöndíjat követő, a védésig tartó időszak finanszírozásának kérdésével. Magától értetődő, hogy ennek eszközeit alapvetően a témavezető teremti elő. A kutatóintézetekben segédmunkatársi foglalkoztatást szokás biztosítani, az egyetemeken az OTKA Iskolapályázata nagyon alkalmas át-hidaló eszköznek bizonyult. *Helyes lenne, ha a rendszeres költségvetési megszorítások során eltűnt pre-doktori ösztöndíjak pótlására az OTKA (de egyéb pályázati rendszerek is) már a költségvetési tervezés részeként támogatná a tematikus pályázatokban a disszertáció megírását és megvédését.* Ezt jelenleg eseti kérésre a Fizika Zsűri támogatásával az OTKA Iroda engedélyezni szokta.

Beke Dezső, a debreceni fizika doktori iskola vezetője számolt be az erdélyi és kárpátaljai magyar nemzetiségű fiatalok rendszeres érdeklődéséről. Ugyancsak ő foglalkozott igen részletesen az interdiszciplináris témák befogadásával, amelyen belül a fizika oktatásának fejlesztéséhez kapcsolódó fokozatszerzés kérdésére fókuszálódott a figyelem. A Debreceni Egyetem doktori szabályzatában két éves vita után megfogalmazták a közoktatásbeli tanári munka mellett végzett doktori tanulmányokkal a fizika iskola keretében szerezhető tudományos fokozat odaítélésének feltételeit. A közeljövőben értékelik az első két, szakdidaktikai alkotómunkával és kutatással a PhD-fokozatra benyújtott disszertációt. *Juhász András* felkért hozzászólóként részletes tervezetet mutatott be, amellyel az ELTE doktori iskolájában szeretnék elindítani a didaktikai kutatások befogadásának folyamatát. *Gyulai József, Mester András, Papp*

<i>táblázat</i>						
Áttekintő adatok a Fizika Doktori Iskolák elmúlt négy és fél évéről (2002-2006)						
Fokozatot szerzett	2002	2003	2004	2005	2006 (1. félév)	
BME	43	6	7	10	13	7
DE	27	6	5	7	5	4
ELTE	69	16	19	21	5	8
PTE	5	–	2	2	1	–
SzTE	29	4	12	5	4	4
Összesen	173	32	45	45	28	23
Felvételtől védésig	3 év	4 év	5 év	több		
BME	5	16	18	2		
DE	5	8	7	7		
ELTE	5	19	21	24		
PTE	–	2	3	–		
SzTE	5	5	8	10		
Szakterület-besorolás	BME	DE	ELTE	PTE	SzTE	
Anyagtudomány	8	6	–	–	3	
Szilárdtestfizika	11	–	13	–	–	
Neutron-szinkrotron	9	–	–	–	–	
Statisztikus fizika	4	–	15	–	3	
Optika	9	–	3	–	–	
Atomfizika-kvantumelektronika	–	11	2	5	12	
Magfizika	–	2	2	–	–	
Sugárvédelem	–	3	1	–	–	
Részecskefizika	–	2	–	–	–	
Matematikai fizika	–	–	12	–	2	
Kvantumelmélet	–	–	–	–	2	
Csillagászat	–	–	13	–	2	
Biofizika	–	–	7	–	4	
Termodinamika	–	–	1	–	–	
Fizika tanítása	–	–	–	–	1	
PhD-sek diplomája	BME	DE	ELTE	PTE	SzTE	
Fizikus	41	16	41	3	27	
Fizika tanár	–	9	12	2	2	
Villamosmérnök	–	1	–	–	–	
Csillagász	–	–	11	–	–	
Geofizikus	–	–	1	–	–	
Nem magyar nemzetiségű külföldi	–	–	4	–	–	
Témavezetők	BME	DE	ELTE	PTE	SzTE	
PHD-t vezetett egyetemi	23	10	46	3	15	
PHD-t vezetett kutatóintézeti	14	11	21	2	15	
Külföldi témavezető	–	–	–	–	2	
PHD-t vezetett prof. emeritus	–	1	–	–	–	
Most témavezető egyetemi	31	5	36	4	14	
Most témavezető kutatóintézeti	17	12	22	2	–	
MTA kutatócsoporti kutató	–	–	–	–	4	
Jelenlegi doktoranduszok	BME	DE	ELTE	PTE	SzTE	
Állami ösztöndíjas	37	19	34	4	19	
Kutatóintézeti ösztöndíjas	11	2	–	1	–	
Önköltséges	–	–	35	3	10	
Középiskolai tanár	–	1	–	–	–	
Külföldi magyar	6	2	8	–	3	

Katalin és mások is kiemelték, hogy mennyire szükség lenne az óvodától a középiskolai tehetséggondozásig megnyilvánuló alkotó tanári munka tudományos értékeinek elismerésére, de kétségeik voltak, hogy sikerül-e előrelépni ebben a régi minősítési rendszerben is állandóan felmerült és megoldatlanul maradt kérdésben. Kiss Ádám felvetette, hogy a tudományos igényességű tanári alkotómunka elismerésére egy eltérő kritériumrendszerű cím odaítélésének meghonosítása lenne alkalmas. Patkós András azzal érvelt, hogy jelentősen nőtt a természettudományok széleskörű újító megismertetésére, az ismeretek alkalmazásának készsége szintjének elsajátítására a társadalmi igény, és ez Skandináviától az Egyesült Államokig felértékelte a befogadás hatékonyságát növelő kutatásokat. Tanszékek, fejlesztő-kutató központok alakulnak, amelyek nemzeti programokat irányítanak. Oktató-kutatókat nagy számban toborozzák a természettudományos előéletű alkotó személyiségek közül. Egyetemeink alsóbb évfolyamain, a fizikatanárok szakdidaktikai kurzusain és laboratóriumaiban már érezhető az egykor közismert, a klasszikus fizikát élményszerűen bemutatni képes mestertanári generáció hiánya. A következő években például Pécsen a nyugdíjazások szinte teljesen eltüntethetik a tehetséggondozásban kiemelkedő sikereket elért gárdát. Az ő utánpótlásuk gondját súlyosbíthatja, ha az oktatásfejlesztés területéről a fizikusok teljesen kivonulnak, és átengedik a terepet a neveléstudományi doktori iskoláknak, amelyekben a szak módszertani témákat jó esetben is legfeljebb a fogalmak/ismeretek bevésszítésének és használatának szociológiai módszerekkel történő ellenőrzése váltja fel. *Az ELFT elnöksége felkéri Jubász Andrást, hogy a debreceni, szegedi és pécsi tudományegyetemek doktori iskoláinak közreműködésével, nem-*

zetközi kitekintésre támaszkodva készítsen a debreceni fizikai iskola tapasztalatait és a bazai neveléstudományi iskolák gyakorlatát is bemutató vitaanyagot a fizika szak módszertanában végzett, nemzetközi beágyazottságú kutatói-fejlesztői tevékenység alapján odaítélhető tudományos (PhD-) fokozat feltételrendszerére.

