

fizikai szemle



2006/3

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

Megbízott szerkesztő:

Szabados László

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:

**Virágkarnevál Debrecenben, 2005-ben.
(Fotó: Härtlein Károly)**

TARTALOM

<i>Lovas István:</i> Milyen lenne a világ, ha a Planck-állandó zérus volna, a fénysebesség pedig végtelen?	73
<i>Bebesi Zsófia:</i> A Cassini-Huygens űrmisszió legújabb eredményei a Szaturnusznál	74
<i>Verő József:</i> Geomágneses pulzációk: hullámok a bolygóközi térből és a magnetoszférából	78
<i>Horváth Gábor, Subai Bence, Bernáth Balázs, Gericis Balázs, Csorba Gábor, Gasparik Mibály, Évinger Sándor, Pap Ildikó:</i> Milyen a teherbíró, de könnyű csöves csont szerkezete?	82
<i>Király Péter:</i> A Voyager-1 űrszonda kilépett a szuperszonikus napszélbuborékból	87
<i>Dombi Péter:</i> Optikai frekvenciametrológia, avagy mire jók a frekvenciafésűk?	91
<i>Biró Gábor:</i> Gábor Dénes és M. Zemplén Jolán 1961-es levélváltása	94
Szerzőink figyelmebe	108
A FIZIKA TANÍTÁSA	
<i>Nyerges Gyula:</i> Eratoszthenész-mérés	96
<i>Iffy Zátanyi Sándor:</i> Fizikás honlapjaim	98
HÍREK – ESEMÉNYEK	101
KÖNYVESPOLC	106
MINDENTUDÁS AZ ISKOLÁBAN	
A sarkított fénytől a Polaroid szemüvegig (<i>Härtlein Károly</i>)	108
<i>I. Lovas:</i> What would the world be like with Planck's constant zero and infinite speed of light?	
<i>Z. Bebesi:</i> The Cassini-Huygens space mission near Saturn: recent results	
<i>J. Verő:</i> Geomagnetic pulsations – waves from interplanetary space and from magnetosphere	
<i>G. Horváth, B. Subai, B. Bernáth, B. Gericis, G. Csorba, M. Gasparik, S. Évinger, I. Pap:</i> What tubular bone structure warrants strength and light weight alike?	
<i>P. Király:</i> Voyager-1 proceeds beyond supersonic solar wind bubble	
<i>P. Dombi:</i> Optical frequency metrology: what are frequency combs good for?	
<i>G. Biró:</i> D. Gábor and J.M. Zemplén's correspondence, 1961	
TEACHING PHYSICS	
<i>G. Nyerges:</i> Earth radius determination using Eratosthenes' method	
<i>S. Zátanyi Jr.:</i> My physical homepages	
EVENTS, BOOKS	
SCIENCE IN BITS FOR THE SCHOOL	
From polarized light to Polaroid goggles (<i>K. Härtlein</i>)	
<i>I. Lovas:</i> Eine Welt mit der Planckschen Konstanten Null und der Lichtgeschwindigkeit Unendlich	
<i>Z. Bebesi:</i> Neueste Ergebnisse der Weltraummission Cassini-Huygens am Planeten Saturn	
<i>J. Verő:</i> Geomagnetische Schwankungen – Wellen aus dem interplanetarischen Raum und aus der Magnetosphäre	
<i>G. Horváth, B. Subai, B. Bernáth, B. Gericis, G. Csorba, M. Gasparik, S. Évinger, I. Pap:</i> Welche Struktur von Röhrenknochen ermöglicht Tragkraft bei leichtem Gewicht?	
<i>P. Király:</i> Raumsonde Voyager-1 jetzt ausserhalb der supersonischen Sonnenwind-Blase	
<i>P. Dombi:</i> Optische Frequenzmessung: wozu dienen Frequenzkämme?	
<i>G. Biró:</i> Der Briefwechsel zwischen D. Gábor und J.M. Zemplén, 1961	
PHYSIKUNTERRICHT	
<i>G. Nyerges:</i> Bestimmung des Erdumfangs nach Eratosthenes' Methode	
<i>S. Zátanyi Jr.:</i> Meine physikalischen Webseiten	
EREIGNISSE, BÜCHER	
WISSENSWERTES FÜR DIE SCHULE	
Vom polarisierten Licht zur Polaroid-Brille (<i>K. Härtlein</i>)	
<i>И. Лобаив:</i> Какой была бы Вселенная при нулевой постоянной Планка и бесконечной скорости света?	
<i>Ж. Бебешин:</i> Новейшие результаты космической миссии Кассини-Гуйгенс вблизи планеты Сатурн	
<i>Й. Верё:</i> Геомагнитные пульсации – волны из межпланетного пространства и из магнетосферы	
<i>Г. Хорват и др.:</i> Какая оптимальная структура маловесовых, а сильных трубчатых костей?	
<i>П. Кирай:</i> Космическая сонда Вояджер-1 уже вне пузыря солнечного ветра	
<i>П. Домби:</i> Оптическая метрология частоты: польза частотных гребней	
<i>Т. Биро:</i> Переписка Д. Габора и Й.М. Земплена из 1961 г.	
ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКИ	
<i>Д. Нергеи:</i> Определение радиуса Земли методом Эратостенеса	
<i>Ш. Затони м.л.:</i> Мои веб-сайты по физике	
ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ, КНИГИ	
НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ ДЛЯ ШКОЛ	
От поляризованного света к очкам Поляроид (<i>К. Герп.леин</i>)	

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

LVI. évfolyam

3. szám

2006. március

MILYEN LENNE A VILÁG, HA A PLANCK-ÁLLANDÓ ZÉRUS VOLNA, A FÉNYSEBESSÉG PEDIG VÉGTELEN?

Lovas István
professor emeritus, Debrecen

Ezt a furcsának tűnő kérdést az indokolja, hogy *Albert Einstein* száz évvel ezelőtt publikált két olyan munkát, amelyek a fizikában a Planck-állandónak és a fénysebességnek különleges szerepet adtak. Többek között ez volt az oka annak, hogy a századik évfordulót a *Fizika Nemzetközi Éveként* ünnepeltük 2005-ben.

Mi történne, ha ezt a két állandót elkezdenénk folytonosan „hangolni”? Rövid töprengés után arra az eredményre jutunk, hogy nem történne semmi drámai. Amit kapnánk, az egy „elhangolt” világ leírását adná, amely csak kvantitatíven különbözne a mi világunktól, kvalitatíven alig. Sok olyan írás jelent meg az elmúlt száz év alatt, amelyek ilyen elhangolás segítségével próbálták emberileg közelebb hozni a kvantumelmélet és a speciális relativitáselmélet szokatlan következményeit. Itt most azt a kérdést tesszük fel, hogy mi történne, ha ezt az elhangolást ad abszurdum vinnénk. Más szóval azt kérdezzük, hogy mi történne, ha az emberi skálán mérve kicsiny Planck-állandót zérussal és a nagyon nagy fénysebességet végtelennel helyettesítenénk. Matematikailag fogalmazva, azt akarjuk megvizsgálni, hogy az elmélet értelmes paraméterei kompakt teret alkotnak-e, azaz, hogy a paramétertérhez hozzátartoznak-e a határpontok.

A címben megfogalmazott kérdésre a válasz a fizikatan könyvekből kiolvasható.

Nézzük előbb az egyrészecskes kvantummechanikát! A legtöbb tankönyv tartalmazza annak bizonyítását, hogy a $\hbar = 0$ esetben visszkapjuk a klasszikus mechanika Newton-féle elméletét. Ez pedagógiailag rendkívül fontos eredmény! Azt bizonyítja ugyanis, hogy a Newton-mechanika „jó”, nem kell elvetni! A kvantummechanika a klasszikus mechanikának csupán az érvényességi határát jelöli ki a mikrovilág irányában.

Nézzük ezután a relativisztikus mechanikát! A legtöbb tankönyv ugyancsak tartalmazza annak bizonyítását, hogy a $c = \infty$ esetben visszkapjuk a klasszikus mecha-

ka Newton-féle elméletét. Ez pedagógiailag ugyanolyan fontos eredmény, mint az előző! Arra világít rá, hogy a Newton-féle mechanika „jó”. Korrekcióra csak akkor szorul, ha a mozgás sebessége megközelíti a fénysebességet.