Kiss Ádám részletesen ismertette az általa vezetett ELTE környezettudományi doktori iskola és a szaktudományi doktori képzések viszonyát. Feltétlenül szeretnének doktoranduszokat toborozni a természettudományi szakoknak a környezettudományi MSc-nél jóval szélesebb spektrumából. Beke Dezső arról számolt be, hogy Debrecenben a környezettudomány határterületén dolgozó fizikusok a fizika doktori iskola keretei között maradtak, és jelenleg az egyik legaktívabb programját adják az iskolának. Ennek ellenére ő is hangsúlyozta, hogy az interdiszciplinaritásnak határai vannak, amelyet a „fizika” publikációként (alkotásként) elfogadható munkák és közlési helyük jelöl ki. A résztvevők konklúziója az volt, hogy *megfelelő együttműködéssel növelendő a környezettudományi doktori iskolákba, illetve programokba felvett fizikus diplomájú hallgatók száma, mert ez a fizikusok szélesebb körű elismertségéhez vezető egyik ígéretes lehetőség.*

Zárásként a vitát vezető Patkós András felkérte a doktori iskolák vezetőit, hogy a kapcsolatfelvétel érdekében juttassák el a Társulat titkárságához a fokozatot szerettek utolsó ismert elektronikus címét. *A Társulat a Fizikai Szemle és a Fizinfo felhasználásával kísérletet tesz egy minél teljesebb doktori (PhD) lista létrehozására és annak közzétételére a Társulat honlapján.*

P. A.

Felhívás javaslattételre

A korábbi évekhez hasonlóan az idén is ki szándékozunk osztani a Társulat érmeit és díjait. Ezúton is kérem a Társulat szakcsoportjait, a területi szervezeteket és a Társulat valamennyi tagját, hogy a Társulat díjainak odaítélésére vonatkozó javaslataikat (pályázatokat) *2007. március 20-ig* szíveskedjenek eljuttatni a Társulat titkárságára (1027 Budapest, Fő utca 68., postacím: 1371 Budapest, Pf. 433).

A díjak odaítélésével kapcsolatban az Alapszabály vonatkozó rendelkezései az irányadóak, a díjak kiosztására az előreláthatóan 2007. május 19-én megrendendő küldöttközgyűlés keretében kerül sor.

A Társulat által adományozható kitüntetések és díjak

Társulati díjak

- *Eötvös Loránd Fizikai Társulat Érem* a Társulat azon tagjának, aki a fizika területén hosszú időn keresztül folytatott kutatási, alkalmazási vagy oktatási tevékenységével, valamint a Társulatban kifejtett munkásságával kiemelkedően hozzájárult a fizika hazai fejlődéséhez.

- A Társulat *Prometheusz* éremmel – „A fizikai gondolkodás terjesztéséért” – tüntetheti ki azt, aki a fizikai műveltség fokozásához országos hatással hozzájárult.
- A Társulat *Eötvös Plakett* emléktárgya annak a tagnak/személynek, aki rendkívüli mértékben nyújt segítséget a Társulat célkitűzéseinek megvalósításához, neves külföldi vendégnek a Társulat valamely rendezvényén tartott előadása alkalmából.

Tudományos díjak

A Eötvös Loránd Fizikai Társulat az alábbi tudományos díjakat adományozhatja:

- *Bródy Imre-díjat* annak a személynek, aki a fizika alkalmazásának területén,
- *Budó Ágoston-díjat* annak a személynek, aki az optika, molekulafizika vagy a kísérleti fizika területén,
- *Detre László-díjat* annak a személynek, aki a csillagászatban, valamint bolygónkkal és annak kozmikus környezetével foglalkozó fizikai kutatások területén,
- *Gombás Pál-díjat* annak a személynek, aki az alkalmazott kvantumelmélet kutatása területén,
- *Gyulai Zoltán-díjat* annak a személynek, aki a szilárdtest-fizika területén,
- *Jánossy Lajos-díjat* annak a személynek, aki az elméleti és kísérleti kutatások területén,

- *Novobáztzy Károly-díjat* annak a személynek, aki az elméleti fizikai kutatások területén,
- *Schmid Rezső-díjat* annak a személynek, aki az anyag szerkezetének kutatása területén,
- *Selényi Pál-díjat* annak a személynek, aki a kísérleti kutatás területén,
- *Szalay Sándor-díjat* annak a személynek, aki az atom- vagy atommag-fizikában, illetve ezek interdiszciplináris alkalmazási területén,
- *Szigeti György-díjat* annak a személynek, aki a lumineszcencia- és félvezető-kutatások gyakorlati alkalmazásában,
- *Bozóky László-díjat* annak a személynek, aki a sugárfizika és a környezettudomány területén,
- *Felsőoktatási Díjat* annak a személynek, aki a felsőoktatás területén kimagasló eredmény ért el.

A Társulat díjaira az Alapszabály szerint a Társulat szakcsoportjai és területi szervezetei, valamint a Társulat tagjai tehetnek javaslatot, de minden társulati tag maga is pályázhat a díjakra. A díjak elnyerésének a társulati tagság nem feltétele. A javaslatokat és a pályázatokat az illetékes szakcsoportok véleményével együtt a www.elft.hu weblapról letölthető, vagy a titkárságon beszerezhető űrlap felhasználásával kell a Társulat titkárságára eljuttatni.

A díjazottak személyéről a Díjbizottság javaslatára a Társulat Elnöksége dönt.

Kovách Ádám
főtitkár

Tanártovábbképzés a CERN-ben

A CERN ebben az évben is meghirdette nyári, háromhetes továbbképzési programját középiskolai tanárok részére. A továbbképzés célja többek között

- hozzájárulás a középiskolai fizikaoktatás színvonalának emeléséhez,
- nemzetközi tapasztalatcsere lehetőségének biztosítása tanárok számára,
- ismerkedés a kutatás világával,
- a fizika tantermi és azon kívüli népszerűsítésének segítése.

Az idei továbbképzésre 2007. július 1. (érkezési nap) és július 21. (elutazási nap) között kerül sor, a jelentkezés határideje március 15. A CERN továbbképzési programjáról általános információ a <http://teachers.web.cern.ch/teachers/> honlapon, az idei meghirdetés (tájékoztatóval a feltételekről, a jelentkezés módjáról stb.) a <http://teachers.web.cern.ch/teachers/HST2007atCERN.html> honlapon érhető el.

Kovách Ádám
főtitkár

Teltházas karácsonyi koncert Szegeden

2006. december 19-én *Karácsonyi kísérletek – ajándék koncert diákoknak* címmel rendeztek kísérleti bemutatót az Szegedi Egyetem Budó Ágoston termében. *A fénytáv-közléstől a cunamiig – hullámok földön, vízben, levegőben* téma vonzotta a diákokat, tanárokat egyaránt. A szegediekén kívül Makóról, Hódmezővásárhelyről, Csongrádról, Üllésről is jöttek érdeklődők, nem is jutott ülőhely

mindenkinek. A kétórás program változatosságát a fellépő előadók: *Benedict Mihály, Molnár Miklós, Nagy Anett, Papp Katalin, Szabó Gábor* és *Tátrai Dávid* (hallgató) biztosították. A közönség feszült odafigyelése és vastapsa arra ösztönzi a szervezőket (ELFT Csongrád megyei Csoport, SZTE, Fizikus Tanszékcsoporthoz), hogy a rendezvényt hagyományáá tegyék.

AZ AKADÉMIAI ÉLET HÍREI

Tudományos ülés az Akadémián

A 100 éves Eötvös-Pekár-Fekete kísérletek és máig tartó hatásuk címmel a súlyos és a tehetetlen tömeg egyenlőségét bizonyító kísérletek kezdetének 100. évfordulója alkalmából rendeztek ünnepi tudományos ülést az Akadémián november 22-én. Az ülésen *Király Péter*, a KFKI RMKI Kozmikus Fizikai Főosztály tudományos munkatársa tartott ünnepi előadást.

A Göttingeni Egyetem *Beneke alapítványa* 1906-ban pályázati felhívást tett közzé a tehetetlen és súlyos tömeg arányosságának kísérleti és elméleti vizsgálatára, különös tekintettel a fizika új eredményeire és *Eötvös Loránd* kifinomult mérési módszereire. A

pályázatot Eötvös Loránd, *Pekár Dezső* és *Fekete Jenő* nyerte „*Ars longa, vita brevis*” jeligéjű munkájával, amely a kétféle tömeg azonosságát az addiginál több nagyságrenddel pontosabban igazolta.

A tehetetlen és súlyos tömeg arányossága napjaink fizikájában is alapvető kérdés, és egyre pontosabb méréseket tesz szükségessé. Könnyen lehet, hogy olyan alapvető kérdésekben, amelyeket hatalmas gyorsítókkal vagy távcsövekkel is vizsgálnak, végül Eötvös-típusú mérések fogják kimondani a döntő szót. Több műholdas mérést is terveznek Eötvös-típusú kísérletek kivitelezésére.

HÍREK A NAGYVILÁGBÓL

Japán fejleszti magfizikai kutatásait

A jövő hónapban Japán elkezd egy új gyorsítórendszer kiépítését, amely képes lesz a legnehezebb radioizotópokból álló, nagy intenzitású sugárnyalábok előállítására is. A Saitama székhelyű RIKEN kutatóintézetben 378 millió USA dollár költséggel a Radioactive Isotope Beam Factorynál (Radioaktív Izotóp Nyaláb Berendezés) az eddigi lineáris gyorsító és ciklotron kiegészül a világ első szupravezető ciklotronjával és két további ciklotronnal. Ez az új gyorsítórendszer képes lesz uránionokat is a fénysebesség 70%-ára gyorsítani. A nyalábot a céltárggyal ütköztetve olyan radioizotópokat is létre lehet hozni, amelyek a természetben csupán a legforróbb csillagokban fordulnak

elő. A létesítmény új távlatokat nyit a kísérleti asztrofizika számára. A kutatási tervben szerepel különféle rövid élettartamú izotópok tanulmányozása, valamint az atommagok héjszerkezetében új „mágikus számok” felkutatása. A berendezés a tervek szerint 2011-ben áll üzembe teljes kapacitással.

A japán fejlesztést a riválisok nem nézik ölbe tett kézzel: az Egyesült Államok egymilliárd dolláros költséggel tervezi egy hasonló célú gyorsító építését, Franciaország 2012-ben, Németország 2014-ben tervezi radioaktív izotópokat gyorsító berendezés üzembe állítását. Egy ideig azonban e téren Japáné lesz a vezető szerep a kutatásokban. (www.nature.com)

Felavatták az új mexikói távcsövet

Vicente Fox, Mexikó leköszönő elnöke felavatta Mexikó Puebla szövetségi államában a Large Millimeter Telescope-ot (Nagy milliméteres távcső), amelynek 50 méter átmérőjű tányérantennája egy kialudt vulkán tetején épült fel. A távcső milliméteres fényhullámhossz-tartományban dolgozik, és képes lesz mindent megfigyelni a csillagok születésétől kezdve a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzásig. A november 22-én tartott ünnepségen Fox elnök megjegyezte, hogy a távcső „Mexikót ezen a területen a tudomány és a kutatás élcsapatába emeli”. A 120 millió dolláros távcső a mexikói Nemzeti Asztrofizikai, Optikai és Elektronikai Intézet, valamint a Massachusetts Egyetem (Amherst) közös vállalkozása. Az építés 1997-ben kezdődött el és a tervek szerint 2008-ban fejeződik majd be. (www.nature.com)



A világ legnagyobb szupravezető mágnes

A világ valaha is épített legnagyobb szupravezető mágnes már az első tesztknél is hibátlanul működött. Az alakja miatt Barrel (hordó) Toroidnak nevezett mágnes a svájci CERN Nagy Hadron Ütköztetője (Large Hadron Collider, LHC) mellett felépített ATLAS részecskedetektor számára szolgáltat intenzív mágneses teret. A berendezést a tervek szerint 2007 novemberében helyezik üzembe.

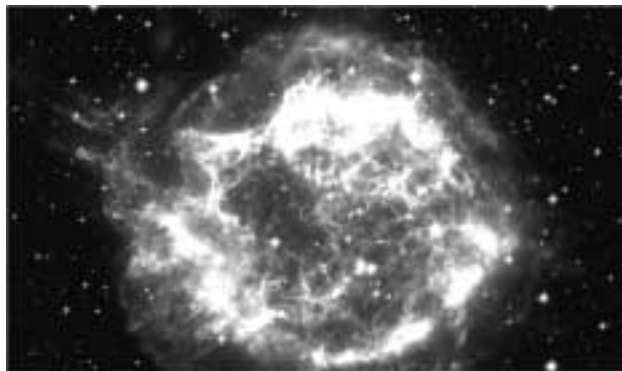
Az ATLAS Barrel Toroid nyolc szupravezető tekercsből áll, amelyek mindegyike 5 m széles, 25 m hosszú és 100 tonna tömegű, a csúcspontjára lekerekített téglatesthez hasonló alakú berendezés, milliméteres pontossággal beállítva. A mágnes az ATLAS többi mágnesével együtt az LHC gyorsítóban keletkező részecskék pályáját hajlítja el, hogy a részecskék tulajdonságait meg lehessen határozni. A többi részecskedetektortól eltérően az ATLAS-nál nincs szükség nagy mennyiségű fémre a

mágneses tér lokalizálásához, mivel a tér a tekercsek által meghatározott toroidális térre korlátozódik. Ez a megoldás növeli a mérések pontosságát.