Az itt idézett két, széles körben ismert, pedagógiailag nagyon fontos tényt sokszor úgy értelmezik, hogy ha a Planck-állandó helyébe zérust, a fénysebesség helyébe viszont végtelent helyettesítenénk, akkor visszkapnánk azt az emberszabású „klasszikus világot”, amelyben mi, emberek otthon érezzük magunkat.

Ez azonban tévedés! Az alábbiakban ezt kívánjuk bebizonyítani.

Nézzük először a sokrészecskes kvantummechanikát. Közismert, hogy egy részecske x helykoordinátájához szükségképpen hozzátartozik egy Δx helybizonytalanság, és hasonlóképpen a p_x impulzuskomponenshez egy Δp_x impulzusbizonytalanság. A kvantummechanika egyik alaptörvénye kimondja, hogy a két bizonytalanságra érvényes a

$$\Delta x \Delta p_x \geq \hbar/2$$

Heisenberg-féle bizonytalansági reláció. Hasonló relációk érvényesek az y és a z komponensekre is.

Egy részecske állapota jól meghatározott (azaz jobban már nem tudjuk meghatározni), ha mindhárom relációban az egyenlőséggel érvényes. Szorozzuk össze a három egyenletet:

$$\Delta x \Delta y \Delta z \Delta p_x \Delta p_y \Delta p_z = (\hbar/2)^3.$$

Innen leolvashatjuk, hogy egy szabad részecske állapota akkor van jól meghatározva a kvantummechanikában, ha a hatdimenziós fázistérben éppen egy $(\hbar/2)^3$ térfogatú tartományban helyezkedik el. Ha a szóban forgó részecske $1/2$ spinű fermion, akkor érvényes rá a Pauli-féle kizárási elv, amely kimondja, hogy egy jól definiált kvan-

tumállapotban legfeljebb egy részecske foglalhat helyet. Az $\frac{1}{2}$ spinű részecskének összesen 2 különböző spinállapota van. N darab fermion esetén tehát fennáll az

$$N \leq 2 V V_p / (\hbar/2)^3$$

egyenlőtlenség, ahol a térbeli térfogatot V -vel, az impulzustérbeli térfogatot V_p -vel jelöltük. Ez az egyenlőtlenség azt fejezi ki, hogy a részecskék száma nem haladhatja meg a lehetséges kvantumállapotok számát. Tegyük fel, hogy a részecske-rendszer (kinetikus) energiája korlátos. Ekkor az impulzustérfogata is korlátos. Ha növeljük a részecskék N számát, akkor szükségszerű, hogy növekedjen a rendszer V térfogata. Ezt minden kőműves tudja: „Ha több téglát építek be, akkor nagyobb falai lesznek a háznak.”

Ez a gondolatmenet végigkövethető kötött sokrészecske-rendszerek (molekulák, atomok, atommagok stb.) esetén is, amelyeknél az egyes részecskék diszkrét kvantumállapotokat foglalnak el. Az eredmény természetesen ugyanaz.

Ezek után feltehetjük a kérdést: mi történik, ha \hbar helyébe zérust helyettesítünk? A választ az utolsó képletből olvashatjuk le. Tetszőlegesen kicsiny V térfogatban tet-

szőlegesen nagy N számú részecske „fér el”. Ez azt jelenti, hogy a fermionok elveszítik az építőköz szerepet. Nem lehet belőlük sem molekulát, sem atomot, sem atommagot építeni, következésképpen Déva várát sem. A részecskékből nem lehet térbeli struktúrát létrehozni.

Nézzük most az elektrodinamikát! Amint az közismert, a *Maxwell* által megfogalmazott „klasszikus” elektrodinamika azonos a relativisztikus elektrodinamikával. Elég tehát a Maxwell-egyenletekre hivatkozni. Ha c helyébe végtelent helyettesítünk, akkor az elektrodinamika egyenletei szétesnek az elektrosztatika és a magnetosztatika független egyenleteire. Ezeknek az egyenleteknek nincsenek időfüggő megoldásai. Ezek szerint az eseményeket, ha eseményekről egyáltalán lehetne beszélni, nem lehet idő szerint rendezni. Közérthetően fogalmazva: nincs történelem.

Összefoglalva megállapíthatjuk tehát, hogy, ha \hbar zérus lenne c pedig végtelen, akkor struktúra nem jöhetne létre sem térben, sem időben. Az ilyen világ tehát nem lenne az az emberszabású Világ, amelyben azért vagyunk, „hogy valahol otthon legyünk”, ahogy azt *Tamási Áron* mondta.

Kelt Debrecenben, a *Fizika Nemzetközi Évének* végén.

A CASSINI–HUYGENS ŪRMISSZIÓ LEGÚJABB EREDMÉNYEI A SZATURNUSZNÁL

Bebesi Zsófia
MTA KFKI RMKI

Az amerikai (NASA, *National Aeronautics and Space Administration*), az európai (ESA, *European Space Agency*), valamint az olasz (ASI, *Agenzia Spaziale Italiana*) űrügynökség által létrehozott Cassini–Huygens szondapár 2004. július elsején pályára állt a Naprendszer második legnagyobb bolygója, a Szaturnusz körül. A Cassini keringő egység a tervek szerint 4 évig kering a Szaturnusz körül, hogy ott minden korábrinál részletesebb tudományos vizsgálatokat végezzen. A Huygens leszállóegység 2005. január 14-én sikerrel landolt a bolygó legnagyobb holdja, a Titán felszínén.

A szondapár 1997. október 15-én indult útjára a Szaturnuszhoz. Az űrmisszió megtervezésében és megépítésében összesen 17 ország¹ vett részt, köztük hazánk is. Magyarország képviseletében az MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézetének munkatársai a Cassini fedélzeti műszerei közül a plazmaspektrométerhez (CAPS), valamint a magnetométerhez (MAG) készítették földi ellenőrző berendezéseket, szoftvereket és kalibráló berendezéseket, így ezen műszerek tudományos adataival kutatócsoportunk is dolgozhat.

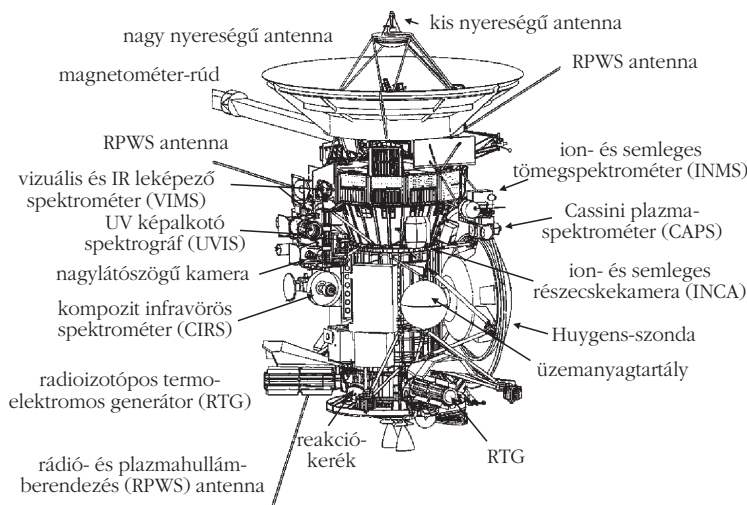
¹ A Cassini–Huygens űrmisszió létrehozásában közreműködő országok: Amerikai Egyesült Államok, Franciaország, Németország, Olaszország, Anglia, Hollandia, Ausztria, Finnország, Norvégia, Svédország, Magyarország, Írország, Spanyolország, Csehország, Svájc, Dánia és Belgium.

A Cassini–Huygens szondapár fedélzeti műszerei

A Cassini–Huygens minden idők legjobban felszerelt űreszköze, melyet összesen 27 különféle tudományos vizsgálat elvégzésére terveztek [1]. A Cassini keringő egység fedélzetén 12, a Huygens leszállóegységen pedig 6 tudományos műszert helyeztek el.