A 46 m hosszú, 25 m széles és ugyanolyan magas ATLAS a világ eddigi legnagyobb részecskedetektora, amelynek segítségével olyan kérdéseket vizsgálnak majd, hogy miért van a részecskéknek tömegük, miből áll a Világegyetem 96%-a, valamint a természet miért részesíti előnyben az anyagot az antianyaggal szemben. A detektort 2006 július–augusztusában hűtötték le először egy hathetes időtartam alatt -269 °C -ra, majd fokozatosan növelték a gerjesztő áram erősségét, amely november 9-én érte el a 21000 ampert. Ez a tervezettnél 500 amperrel több volt. A teszt sikerrel járt, és az ATLAS Barrel Toroid készen áll a fizikai kísérletekre – jelentette ki *Herman ten Kate*, az ATLAS mágnesrendszerének projektvezetője. (www.cern.ch)

Kozmikus sugárzás szupernóva-maradványokból

Az MIT (Massachusetts Institute of Technology) csillagászainak sikerült egy felrobbant csillag maradványairól részletekben rendkívül gazdag képet nyerni, amely új adatokat szolgáltat a kozmikus sugárzás eredetével kapcsolatban. A NASA Chandra Röntgen Obszervatórium segítségével a kutatók leképezték egy felrobbant csillag, egy szupernóva maradványaiban a kozmikus sugárzás elektronjainak gyorsulását. Ez a maga nemében első kép azt bizonyítja, hogy a kozmikus sugárzás szupernóva-maradékokból keletkezik. A kép a *Cassiopeia A* objektumról, egy 325 éves szupernóva-maradványról készült. A képen található vékony kék ívek jelzik a kifelé terjedő lökeshullámot, amelyben az elektronok gyorsulása létrejön. A kép más színekkel jellemzett részei a robbanás egyéb termékeinek felelnek meg, amelyek több millió fokra melegedtek fel a robbanás



következtében. Az eredményekről az MIT Kavli Institute for Astrophysics and Space kutatói a *Nature Physics*-ben számoltak be. (www.nature.com)

Naperőmű Kínában

A Xinhua kínai hírügynökség jelentése szerint Kína a világ legnagyobb naperőművének megépítését tervezi. A 100 MW teljesítményű létesítmény Kína északkeleti részén, Dunhuang városban működik majd. A ter-

vek szerint a felépítés öt évet vesz igénybe. Más országok is terveznek hasonló létesítményeket. Nemrég Ausztrália jelentette be, hogy egy 154 megawattos erőművet készül építeni. (www.nature.com)

MINDENTUDÁS AZ ISKOLÁBAN

POLARIMÉTER A SZEMBEN, POLARIZÁCIÓS IRÁNYTŰ ÉS NAPÓRA AZ ÉGEN, VÍZEN ÉS VÍZBEN

Mire jó az állatok polarizációlátása?

A fény emberi szem számára érzékelhetetlen egyik sajátosságát, a fénypolarizációt számos állatfaj képes látni. Az emlős állatokban, az emberben is, a biológiai evolúció során nem alakult ki a *polarizációlátás* képessége, mert erre a fejlett agy miatt nem volt szükség. Mivel a fény polarizációja sok hasznos információt hordoz arról a közegről, ahol keletkezik, a technikai evolúció folyamán az ember létrehozott olyan eszközöket is, melyekkel a polarizáció mérhető. Ezeket nevezzük *polarimétereknek*.

Adott hullámhosszúságú poláros fény általában négy paraméterrel jellemezhető: (i) Az *intenzitás* az egységnyi idő alatt, egységnyi hullámhossztartományban, egységnyi felületre eső fényenergia. (ii) A *polarizációirány* a poláros fény domináns rezgéssíkjának iránya egy viszonyítási irányhoz képest. (iii) A *lineáris polarizációfok* a lineárisan poláros, azaz egyetlen

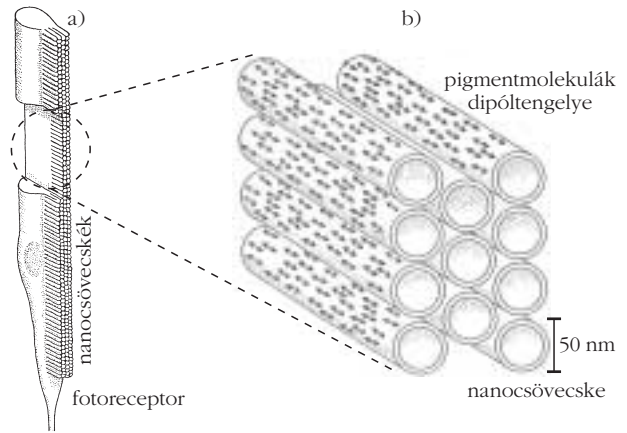
rezgéssíkú fény intenzitásának aránya a teljes intenzitáshoz képest. (iv) A *circuláris polarizációfok* a circulárisan poláros, vagyis körbe forgó elektromos amplitudóvektorú fény intenzitásának aránya a teljes intenzitáshoz viszonyítva. Ha tehát a fény polarizációját akarjuk megismerni, akkor legalább négy független mérést kell végeznünk a fényvel a szóban forgó négy optikai paraméter meghatározása végett. Egy polariméter lényegében ezt teszi: egy adott hullámhosszon például úgy méri a poláros fény intenzitását, hogy azt az első három méréskor egy-egy *lineáris polárszűrőn*¹ engedi át a szűrő három különböző áteresztési iránya mellett, majd a negyedik mérésben

¹ Egy lineáris polárszűrő csak egyetlen rezgéssíkú fényt ereszt át. Ez az irány a polárszűrő áteresztési iránya. Az erre merőleges rezgéssíkú fényt teljesen elnyeli.

egy *cirkuláris polárszűrő*.² A fényintenzitás így mért négy értékéből alkalmas számításokkal megkapjuk az említett négy optikai paraméter értékét. Ha csak a lineáris polarizációra vagyunk kíváncsiak, akkor elég három független mérést végeznünk, például a három eltérő áteresztési irányú lineáris polárszűrő segítségével. A polariméterekkel mérhetők és megjeleníthetők az optikai környezetben előforduló lineáris és cirkuláris polarizációs mintázatok, melyeket mi emberek az emlősökkel együtt nem látunk, de rengeteg más állat érzékel és különféleképpen föl is használ.

A polarizációlátású állatok szemében lényegében „élő polariméterek” működnek. Mivel azonban néhány ritka kivételtől eltekintve a földi természetben a részlegesen lineárisan poláros fény uralkodik, ezért jelen tudásunk szerint az állatok is csak a lineárisan poláros fényt érzékelik. A két legfontosabb kivétel biológiai eredetű: az egyik a szentjánosbogarak által kibocsátott cirkulárisan poláros biolumineszcens³ fény, a másik pedig a Scarabaeidae családba tartozó fémfényű bogarak (például zöld cserebogarak vagy aranyos rózsabogarak) kيتينpáncéljáról visszaverődő cirkulárisan poláros fény. A harmadik kivétel abiotikus eredetű: ha a vízben haladó részlegesen lineárisan poláros fény teljesen visszaverődik a víz–levegő határfelületen, akkor a tükröződő fény részben cirkulárisan poláros lesz. Mostanáig nem ismert, hogy vannak-e a fény cirkuláris polarizációját érzékelni képes állatok.

Ismereteink szerint az állatok szemében a polariméterek egyszerűbb fajtája fordul elő, mellyel a fénynek csak a lineáris polarizációja érzékelhető. Ennek alegysége a polarizációérzékeny fotoreceptor, melyre az 1. ábra mutat egy példát. Például a rovarok összetett szemének *ommatidiumaiban*⁴ több (maximum 9) fényérzékeny sejt (fotoreceptor) van, melyeknek a szemet érő fény felé forduló külső szegmensén, a sejtmembránon, rengeteg apró nanocsövecské türemkedik ki. E nanocsövecskék hossz tengelye egymással közel párhuzamos, miáltal a fotoreceptor olyan, mint egy apró fésű (1.a ábra). A nanocsövecskékben a fényelnyelő látópigment-molekulák úgy helyezkednek el, hogy a hossz tengelyük irányába mutató dipóltengelyük közelítőleg párhuzamos a nanocsövecskék hossz tengelyével (1.b ábra). Egy dipólmolekula annál több lineárisan poláros fényt nyel el, minél kisebb szöget zár be a dipóltengelye a fény **E** elektromos térerősségvektorával, röviden E-vektorával. Mivel a rovarok fotoreceptoraiban minden pigmentmolekula közel egyirányú, ezért a fotoreceptor polarizációérzékeny: a ráeső lineárisan poláros fényt maximálisan/minimálisan nyeli el, ha annak E-vektora

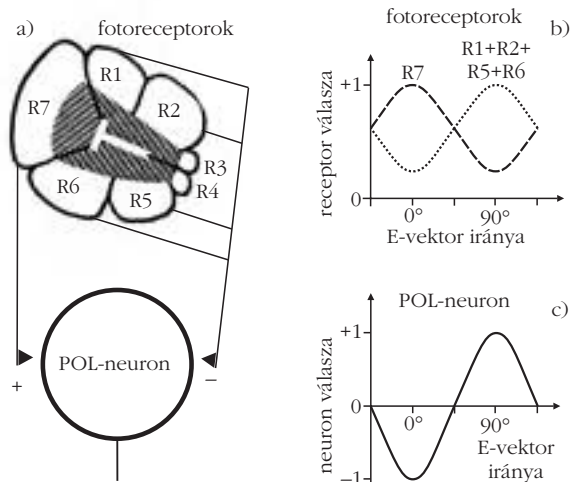


1. ábra. A rovarok polarizációlátását lehetővé tevő, nanocsöves membránú fényérzékeny sejt (fotoreceptor) külső szegmense (a) és az egymással párhuzamos nanocsövecskék kötegének egy kinagyított részlete, ahol kettősfejtű nyilak szemléltetik a látópigment-molekulák dipóltengelyét (b).

párhuzamos/merőleges a membrán nanocsövecskéinek hossz tengelyével. Az ilyen fotoreceptor egy forgó E-vektorú lineárisan poláros fényt például úgy észlel, mintha annak szinuszosan változna az intenzitása (2.b ábra). Egy ilyen polarizációérzékeny fotoreceptor úgy viselkedik, mint egy lineáris polárszűrő.

Az ommatídiumokbeli polarizációérzékeny fotoreceptorok a lineárisan poláros fény elnyelésekor keletkező elektromos jelüket polarizációérzékeny POL-neuronokhoz küldik tovább. A mezei tücsök (*Gryllus campestris*) szemében például a kék fényre érzékeny R7 fotoreceptor jele serkentőleg hat a POL-neuronra, míg az R7 receptor nanocsövecskéire merőleges nanocsövecské, ugyancsak kékérzékeny R1, R2, R5 és R6 receptoroké gátlólag (2.a ábra). A POL-neuron összehasonlítja e

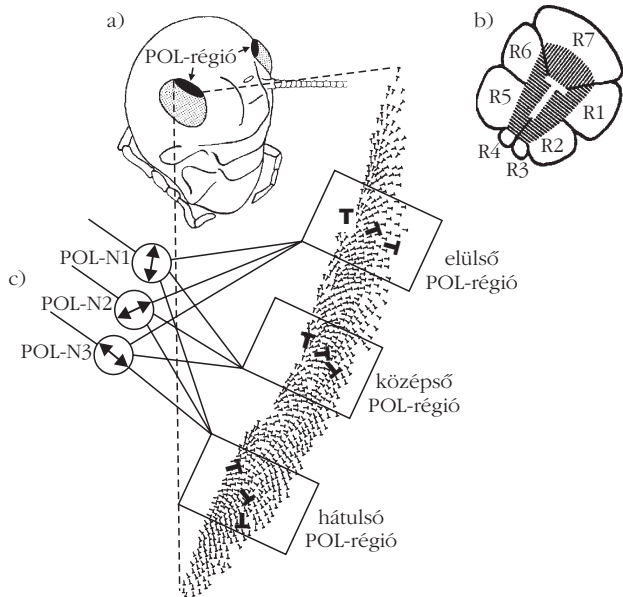
2. ábra. (a) A mezei tücsök (*Gryllus campestris*) szemének eget kémlelő háti részén lévő polarizációérzékeny R1, R2, ..., R7 ommatidialis fotoreceptoregység keresztmetszete és az alatta lévő POL-neuronhoz való kapcsolódások módja, ahol + serkentést, – pedig gátlást jelent. A receptorok nanocsövecskéinek irányát csíkos mintázat mutatja. (b) Az R7, illetve az R1 + R2 + R5 + R6 receptoroknak egy forgó E-vektorú lineárisan poláros fényre adott válasza (a kisülési frekvencia logaritmus 1-re normálva) az E-vektor iránya függvényében. (c) A POL-neuron válasza (az R7 és az R1 + R2 + R5 + R6 receptorok jelének különbsége) az E-vektor iránya függvényében.



² Egy jobbra, illetve balra cirkuláris polárszűrő elnyeli a balra, illetve jobbra cirkulárisan poláros fényt, míg átereszt a jobbra, illetve balra cirkulárisan polárosat.

³ A biolumineszcens fény a gazdaállattal együttélő baktériumokban zajló speciális biokémiai reakciók mellékterméke, amit a gazda vizuális kommunikációra használ szabályozható módon.

⁴ Az összetett szem számos elemi szemecskéből, latinul ommatidumból áll, melyben egy lencse és egy azt követő kúp alakú fénytörő test (kristálykúp) alatt húzódnak a nanocsövecskés membránú fotoreceptorok.