A Cassini fedélzeti műszerei (1. ábra) két nagyobb csoportba sorolhatók: ezek a távérzékelők, valamint a helyben mérő (*in situ*) tér- és részecske-detektorok. A távérzékelők közé tartoznak az optikai (képalkotó alrendszer; 380–1100 nm), az ultraibolya (UVIS; 55–190 nm), valamint az infravörös (CIRS; 7–1000 μ m) kamerák és spektrométerek. A napszél, valamint a Szaturnusz mágneses terében áramló töltött részecskék irány- és energiaeloszlását leképező magnetosferikus képalkotó berendezés (MIMI; 15 keV – 130 MeV) és tömegspektrométerek (CAPS; 1 eV – 50 keV, INMS; 0,01–100 eV) mérik. A fedélzetén egy kozmikus poranalizátor is található, mely a Szaturnusz környezetében (elsősorban a gyűrűrendszerben és a holdak közelében) fellelhető porszemcsék mennyiségét és összetételét elemzi.

A Huygens leszállóegységen helyet kapott egy atmosféra-elemző berendezés, egy aeroszolgyűjtő és -párolgató, egy gázkromatográf és tömegspektrométer műszer, egy szélességmérő, egy képalkotó és spektrális sugár-



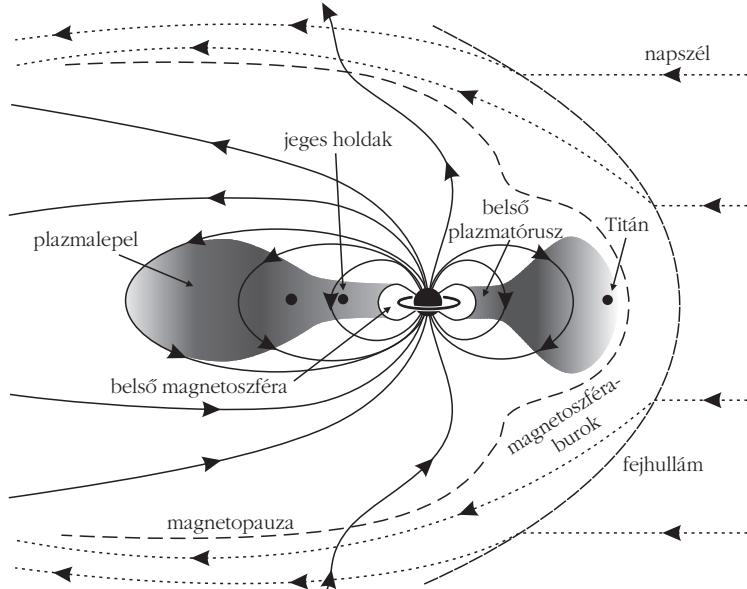
1. ábra. A Cassini űrszonda fedélzeti műszerei.

zasmérő, valamint egy felszínelemző tudományos csomag. Átfogó vizsgálatra van tehát lehetőség a Titán atmoszférájában, felhőrendszerében, valamint talaján.

A Cassini–Huygens űrszondapár alapvetően négyféle tudományos céllal érkezett a Szaturnuszhoz. 1) a bolygó és gyűrűrendszerének, 2) a magnetoszféra folyamatainak, 3) a jeges holdaknak, valamint 4) a Titán hold környezetének, atmoszférájának és felszínének vizsgálatára. A Cassini keringő egység 2004 és 2008 között 74-szer kerüli meg a Szaturnuszt, melynek során 45 alkalommal közelíti meg a Titánt, valamint nyolc alkalommal repül el 6 másik jeges hold közvetlen közelében. A keringés során az űrszonda pályájának inklinációja változatos szögértékeket vesz fel, végül poláris pályák is sorra kerülnek majd.

Korábban a Szaturnusznál három alkalommal járt űrszonda (1979 – *Pioneer 11*, 1980 – *Voyager 1*, 1981 – *Voyager 2*), azonban ezek nem végeztek hosszú távú méréseket a Szaturnusznál, mindössze elrepültek a bolygó mellett a külső Naprendszer felé tartó útjuk során. A Cassini

2. ábra. A Szaturnusz magnetoszférájának sematikus ábrázolása.



űrszonda fedélzeti műszerei ezen szondák detektorainak érzékenységét és felbontóképességét többszörösen túlszárnyalják, így minden korábbinál jobb minőségű adatokhoz jutunk a Szaturnusz és holdjainak rendszeréről.

Az alábbiakban az eddig született legfontosabb, új eredmények közül ismertettünk néhányat.

A magnetosferikus plazma összetétele és dinamikája

A Naphól érkező töltött részecskék – azaz a napszél – szuperszonikus áramlásával szemben a bolygó saját mágneses tere hatására kialakult magnetoszféra akadályt képez. Magnetoszférának azt a tartományt nevezzük, ahol a bolygó mágneses tere jelentősebb, mint „külső”, interplanetáris tér. Azt a nyomásegyensúlyi felületet, mely elválasztja a napszelet a bolygó mágneses terétől, magnetopauzának nevezzük (2. ábra). A magnetopauza Nap felé eső oldalán egy lökéshullám (fejhullám) alakul ki, mely elhajlítja a napszél áramlását, hogy az megkerülhesse a magnetopauzát. A lökéshullám és a magnetopauza helyzetét és állapotát a napszél dinamikus nyomása és a magnetoszféra mágneses nyomása határozza meg, ezért ezek a felületek állandó mozgásban vannak.

A Szaturnusz magnetoszférája (2. ábra) 20–25 R_S (ahol $R_S = 60\,268$ km a Szaturnusz sugara) távolságra terjed ki a Nap felé, mely magában foglalja a bolygó gyűrűit és számos holdját. A bolygó fő gyűrűinek (A, B, C, D) szélei (~3–9 R_S) között kering néhány jeges hold (Mimas, Enceladus, Tethys, Rhea), a Titán pedig éppen a magnetoszféra határán, 20,5 R_S sugarú pályán mozog. A magnetoszféra belsejében jelentős plazmaforrások találhatók (a gyűrűk, a jeges holdak és a Titán), melyek nagy mennyiségű nehéz iont juttatnak a magnetoszférába. A Szaturnusz gyorsabban forog a Földnél ($P_S = 10,65$ h), így a mágneses térrel együtt forgó (korotáló) plazma is gyorsan áramlik a magnetoszférában.

A Szaturnusz magnetoszférája (2. ábra) 20–25 R_S (ahol $R_S = 60\,268$ km a Szaturnusz sugara) távolságra terjed ki a Nap felé, mely magában foglalja a bolygó gyűrűit és számos holdját. A bolygó fő gyűrűinek (A, B, C, D) szélei (~3–9 R_S) között kering néhány jeges hold (Mimas, Enceladus, Tethys, Rhea), a Titán pedig éppen a magnetoszféra határán, 20,5 R_S sugarú pályán mozog. A magnetoszféra belsejében jelentős plazmaforrások találhatók (a gyűrűk, a jeges holdak és a Titán), melyek nagy mennyiségű nehéz iont juttatnak a magnetoszférába. A Szaturnusz gyorsabban forog a Földnél ($P_S = 10,65$ h), így a mágneses térrel együtt forgó (korotáló) plazma is gyorsan áramlik a magnetoszférában.

A Cassini plazmaműszerei [2] és a magnetométer [3] a Szaturnusz megközelítése során összesen 7 lökéshullám-áthaladást detektáltak (2004. június 27–28; 49,15–40,5 R_S), ami igen dinamikus magnetoszférára utal. A magnetopauzán ezt követően összesen 11 alkalommal (34,6–30,6 R_S) haladt át az űrszonda [4, 2]. Mindezek azt is mutatják, hogy a bolygó magnetoszférája a Cassini méréseinek idején sokkal kiterjedtebb volt, mint ahogy azt 25 évvel ezelőtt a Voyager szondák észlelték.