3. ábra. A mezei tücsök (*Gryllus campestris*) összetett szemének eget kémlelő polarizációérzékeny POL-régiója (a), az ommatídiuumokban lévő polarizációérzékeny R1, R2, ..., R7 fotoreceptor egység keresztmetszete, ahol rovátkák jelzik a nanocsövecskék irányát (b), és a POL-régió ommatidiális fotoreceptor egységeinek a három különböző típusú POL-neuronhoz (POL-N1, POL-N2, POL-N3) való kapcsolódása (c). A T betűk az R7 és R1+R2+R5+R6 ommatidiális receptoregységek egymásra merőleges nanocsövecskéinek irányulását mutatják a POL-régióon belül. A kettősfejű nyilak a POL-neuronok által preferált E-vektor irányokat szemléltetik, melyekre a neuronok maximális választ adnak. Minden POL-neuron a POL-régió elülső, középső és hátsó részében lévő olyan ommatidiális fotoreceptor egységekhez kapcsolódik, melyekben az R7 receptor nanocsövecskéi közel párhuzamosak a POL-neuron által preferált E-vektor irányával (vastag T-k).

két, egymásra merőleges nanocsövecskével bíró receptorcsoport jeleit (2.b ábra), képezi azok különbségét (2.c ábra), s e különbséget továbbítja a látóközpont-

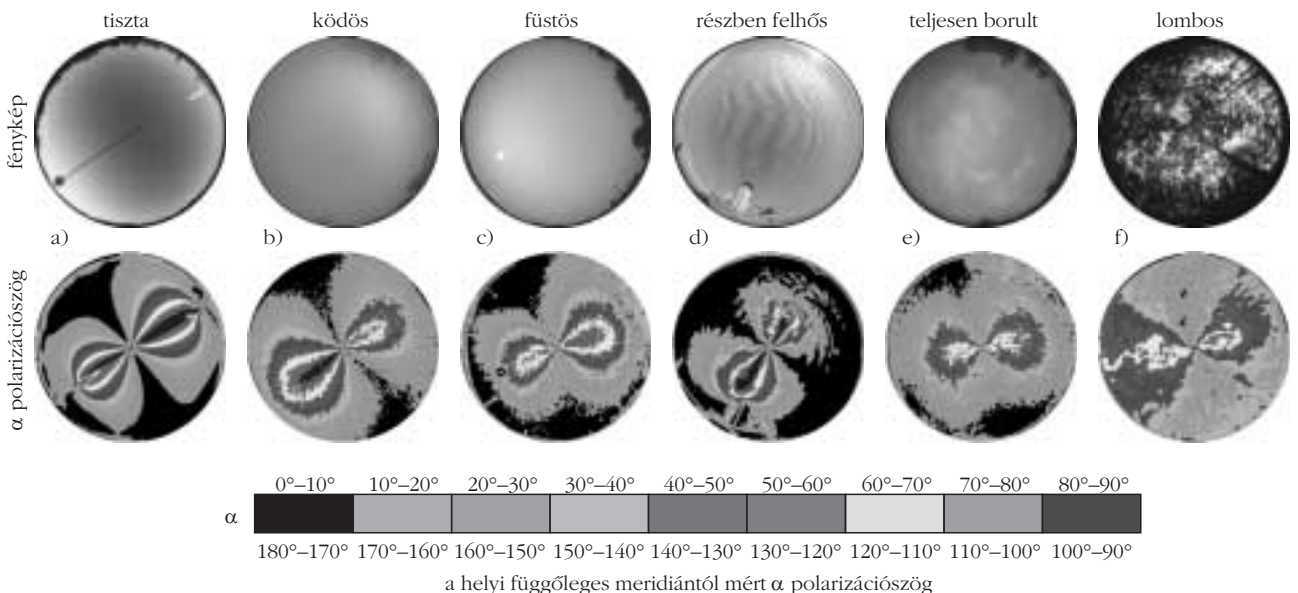
ba. A fotoreceptorok és a POL-neuron jele (tüzelési frekvenciájának logaritmus) szinuszosan változik, amikor a receptorokat érő lineárisan poláros fény E-vektora körbe-körbeforgó (2.b, c ábra). A POL-neuron jele akkor maximális/minimális, mikor a stimuláló fény E-vektora párhuzamos/merőleges a neuronhoz kapcsolódó egyik receptortípus (például R7) membránjának nanocsövecskéivel. Ezt a kitüntetett irányt nevezzük a POL-neuron által preferált E-vektor irányának. Ily módon a POL-neuron jelének időbeli változásából meghatározható egy forgó E-vektorú lineárisan poláros fény rezgéssíkjának pillanatnyi iránya. A POL-neuron ekkor egy elemi, dinamikus polariméterhez hasonló.

A természetben a legtöbb polarizációs mintázat időben csak lassan változik. Például a tücsökök szemét érő részlegesen lineárisan poláros égboltfény E-vektora nem forog körbe-körbe, ha a tücsökök nem forog. Ilyen statikus helyzetben legalább három eltérő preferált E-vektor irányú POL-neuronra van szükség ahhoz, hogy azok jeleiből a tücsökök agya meg tudja határozni az égboltfény statikus polarizációirányát. Elektrofiziológiai vizsgálatokkal tényleg fölfedezték, hogy a tücsökök szemének az eget kémlelő polarizációérzékeny régiójában (3.a, b ábra) három különböző E-vektor irányra maximálisan érzékeny POL-neuron van (3.c ábra). A tücsökök agya e három POL-neuron jeleiből határozza meg a szemet érő égboltfény intenzitását, lineáris polarizációfokát és polarizációirányát, hasonlóan, mint egy lineáris polariméter.

De vajon mire használják az állatok a polarizációlátásukat a spektrum ultraibolya vagy kék vagy zöld tartományában?

A polarizációlátás egyik legfontosabb szerepe a térbeli tájékozódásban van, amit az optikai környezet számos polarizációs mintázatának jellegzetes tükröszimmetriája (4. ábra) tesz lehetővé. Az állatok zöme

4. ábra. Tiszta (a), ködös (b), erdőtüztől füstös (c), részben felhős (d), teljesen borult (e) és napfény által megvilágított lomboktól takart (f) égbolt 180° látószögű halszemoptikával készített fényképe (felső sor) és képalkotó polarimetriával a spektrum kék (450 nm) tartományában mért polarizációirány mintázata (alsó sor), ahol a körök középpontja a zenit, a kerülete pedig a horizont. E mintázatok tükröszimmetriatengelye a szoláris-antiszoláris meridián, ami számos polarizációlátású állat térbeli tájékozódásának viszonyítási iránya.



a térbeli orientációja során viszonyítási alapul a *Nap azimutját*⁵ választja: ahhoz méri például a járásának, repülésének vagy úszásának irányát, illetve annak megváltozását. Mikor a Nap nem látható, mert például felhők, lombok, hegyek takarják vagy a horizont alatt van, akkor jön jól a polarizációlátás. Az égboltfény E-vektorának térbeli eloszlása olyan tükörszimmetrikus mintázat, melynek szimmetriasíkja a *szoláris–antiszoláris meridián*⁶ síkja. Magyarországi, tunéziai, svájci, finnországi, alaszakai és északi-sarki 180° látószögű képalkotó polarimetriai vizsgálatokkal magyar, német és svéd kutatókkal (*Gál József, Pomozi István, Haiman Ottó, Rüdiger Webner, Benno Meyer-Rochow, Susanne Akesson, Varjú Dezső*) együtt kimutattuk, hogy az égbolt E-vektor mintázata szinte minden meteorológiai körülmény között hasonló, gyakorlatilag ugyanaz a szoláris–antiszoláris meridiánra *tükörszimmetrikus polarizációirány mintázat* alakul ki tiszta (*4.a ábra*), ködös (*4.b ábra*), részben felhős (*4.d ábra*) és teljesen borult (*4.e ábra*) égbolton, sőt még akkor is, mikor az eget erdőtüzek sűrű füstje borítja (*4.c ábra*). Ha az ég nem tiszta, akkor az égboltfény p lineáris polarizációfoka jelentősen lecsökkenhet; p legkisebb, néhány százalékos értékei a teljesen borult időben mérhetőek, mikor az eget vastag, sűrű eső- vagy jégfelhők fedik. Ha egy állat *polarizációlátásának p^* küszöbe* a ködös, füstös vagy felhős ég fényének átlagos p lineáris polarizációfoka alá esik ($p^* < p$), akkor látja az égbolt E-vektor mintázatát, aminek szimmetriatengelyéből megállapíthatja a szoláris–antiszoláris meridián irányát akkor is, amikor a Nap nem látható. Hogy az így adódó két ellentétes (szoláris és antiszoláris) irány közül melyik mutat a Nap felé, az az égboltfény intenzitásának és színének mintázatából következtethető ki. Számos polarizációlátású rovar, rák, pók, skorpió, hal, kétéltű, hulló és madár az égbolt E-vektor mintázatából határozza meg az orientációja alapjául szolgáló szoláris meridián irányát, ha a Napot nem látja.

Bakos Attilával, Barta Andrással, Bernáth Balázssal és Subai Bencével hőlégballonnal több kilométer magasra szálltunk, és megmértük, hogy az alattunk elterülő légkörben milyen lineáris polarizációs mintázat alakul ki a napfény levegőbeli szóródása eredményeként. Kiderült, hogy lényegében ugyanolyan, mint a fölénk boruló égbolté: egy magasban repülő polarizációérzékeny madár például nemcsak a fölötté lévő égbolton (*4.a–e ábra*), hanem az alatta húzódó levegőben is a szoláris–antiszoláris meridiánra tükörszimmetrikus E-vektor mintázatot észlelhet. Nemrég azt is bizonyítottuk, hogy az erdőkben a napfény által megvilágított lombokon ugyanolyan E-vektor mintázat keletkezik, mint ami a tiszta/ködös/füstös/felhős égboltra jellemző (*4.f ábra*). Emiatt, bár az erdőkben

a Napot lombok takarják, a polarizációlátású erdei állatok a följük hajló lombok E-vektor mintázatából ugyanúgy képesek megállapítani a szoláris–antiszoláris meridián irányát, mint az erdőn kívüli társaik az égboltéból (*4.a–e ábra*). Az ég polarizációs mintázata alapján történő orientációt szokás *égi polarizációs iránytű*-nek nevezni.

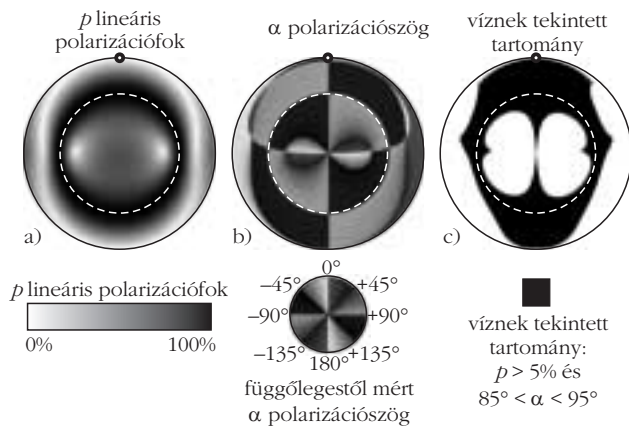
De nemcsak a levegőben vagy a szárazföldön tartózkodó állatok használhatják a fény lineáris polarizációját, hanem a levegő és a víz határán is jól jön bizonyos állatoknak a polarizációlátás. A vízirovarok (pl. vízibogarak, vízpoloskák) és vízhez kötődő rovarok (pl. szitakötők, kérészek és böglyök) a számukra, illetve lárváik számára életfontosságú víztesteket nem azok csillogása vagy színe alapján találják meg, hanem a vízfelületről visszavert vízszintes poláros fény érzékelése segítségével: e rovarok erősen vonzódnak a vízszintes poláros fényhez, (a jelenség neve: *pozitív polarotaxis*). Azt gondolhatnánk, hogy a vízfelszínről mindig vízszintes rezgésű fény verődik vissza. Ez azonban nincs így! A vízfelületről visszaverődő fény polarizációs sajátosságait a *Fresnel-féle képletek* írják le. Ezek szerint a vízszintes poláros fény nagyobb mértékben verődik vissza a vízfelületről, mint a függőlegesen poláros, egy kitüntetett beesési irányban, az úgynevezett *Brewster-szögben*⁸ pedig kizárólag vízszintes poláros fény tükröződik. Ebből következően, ha a vízből nem jön fény (ez a helyzet a sötét víztesteknél), akkor a vízről Brewster-szögben tükröződő fény teljesen lineárisan poláros lesz vízszintes rezgésűvel, ami vonzza a vizet kereső vízirovarokat. Ha a víz felületére az ég azon részeiről esik fény, ahol az égboltfény polarizációiránya függőleges vagy ahhoz közeli, akkor a vízről visszavert fény rezgésűje is függőleges vagy ahhoz közeli irányú lesz. Az ilyen fényt visszaverő vízfelszínhez már egyáltalán nem vonzódnak a vízirovarok. A vízfelszín polarizációs mintázatát tehát az égboltfénynek a Nap helyzetétől és a hullámhossztól függő, térben és időben változó lineáris polarizációja, valamint a vízfelszín Fresnel-képletekkel leírt polarizálóképessége bonyolult módon határozza meg. Ennek eredményeként a Nap állásának függvényében meglehetősen összetett tükröződési-polarizációs mintázat jellemző a sima vízfelszínre, amire egy példát az *5.a, b ábra* mutat. A vízirovarok a vízfelületnek csak azon részeit tekintik víznek, ahonnan a vízszinteshez közeli rezgésű fény verődik vissza, amelynek p lineáris polarizációfoka nem kisebb, mint a polarizációérzékelés p^* küszöbe (*5.c ábra*).

⁵ A Nap azimutja az a földfelszínnel párhuzamos, vízszintes irány, amely a földi megfigyelőtől a Nap felé mutat.

⁶ A szoláris meridián a képzeletbeli éggömbön azon függőleges síkú főkör negyed íve, mely a földi megfigyelő fölötti zenittől a Napon át a horizontig húzódik. Az antiszoláris meridián a szoláris meridiánnak a zenitre vonatkozó tükörképe.

⁷ *Augustin Fresnel* (1788–1827) francia fizikus. A Fresnel-képletek egyik formája két elektromos szigetelő közeg határfelületére merőleges, illetve azzal párhuzamos polarizációjú beeső fény elektromos térerősségvektorának a visszaverődés utáni megváltozását írják le a beesési szög és a közegek egymásra vonatkoztatott törésmutatója függvényében.