A plazmaspektrométer mérései alapján a magnetoszférabeli plazma általánosan tekintve főleg hidrogénből (H^+ , H_2^+), valamint a vízcsoport elemeinek (OH^+ , H_2O^+ , H_3O^+ , O^+ , O_2^+) összetett keverékéből (általános jelölés: W^+) áll [2]. A plazma áramlási sajátosságai és ionösszetétele szerint azonban a magnetoszféra négy további tartományra osztható. 1) A Szaturnusz-

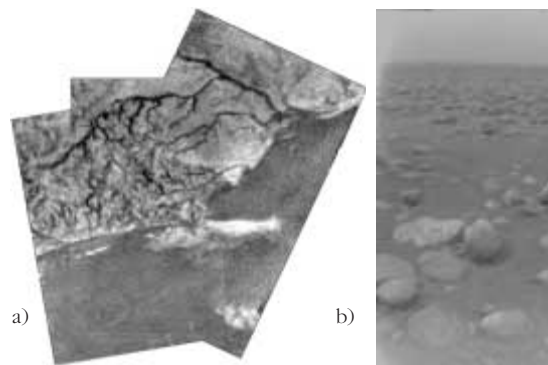
tól 9 R_S -nál távolabb a plazma főleg protonokból áll, mely forró, híg közeget alkot. 2) A Szaturnuszhoz közeledve (a külső plazmaszférában) változékony és részben korotáló plazmát észleltek a műszerek, melyet protonok, O^+ ionok, valamint a vízcsoport elemei alkotnak. 3) A belső plazmaszféra kevésbé változó, és a külsőnél merevebben korotál a mágneses térrel; fő alkotóelemei az O^+ és W^+ ionok. Ez a tartomány azonosítható az E gyűrűvel ($\sim 3\text{--}8 R_S$) is, melynek környezete vízgőzben gazdag. 4) A belső plazmaréteg (főként O^+ és O_2^+ ionokból áll) az A és a B gyűrűk fölötti tartomány, mely egyfajta *gyűrű-atmoszférának* is tekinthető. Az O_2^+ (mely valószínűleg a vízgőz sugárzás által indukált dekompozíciójából származik) dominanciája itt arra utal, hogy a gyűrűk fölötti réteg molekuláris oxigénből áll.

A magnetoszféra domináns ionösszetevője tehát – a várakozásokkal ellentétben – az O^+ ion. Korábban a N^+ iont vélték a Szaturnusz magnetoszférája leggyakoribb elemének, például a fontos ionforrásként számoltartott Titán hold atmoszférája is főleg N_2 -ből áll. A Voyager űrszondák plazmadetektorai még nem tudták elkülöníteni a nitrogént a vízcsoport elemeitől. Az azonban továbbra is kérdéses tehát, hogy a nitrogén csekély mennyisége a Titán-atmoszféra alacsony hatásfokú szökési folyamatainak köszönhető-e, vagy létezik egy olyan mechanizmus a magnetoszféra eddig vizsgált tartományaiban, mely viszonylag gyorsan elszállítja a kilépő nitrogénionokat.

A Szaturnusz holdjai – leszállás a Titánra

A Szaturnusz legnagyobb holdját, a Titánt már régóta nagyfokú érdeklődés és misztérium övezte bolygónyi mérete és vastag, a felszín teljesen eltakaró felhőrétege miatt. A Voyager 1 űrszonda méréseiből ráadásul kiderült, hogy a hold atmoszféráját (Földünkéhez hasonlóan) főként nitrogén alkotja. A Cassini–Huygens űrmisszió egyik legsarkalatosabb pontját a Huygens leszállóegység küldetése jelentette. A Huygens 2005. január 14-én sikerrel landolt a Titán felszínén, végrehajtva ezzel az eddigi legtávolabbi, ember által irányított landolást. A szonda 9:45-kor (UTC) lépett be az atmoszférába, ereszkedését ezt követően ejtőernyők fékeztek és koordinálták, majd 11:38-kor (UTC) a Huygens elérte a hold felszínét [5]. Ezalatt műszerei folyamatosan monitorozták az atmoszféra összetételét, a szélsőségeit, illetve több száz felvétel készült a felszínről is (3.a–b ábra) [6, 7].

A Titánnak nincs saját mágneses tere, és mivel a Szaturnusz magnetoszférájának határán kering, atmoszféráját közvetlenül bombázzák a magnetoszféra töltött részecskéi, valamint a Napból érkező UV-fotonok. A bejövő plazmaáram tulajdonságai az ionizációs folyamatok szempontjából döntő fontosságúak, mivel megszabják a szerves molekulák kialakulását és kémiáját a Titán atmoszférájában. Ezek a szénhidrogének végül esők formájában lecsapódhatnak a felszínen – innen eredt az az elképzelés, mely szerint a Titán vastag felhői alatt esetleg metánt és egyéb vegyületeket folyékony állapotában tartalmazó tengerek hullámozhatnak. A Huygens szonda adatai ezt nem

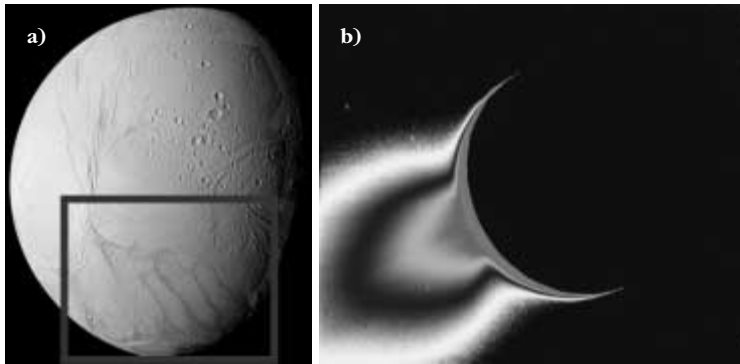


3. ábra. (a) A Huygens szonda képalkotó és spektrális sugázmérő (DISR) berendezése által, néhány km-es magasságban készített mozaikfelvétel a Titán felszínéről. (b) A Huygens leszállóhelyén kavics méretű jégdarabok borítják a felszín, melyek lekerekített alakja eróziós folyamatokra utal.

támasztják alá, azonban vannak arra utaló jelek, hogy időről időre csapadék áztatja a Titán felszínét, mely a földi folyókhoz hasonló módon medreket váj a talajba, és az alacsonyabban fekvő területek felé áramlik (3.a ábra). A Titán kémiai folyamatainak körforgásában (például a felhőképződésben és a csapadék kialakulásában) feltehetőleg a metán játssza a földi vízgőzhez hasonló szerepet. A Földön a metán gyűlékony gáznak számít, a Titánon azonban a nagy nyomás és a 170 °C alatti hideg miatt folyékony állapotba kerülhet. A kutatók lenyűgözőnek találták, hogy a távoli hold atmoszférájában és felszínén lejátszódó folyamatok (eltekintve attól, hogy a részt vevő anyagok valamelyest eltérőek) mennyire hasonlatosak a földiekhez. Az atmoszféra és a felszín további elemzéséből az is kiderült, hogy a Titán felszínén vulkanikus aktivitás is zajlik, amelynek során azonban nem láva, hanem vízgőz és ammónia tör fel.

A Titán atmoszférájának magas nitrogéntartalma és általánosságban a szerves vegyületek nagy koncentrációja [8, 9] miatt a kutatók feltételezik, hogy a Titán kémiai szempontból leginkább a korai, még az élet kialakulása előtti Földhöz hasonlít. Vannak azonban olyan tényezők, melyek alapvetően kizárják az általunk ismert létformák számára az élet lehetőségét a Titán felszínén. Ezek közé tartozik a Titán jelenlegi rendkívül alacsony, átlagosan mintegy -180 °C -os felszíni hőmérséklete, a folyékony víz, valamint a szabad oxigén hiánya. A felszín közelében a nyomás igen nagy, a Földön mért nyomás mintegy másfélszerese [10]. A Titán felszínére a földfelszín elérő napfénynek csak az ezredrésze jut részben a Naptól mért nagy távolság, részben pedig a vastag atmoszféra miatt. A földi légkört jelentősen megváltoztatta az élet megjelenése, ezért a Titán atmoszféráját tanulmányozva azt reméljük, hogy megérthetjük, milyen lehetett Földünk légköre még a biológiai aktivitás megjelenése előtt.

Az apró Enceladus – sugara 505 km – (4.a ábra) még a Voyager 2 űrszonda 1981-es látogatása alkalmával hívta fel magára a kutatók figyelmét, mivel felszínén – kis mérete ellenére – komolyabb aktivitásra utaló, fiatal képződményeket és anyaglerakódást fedeztek fel [7]. Az Enceladus mindezek mellett a Szaturnusz ritka E gyűrűjének legsűrűbb tartományában kering, feltételezhető

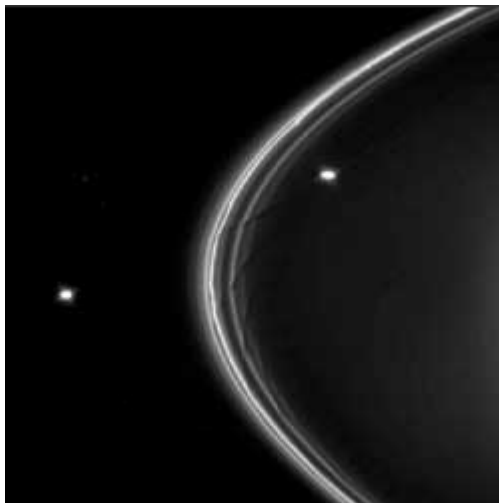


4. ábra. (a) Az Enceladus a Cassini felvételén – a bekeretezett tartományban láthatók az úgynevezett „tigriscsíkok”. (b) Anyagkiáramlás az Enceladusról (a felvétel ellenfényben készült). Forrás: NASA.

tehát, hogy az E gyűrű anyaga is nagyrészt erről a holdról származik. A hold észlelt aktivitása arra utal, hogy az Enceladus felszíne alatt létezik egy belső hőforrás, melynek működése leginkább az árapály-folyamatokra vezethető vissza.

A Voyager felvételein látott fiatal területek korát akkor nagyságrendileg 100 millió évre becsülték, a Cassini észlelései szerint azonban a déli pólus környékén napjainkban is tart az anyagkiáramlás (4.b ábra). Ebben a régióban a környezetüknél mintegy 20 fokkal melegebb (~-182 °C) törésvonalak (ún. „tigriscsíkok”) húzódnak, melyek mentén vízmolekulák, jég szemcsék, valamint nyomokban nitrogén, szén-dioxid és egyéb vegyületek (metán, etán és etilén) jutnak a felszínre. Az ott lerakódott jég kristályszerkezetét a sugárzás az idők során fokozatosan szétroncsolja, így a kristályosodottsági állapotból a hasadékok kora is meghatározható. Ennek vizsgálatából kiderült, hogy a törésvonalak nem egészen 1000 évesek lehetnek. A déli pólus környékén kiáramló, akár lokális atmoszférának is tekinthető anyag eloszlását és összetételét a Cassini ultraibolya képalkotó spektrográfiával (UVIS) a Bellatrix csillag fedése alkalmával (2005. július 11.) is vizsgálták, és a csillagfény spektrumának abszorpciójából kimutatták a víz jelenlétét. Mivel a ki-

5. ábra. A Prometheus terelőholdnak az F gyűrű szerkezetére gyakorolt gravitációs perturbáló hatása a Cassini felvételén. A gyűrű külső oldalán a másik terelőhold, a Pandora látható (2004. április 13.). Forrás: NASA.



áramló anyagot főleg víz alkotja, elképzelhető, hogy az Enceladus felszíne alatt bizonyos mennyiségű folyékony víz is lehet – mint ahogy azt a Jupiter Europa nevű holdjának esetében is feltételezik. Az Enceladus esetében azonban ez a felszín alatti vízkészlet valószínűleg csak kis területekre koncentrálódik.

Új eredmények a gyűrűrendszerrel

A Cassini képalkotó alrendszere minden korábbinál jobb felbontású felvételeket készített a gyűrűrendszerrel [11], melyek némelyikén új holdak is feltűntek, valamint nagy részletességgel tárult fel a holdak és a gyűrűrészcskék közötti kölcsönhatások széles skálája. A Cassini mérései révén a már ismert holdak pályaelemeit is pontosítani lehet, valamint kölcsönhatásaikból és látszó fényességükből a tömegük és a méretük is pontosabban meghatározható. Mindezeket túl a Cassini négyéves keringése során a gyűrűrendszer időbeli fejlődését is figyelemmel kísérhetjük.

A képalkotó rendszer vizsgálatai nyomán 2004 júniusában a Mimas (pályasugár: $r = 3,08 R_S$) és az Enceladus ($r = 3,95 R_S$) holdak közötti tartományban két (S/2004 S1, S/2004 S2; ideiglenesen Methone, illetve Pallene elnevezésű), októberben pedig – a Dione hold követő pályáján – egy harmadik (S/2004 S5; ideiglenesen a Polydeuces névvel) új objektumot fedeztek fel. A Szaturnusz F gyűrűjének közelében is találtak új holdakat (S/2004 S3, S/2004 S4 és S/2004 S6), ezekkel kapcsolatosan azonban még nem teljesen tisztázott, hogy valódi holdakról, vagy csak anyagcsomókról van-e szó.

Az F gyűrűvel kapcsolatosan – melynek különleges, szálas szerkezete már a Voyager szondák felvételein is kitűnt – további érdekes eredmények is születtek. Az 5. ábrán – mely a gyűrű–hold kölcsönhatások egyik érdekes megnyilvánulása – az F gyűrű és két terelőholdja, a Prometheus ($145 \times 85 \times 62$ km; $r = 2,28 R_S$; $P = 0,61$ nap), és a Pandora ($114 \times 84 \times 62$ km; $r = 2,35 R_S$; $P = 0,63$ nap) látható a Cassini felvételén.

Nemrégiben derült fény arra, hogy az F-gyűrű peremén megfigyelhető sötét fodrozódást a Prometheus gravitációs perturbáló hatása okozza [7]. A Prometheus az F gyűrű belső (azaz a Szaturnuszhoz közelebb eső) oldalán kering, ezért a gyűrűrészcskéknél gyorsabban mozog. A hold az apoapszis idején (ekkor éri el pályájának a Szaturnusztól mért legtávolabbi pontját) kerül legközelebb a gyűrűhöz, ekkor gyakorolja a legnagyobb gravitációs hatást a gyűrűszemcsékre. Azok a részecskék, melyek közvetlenül az apoapszis előtt kerülnek a Prometheus közelébe, visszafelé húzó hatást érzékelnek, míg az apoapszis után ez a hatás előrefelé mozdítja a részecskéket, ezáltal hasadék keletkezik a gyűrűben. Mivel holdhoz a tömegvonzás miatt közelebb került részecskék az F gyűrű környezetében lévő szemcséknél immár gyorsabban keringenek, a gyűrűben átlós fodrok jönnek létre kialakítva ezzel a már korábban is észlelt különleges szerkezetet.

A Cassini űrszonda a tervek szerint 2008-ig kering majd a Szaturnusz körül, addig is folyamatosan értékes ismeretekkel gazdagítja tudástárunkat Naprendszerünk második legnagyobb bolygójáról és annak egyedülálló, dinamikus környezetéről.

Irodalom

1. *Passage to a Ringed World, The Cassini-Huygens Mission to Saturn and Titan* – szerkesztette L.J. Spilker, NASA SP-533 (1997)
2. D.T. YOUNG ET AL.: *Composition and Dynamics of Plasma in Saturn's Magnetosphere* – Science 307(2005) 1262
3. M.K. DOUGHERTY ET AL.: *Cassini Magnetometer Observations During Saturn Orbit Insertion* – Science 307(2005) 1266
4. T.I. GOMBOSI, K.C. HANSEN: *Saturn's Variable Magnetosphere* – Science 307(2005) 1224
5. J.-P. LEBRETON ET AL.: *An overview of the descent and landing of the Huygens probe on Titan* – Nature 438(2005) 758
6. A Cassini-Huygens hivatalos weboldala az ESA-nál: www.esa.int/SPECIALS/Cassini-Huygens
7. A Cassini-Huygens hivatalos weboldala a NASA-nál: saturn.jpl.nasa.gov
8. G. ISRAËL ET AL.: *Complex organic matter in Titan's atmospheric aerosols from in situ pyrolysis and analysis* – Nature 438(2005) 796
9. H.B. NIEMANN ET AL.: *The abundances of constituents of Titan's atmosphere from the GCMS instrument on the Huygens probe* – Nature 438(2005) 779
10. M. FULCHIGNONI ET AL.: *In situ measurements of the physical characteristics of Titan's environment* – Nature 438(2005) 785
11. C.C. PORCO ET AL.: *Cassini Imaging Science: Initial Results on Saturn's Rings and Small Satellites* – Science 307(2005) 1226

GEOMÁGNESES PULZÁCIÓK: HULLÁMOK A BOLYGÓKÖZI TÉRBŐL ÉS A MAGNETOSZFÉRÁBÓL

Verő József

MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, Sopron

A *geomágneses pulzációkat*¹ Lamont francia-skót-bajor csillagász fedezte fel az 1840-es években. Azt vette észre, hogy kis mágnesei néha nem saját periódusukkal lengenek, hanem 20 s körüli periódussal. Később ugyanő a *földi áramokban*² is talált hasonló periódusú változásokat. A felfedezésnek nem volt visszhangja, csak akkor nőtt a jelenség iránti érdeklődés, amikor a 20. század elején a holland *van Bemmelen* Batáviában (ma Dzsakarta) és a Peking melletti Zi-ka-weiben, *Angenheister* pedig az akkor német Nyugat-Szamoá szigetén, Apiában és a német Fürstenfeldbruck állomáson egyszerre észlelte őket. Ezzel bebizonyosodott, hogy a pulzációk nem elektromosan töltött levegő mozgásából, hanem egészen más, nagyméretű forrásból származnak.