⁸ *David Brewster* (1781–1868) skót fizikus. Ha a fény Brewster-szögben esik a vízfelületre, akkor a visszavert és megtört fénysugarak egymásra merőlegesek. A levegő–víz határfelületre a Brewster-szög 36,5° a vízszinteshez képest.



5. ábra. Sima vízfelületről tükröződő poláros égboltfény lineáris polarizációfokának (a) és polarizációirányának (b) 180° látószögű mintázata naplementekor, ahol a körök középpontja a nadír (a zenit tükröképe), a kerülete pedig a horizont. A Napot egy fekete szegélyű fehér pont mutatja, a szaggatott kör pedig a Brewsterszögnek felel meg. A vízfelszín ezen tükröződési–polarizációs mintázatai fontos szerepet játszanak a vízirovarok vízkeresésében. E rovarok a vízfelületnek csak a c) ábrán feketével jelölt tartományát tekintik víznek.

Ha 180° látószögű képalkotó polarimetriával mérjük a vízfelületek tükröződési polarizációs mintázatát (5.a, b ábra) a Nap állásának függvényében, és meghatározzuk a vízfelület azon Q hányadát, amelyet a vízirovarok a polarizáció alapján víznek vélnek (5.c ábra), akkor kiderül, hogy úgy a sötét, mint a világos vizek esetén Q naplementekor és napkeltekor maximális, vagyis amikor a Nap a horizont közelében tartózkodik. A sötét vizeknél Q -nak délben ugyancsak maximuma van, azaz amikor a Nap horizonttól mért szögtávolsága a legnagyobb. Ebből kifolyólag a polarizáció alapján történő vízkeresés optimális időszaka alacsony napállás mellett van, míg a sötét vizeket a dél körüli magas napállások mellett is érdemes polarotaktikusan keresni. *Kriszka György, Csabai Zoltán és Boda Pál* biológus kollégáinkkal együtt kimutattuk, hogy ezen fizikai-optikai jóslatnak megfelelően a vízirovarok tényleg reggel és/vagy délben és/vagy este kelnek szárnyra, hogy új vizeket keressenek a kiszáradófélben lévő vagy táplálék-, illetve oxigénhiányos vagy túlszűfolt régi vizek helyett. E jelenséget nevezzük a vízirovarok *polarizációs napórájának*. Az evolúció során kifejlődött a vízirovarok azon képessége, hogy a polarizáció alapján többnyire akkor keresnek vizet, mikor az optikailag a leghatékonyabb, és mindezt a Nap állása szabályozza. A vízben tartózkodó vízirovarok nem érzékelhetik a levegő hőmérsékletét és páratartalmát, sem a szél sebességét, így ezek alapján képtelenek lennének megválasztani a vízkereső repülésükhöz megfelelő időszakot, mikor a léghőmérséklet, páratartalom és szélesség optimális. Viszont a Nap állása a fényintenzitás alapján észlelhető a vízben is, és ennek segítségével jól érzékelhető az optikailag ideális vízkeresési napszak eljövételének ideje. A vízirovarok polarizációs napórájában közvetve megint az égbolt polarizációs mintázata játszik fontos szerepet, hiszen az égboltfénynek a polarizációt módosító vízfelszíni tükröződése eredményezi azt a vízfelszíni polarizációs mintázatot, amelynek saját-

ságai határozzák meg az erősen és közel vízszintesen polarizáló vízfelület arányának maximumát, végső soron pedig a vízkeresésnek a *pozitív polarotaxis* jelenségének megfelelő optimális napszakát.

Ha a víz alá merülünk, polarimetriával ott is sajátos lineáris polarizációs mintázatokra bukkanunk. Izraeli tengerbiológusokkal (*Shai Sabbah, Nadav Shashbar*) együttműködve víz alá meríthető polariméterekkel igazoltuk, hogy a levegőnél közel 700-szor sűrűbb tengervízben a vízbeli igen erős fényszórás miatt hasonló E-vektor mintázat keletkezik, mint a légkörben (fölöttünk az égbolton és alattunk a légoceánban, mikor például hőlégballonnal lebegünk a levegőben), s a víz alatti E-vektor mintázat tükörszimmetria-síkja szintén a szoláris–antiszoláris meridián. A vízi állatok térbeli tájékozódásának viszonyítási iránya ugyancsak a szoláris meridián. A vízből nézve a Nap pontos helye sokszor még akkor sem állapítható meg, amikor az ég tiszta. A mozgó víz hullámokon történő fénytörés miatt a Nap pontszerű korongjának helye ugyanis véletlenszerűen ingadozik a víz alatti megfigyelő látóterében. A vízbeli E-vektor mintázat szimmetriatengelyének iránya ellenben viszonylag állandó, ami alkalmas a szoláris–antiszoláris meridián irányának megállapítására szinte bármilyen meteorológiai viszonyok között. Bizonyos halak és rákok vándorlásuk és úszkálásuk során a víz alatti polarizációs mintázatból kikövetkeztetett szoláris meridián irányára támaszkodva tájékozódnak, a szárazföldi állatokhoz hasonlóan. A polarizációlátású vízi állatoknak is van tehát egy sajátos „vízi polarizációs iránytűjük”.

Úgy foglalhatjuk össze a fentieket, hogy sok állat szemében az evolúció során részben azért fejlődtek ki „élő polariméterek”, hogy az optikai környezetet uraló égi, vízfelszíni és víz alatti, a szoláris meridiánra tükörszimmetrikus lineáris polarizációs mintázatokban rejlő „polarizációs iránytűt”, illetve „polarizációs napórát” térbeli tájékozódásra, illetve vízkeresésre tudják kiaknázni olyan meteorológiai viszonyok között, mikor a Nap nem látható. A polarizációlátás az állatvilág egyik legfontosabb „evolúciós találmánya”, a túlélés egyik kulcsa kedvezőtlen meteorológiai viszonyok közt. A polarizációlátás további szerepeivel az olvasó az ajánlott irodalomban ismerkedhet meg.

Az ember, felismerve, hogy a fény polarizációja a tudományban és a technikában szinte kifogyhatatlan információforrás, az agyában kigondolt polariméterek megépítésével pótolta a polarizációlátás hiányát.

Hegedüs Ramón, Horváth Gábor
 ELTE, Biológiai Fizika Tanszék,
 Biooptika Laboratórium

Irodalom

- G. Horváth, D. Varjú, *Polarized Light in Animal Vision – Polarization Patterns in Nature*. Springer-Verlag, Heidelberg – Berlin – New York (2003) p. 447
- A Biooptika Laboratórium <http://arago.elte.hu> honlapjáról számos magyar és angol nyelvű cikk tölthető le a polarizációlátás és a természet polarizációs mintázatai tárgykörökben.
- Härtlein K., A sarkított fénytől a Polaroid szemüvegig. *Fizikai Szemle* 56 (2006) 108