Amikor jórészt a Franciaországban élő magyar származású *Kunetz Géza* kezdeményezésére a pulzációkat alkalmazni kezdték a negyvenes években, nagy mennyiségű mérési anyag gyűlt össze. Ezek nyomán kiderült, hogy a nappali, a mai nomenklatúra szerint Pc3-nak nevezett pulzációk periódusa változik a földrajzi szélességgel, pontosabban az *L*-értékkel, ami a mérési helyen áthaladó geomágneses erővonal és az Egyenlítő síkjának metszéspontjáig terjedő távolság a Föld középpontjától számítva, földugárban mérve. Nálunk az *L* értéke 2 körül van. Itt a periódus 20–25 s, Stockholm környékén, *L* = 3,3-nál 50–65 s, L'Aquilában, Rómától keletre 14 s körüli (*L* itt 1,5). A változás tehát jelentős.

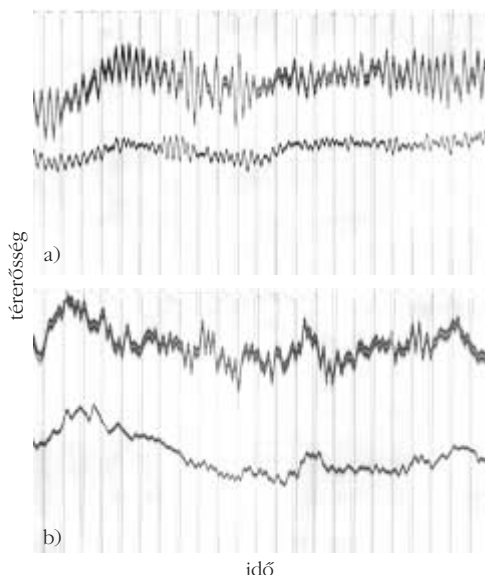
Még alig volt ismert ez a szélességgel való periódusváltozás, amikor az angol *Dungey*, aki egyebek között a bolygóközi mágnes tér és a geomágneses tér erővonalainak összekapcsolódása, átkötődése elméletével megadta a napszél energiájának a magnetoszférába való bejutására vonatkozó, ma is érvényes modelljét, elméletet alkotott e szélességfüggés magyarázatára. Eszerint az erővonalak mentén *magnetohidrodinamikai (Alfvén-)* hullámok³ terjednek az erővonal két, az ionoszférában lévő végpontja között. A két végpont közötti futási idő kétszerese az erővonal menti rezonancia (FLR, field line resonance) periódusa. (Az erővonalak a nagyobb részecskesűrűség miatt elvesztik a hozzájuk kötött részecskéket az ionoszférában, a hullámok és részecskék pedig az erővonalak összetartása miatt visszafordulnak, tükröződnek az erővonalak „vége” felé haladva.) Ez a futási idő függ az erővonal hosszától – innen az *L*-értéktől való függés –, valamint a részecskesűrűségtől, elsősorban az egyenlítői sík környezetében. Mivel az Alfvén-sebesség fordítva arányos a részecskesűrűség négyzetgyökével, az FLR-periódus nagyobb részecskesűrűség esetén hosszabb, kisebb részecskesűrűség esetében rövidebb. Emiatt egy mérőhelyen is változhat az FLR-periódus. A sebesség képletében szintén szereplő mágneses térerősség időben állandónak tekinthető.

Az aktív űrkutatás megindulásával egyre változatosabb és részletesebb adatok váltak ismertté a bolygóközi térről. Ezek felhasználásával kezdték keresni az FLR gerjesztésének energiaforrását, hiszen erről *Dungey* modellje semmit sem mondott. Hamarosan kiderült,

¹ *geomágneses pulzációk*: A geomágneses térben fellépő, 1–600 s periódusú sokféle jel gyűjtőneve. A tanulmányban a 15–45 s periódusú szabályosan szinuszos nappali Pc3 nevű pulzációkról esik szó.

² *földi áramok*: A geomágneses tér változásai által a földkéregben indukált áramok.

³ *magnetohidrodinamikai (Alfvén-) hullámok*: Plazmában terjedő hullámok, amelyek sebessége a mágneses tér erősségétől és részecskesűrűségtől függ. Több típusuk létezik.



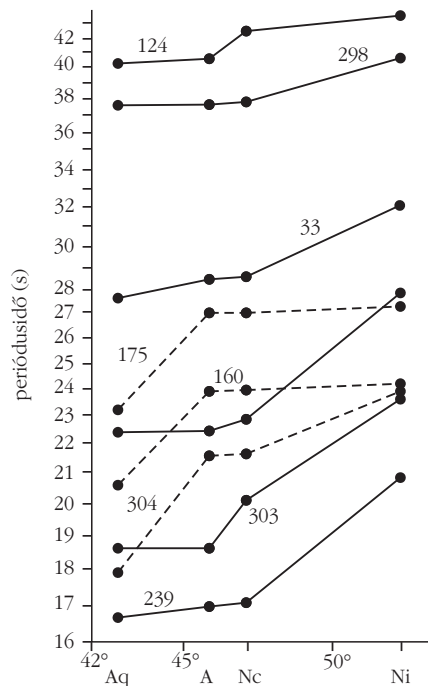
1. ábra. Jellegzetes FLR (a) és UW (b) típusú pulzációk a nagyecenki földi áram regisztrátumokon. Percés időjelek, az egyvonalas jel az É-D-i, a kétvonalas a K-Ny-i komponens. A jelek nagysága néhány mV/km. 1973 júliusi regisztrátumok.

hogy elég szoros kapcsolat van a napszél sebessége és a pulzációk amplitúdója között, ami nem is volt meglepő. Viszont annál váratlanabb kapcsolat mutatkozott a bolygóközi mágnes tér erőssége és a pulzációk periódusa között a $T(s) = 170/B(nT)$ képlet szerint, ahol T a periódus, B a bolygóközi mágnes tér (IMF, interplanetary magnetic field) tér erőssége, valamint a Nap–Föld irány és a bolygóközi mágnes tér közötti úgynevezett kúpszög és a pulzációk amplitúdója között. Ezeknek a kapcsolatoknak más magyarázata nem lehet, mint az, hogy a pulzációk a bolygóközi térben, a magnetoszféra határától, a magnetopauzától a Nap felé keletkeznek (upstream waves, UW). Az UW- és az FLR-típusra mutat egy-egy példát az 1. ábra.

Az űrkutatás egyre alaposabb mérésekkel in situ, a magnetoszféra előtt meg is találta az UW-t. Ezek a magnetopauzáról visszaforduló részecskék és a szembe áramló napszél közötti kölcsönhatás eredményeként jönnek létre, ion-ciklotron instabilitás révén. A folyamat elég bonyolult, a részecskék nem egyszerűen visszaverődnek, hanem energiát is nyernek. A Föld felé haladó, *anomális Doppler-eltolódott*⁴ hullám periódusa valóban a mágnes tér erősségétől függ. Van olyan feltevés is, hogy a periódus képletében szerepel az áramlás, a napszél sebessége is. A megfigyeléseket az így kapott képlet jobban közelíti, mint az egyszerűbb fordított arányosság a periódus és a tér erősség között. A magnetoszféránál megjelenő UW 3–4 perc alatt ér el a Föld felszínére.

Így az a furcsa helyzet alakult ki, hogy a pulzációk periódusát két tényezőtől is eredeztették: az L -értéktől és az IMF tér erősségétől. Két tábor alakult ki a kutatók között: az egyik az első, a másik a második tényezőt fogadta el döntőnek.

⁴ *anomális Doppler-eltolódás*: Olyan Doppler-jelenség, amelynél az észlelő, a jelen esetben a napszél, sebessége nagyobb, mint a vele egy irányban terjedő hullámoké.



2. ábra. A pulzációk periódusának változása L'Aquila ($L(1,5)$) és Niemeck ($L(2,3)$) között néhány eltérő jellegű esetben.

Amikor ez a vita megkezdődött, az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézetnek nagyecenki Széchenyi István Geofizikai Observatóriuma már 20 éves, két 11 éves naptevékenységi ciklust felölelő múltra tekintett vissza, és adatairól részletes katalógus állt rendelkezésre. Így nagy adatmennyiségen tudtuk kimutatni, hogy a $T = 170/B$ összefüggés valóban érvényes. Ezt végleges bizonyítéknak fogadták el nemzetközileg is.

Az L -értéktől való függést nem lehet egyetlen állomáson tanulmányozni, csak állomásláncok adatai alkalmasak erre. Több ilyen észak–déli láncolatot szerveztünk. Ezek eredményeiből mutat be (az egyes típusok gyakoriságát nem tükröző) válogatást a 2. ábra. Az esetek jelentős részében, különösen a nagyecenki FLR-periódus közelében (20–30 s körül) a szélességfüggés mértéke mintegy 10% periódusváltozás egy szélességi fokra. Viszont vannak olyan esetek is, amikor nincs szélességfüggés.

Meglepő volt, hogy a szélességfüggés gyakran csak szakaszosan jelentkezik, egyes állomások között a periódus a szélességkülönbség ellenére sem változik. Ilyen esetek is láthatók a 2. ábrán. Ennek lehetséges magyarázata az, hogy egész, egyforma L -értékkel bíró véges vastagságú *erővonalhék*⁵ vannak rezonanciában. A hagyományokhoz hasonló héjak vastagsága a felszínre vetítve 100–150 km. Ez a szerkezet megmagyarázza azt is, mért vannak interferenciára utaló struktúrák a pulzációkban. Lükettő amplitúdójú „csomagok” alakulnak ki, a megadott adatokból következően átlagosan 10 hullám alkot egy-egy ilyen csomagot. A csomagok közötti minimumban 360 fokos fázisugrás van, ami ugyancsak interferenciára utaló jel – két, esetleg több szomszédos héj rezonanciafolyamatát látjuk egyszerre.

⁵ *erővonalhék*: Azonos L -értékű erővonalak által alkotott héj, amely a hagyományokhoz hasonlóan helyezkedik el.

Amikor már jobb lehetőségek voltak digitális regisztrátumok felhasználására, illetve számítógépes adatfeldolgozásra, újabb állomásláncolatokat szerveztünk. Bár ezek nem voltak pontosan É–D-i irányúak, ki tudtuk mutatni, hogy gyakran egyetlen adatsorban is kétféle spektrumcsúcs található, az egyik az UW várható periódusánál, a másik pedig az FLR-periódus L -től való függésének megfelelően változik (3. ábra). Egy nehézség megmaradt: a regisztrátumokon nem tudtuk felismerni, egyértelműen elkülöníteni a kétféle jelet, annak ellenére, hogy az FLR-típus számos, az előzőekben már említett ismérvét már felhasználhattuk. Az elkülönítéshez nagyon pontos fázisadat kell, ehhez pedig pontos időjelek, ami még hiányzott.

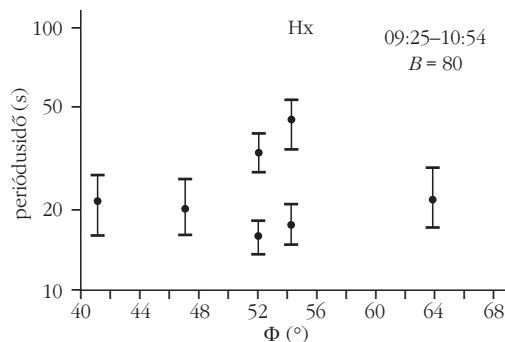
A már teljesen digitális adatokra alapozva végzett láncolatmenti méréseinket dinamikus spektrumokká átalakítva használtuk. Német, olasz és cseh partnereinkkel kiválasztottunk egy olyan jellegzetes esetet, amikor a dinamikus spektrum alapján látszott, hogy azonosíthatók gyors ütemben változó FLR- és UW-jellegű szakaszok. Bár az esemény kiválasztásához bolygóközi adatokat nem használtunk fel, utólag megvizsgálva ezeket az derült ki, hogy az IMF változékonysága éppen ebben az időben volt a legnagyobb.

Ezzel nyilvánvalóvá vált a megoldás: sorra kiderült, hogy az FLR–UW átmenetek a bolygóközi mágnes tér változásaihoz kapcsolódnak, egy-egy ilyen IMF-változás után 3–4 perccel (a felszínig való terjedés ideje) az FLR-jellegű pulzációs tevékenység megszűnik, csak UW észlelhető. Az FLR-típusú tevékenységet tehát szintén a magnetosféra előtti ion-ciklotron instabilitásból származó hullámok keltik, ha azok viszonylag szélesebb spektrumában a megfelelő periódus kellőképpen szerepel. Ha ez a spektrum változik, az FLR-mechanizmus összeomlik.

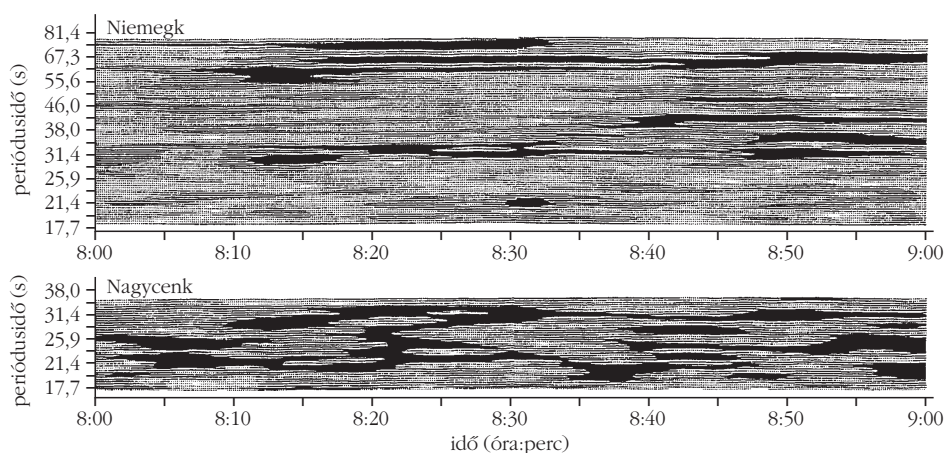
Az ellenkező irányú váltás, az UW–FLR átmenet is elég gyorsan, szinte pillanatok alatt játszódik le, a használt szűrő nem is tudja pontosan kimutatni az időpontot. A dinamikus spektrumban ezek az átmenetek úgy jelennek meg, mint egy-egy időben állandó periódusú, tehát vízszintes vonalakkal álló sorozat (több rezonáló héj) hirtelen megszakadása, és egy másik, egy vonalból álló kép megjelenése az UW-nek megfelelően (4. ábra).

A magnetoszférabeli héjszerkezetre vonatkozóan újabb adalékot szolgáltatott egy olyan mérési sorozat, amelyben három pulzációs állomás mellett a *whistlereket*⁶ is mértük. A whistlerek olyan elektromágneses hullámok, amelyek villámok révén keletkeznek, és kedvező körülmények esetén be tudnak lépni egy, a villámlás

⁶ *whistler*: A déli féltekén keletkező villámokból induló és a geomágneses tér erővonalai mentén terjedő elektromágneses hullámok hozzánk beérkezve a rádióhullámokban jellegzetesen mélyülő füttyként jelentkeznek.



3. ábra. Egy időszakaszban együttesen megjelenő FLR- és UW-típusú pulzációk periódusa a szélesség függvényében. A függőleges vonalak az amplitúdócsúcsok helyzetét jelölik. Az UW-periódus 18–20 s, az FLR-ág 45 fokos szélességnél indul és 53 fokos szélességig követhető. Ott a periódus 45 s.



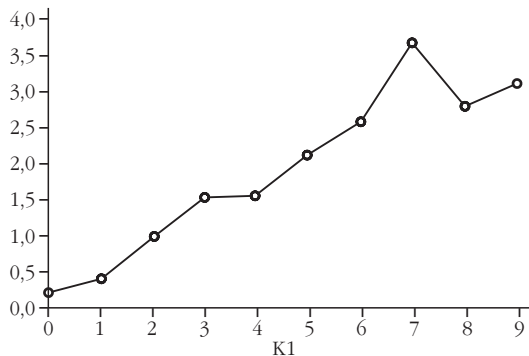
4. ábra. FLR–UW váltakozás dinamikus spektrumon 1991. június 18-án. Felül Niemegek, alul Nagycenk. Különösen jól látható a 8:20-kor fellépő átmenet.

helye fölötti erővonal-csatornába. Az ilyen csatornában a részecskesűrűség némileg eltér a környezetében levőtől, és ezért hullámvezetőként működik. A hullámvezetőben a jel *diszperzió*⁷ esik át, ennek nagyságából a csatorna L -értéke és a benne lévő egyenlítői részecskesűrűség meghatározható. Sajnos, folyamatos whistlermérés nagyon kevés helyen folyik, de az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet tihanyi obszervatóriumában sikerült koordinált méréseket végezni.

Előzőleg a csehországi Panska Ves állomás whistler-számlálási adataiból tudtuk, hogy a whistlerek száma nő a pulzációs tevékenység növekedése esetén (5. ábra). A whistlerekből kapott paraméterek alapján ezt azzal lehetett kiegészíteni, hogy olyan L -értékű héjon nagy a pulzációs (FLR) tevékenység, ahol whistlerek terjednek. Úgy képzelhetjük ezt el, hogy az azonos L -héjon egymás mellett elhelyezkedő whistlercsatornák alakítják ki magát a héjat.

Az erővonal menti szerkezetekhez köthető jelenségek sorát még tovább sikerült szaporítani, elsősorban az ugyancsak az erővonalak mentén ide-oda pattogó hullá-

⁷ *diszperzió*: A whistlerek különböző frekvenciájú hullámai közül a legnagyobb frekvenciájúak terjednek a leggyorsabban. E diszperzió miatt hallunk egyre mélyülő hangot. A diszperzió egyebek között a részecskesűrűségtől függ.



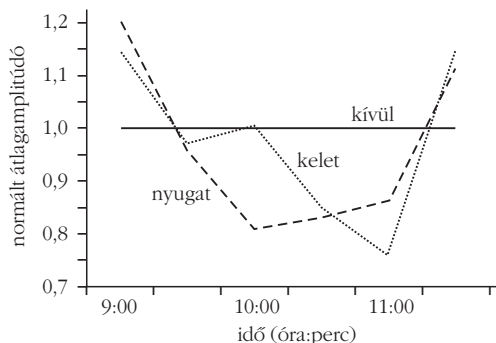
5. ábra. Kapcsolat a pulzációs tevékenység (nagycenki napi index) és a Panska Vesben észlelt whistlerek gyakorisága között.

mok keltette Pc1 (gyöngy) pulzációkkal, amelyek a két féltekén felváltva észlelhető 1 s körüli periódusú hullámcsomagokból állnak.

Ezek szerint a Pc3 pulzációk két típusának, az UW- és az FLR-típusnak közös forrása a magnetoszféra határa előtt keletkező ion-ciklotron instabilitásból eredő hullámok. Ezek vagy különösebb módosulás nélkül jutnak el a felszínig (UW-típus), vagy a geomágneses tér erővonalai mentén lejátszódó rezonancia jelentősen átalakítja őket (FLR-típus). A rezonáló rendszer nagyon érzékeny a forrás változásaira, rövid időn belül összeomolhat, illetve újra kialakulhat. A rezonancia erővonalhékakon játszódik le, és ezek a héjak más jelenségek létrejöttében is szerepet kapnak.

A geomágneses tér változásai némileg hasonló jellegűek, mint az időjáráséi. Vannak napról napra alig eltérően ismétlődő változások a magaslégkör töltött részecskéket is tartalmazó rétegeinek árapálymozgása miatt, vannak a napszéltől kapott energia által táplált rendszertelen folyamatok, de a nappalok és éjszakák szabályos váltakozása, amely mindkét említett folyamatot befolyásolja, csak nagyon ritkán szakad meg. Az egyetlen ilyen esemény a napfogyatkozás, amikor kimarad a Nap ultraioblya és röntgensugárzásának ionizáló hatása is, és a „rövid éjszaka” különleges körülményeket hoz létre. A legérdekesebb az az eset, amikor a napfogyatkozás olyan vidéken jelenik meg, ahol viszonylag sok a geomágneses obszervatórium és könnyen létesíthetők ideiglenes állomások is. Ilyen eset volt 1999. augusztus 11-én, amikor a teljes napfogyatkozás Anglia déli részén érte Európát, végigsöpört Közép-Európán, beleértve hazánkat, majd a Fekete-tenger irányában elhagyta

7. ábra. Az FLR-típusú pulzációk amplitúdója a napfogyatkozás nyugati és keleti szakaszán a távolabbi állomások adataira vonatkoztatva. Az egyes csoportok elkülönítése nem tökéletes, így a Ny-i és K-i csoportban a hatás a ténylegesnél kisebbnek látszik.



6. ábra. Az FLR-típus helyi periódusánál észlelt pulzációk amplitúdóaránya (Budkov/Nagycekn) a napfogyatkozás időpontja körül. Az időlépték a meghatározás módszere miatt nem egyenletes.

kontinensünket. Erre az alkalomra a Kyushu Egyetem (Japán) azonos műszerekkel öt állomást létesített Dél-Angliában, Nagycenken, L'Aquilában, Közép-Afrikában és ott, ahol a legközelebb lehet kerülni a tőlünk induló geomágneses erővonal másik végpontjához, Dél-Afrikában. A németek, a potsdami GeoForschungsZentrum ehhez több tucat német és osztrák területen lévő ideiglenes állomást adtak hozzá, magyar-amerikai együttműködésben az ELGI is létesített állomásokat, Nagycenken kívül pedig a teljes napfogyatkozás peremén, 98%-os árnyékban a cseh Budkov is csatlakozott.

Az rögtön kiderült, hogy a napfogyatkozás idején a Pc3 pulzációk amplitúdója Nagycenken jelentősen csökkent. Ez azonban még nem jelenti azt, hogy a csökkenés a napfogyatkozás hatására történt. Azt kellett bizonyítani, hogy egyrészt a bolygóközi mágnes térben nem történt olyasmi, ami a csökkenést kiválthatta, másrészt azt is ki kellett mutatnunk, hogy a hatás a teljes árnyék sávjának környékére korlátozódott, és a hatás együtt mozgott az árnyékkal.

A vizsgálatokban a német, japán és cseh kollégákon kívül intézetünkben *Bencze Pál*, *Zieger Bertalan* és *Szendrői Judit* vett részt, az ELGI-ből pedig *Heilig Balázs*, aki az IMF adatait is vizsgálta, és arra a megállapításra jutott, hogy bár az ottani paraméterek kedvezőtlenek voltak az UW keltésére, de nyoma sem volt olyan változásoknak, ami a pulzációk kikapcsolódását indokolta volna, és az észlelt periódus is megfelelt a módosított képlet alapján vártnak.

Az amplitúdócsökkenés kiterjedését a teljesség sávjára merőleges irányban először a budkovi obszervatórium mérései alapján vizsgáltuk. Itt 98%-os volt a fogyatkozás, és korábban már sokszor hasonlítottuk össze a két állomás, Budkov és Nagycenk adatait, így jól ismertük az ottani viszonyokat. Az összehasonlítás eredményét mutatja a 6. ábra, amelyen az FLR-periódusok amplitúdójának változása szerepel az idő függvényében. Mivel a némileg eltérő periódusú FLR-jelekre akartuk az arány változását kimutatni, egyes hullámcsomagok átlagamplitúdóit vetettük össze. A napfogyatkozás időpontjában az arány (BDK/NCK) 0,77-ről 1,45-re változott, ami messze felülmúlja az egyes arányok hibáját.

A teljes napfogyatkozás sávjá mentén úgy kerestük a hatás kiterjedését és mozgását, hogy minden egyes állomáson (mintegy 30 helyen) meghatároztuk az FLR-periódust. Az állomásokat három csoportra osztottuk, egy nyugati, egy keleti és egy távoli csoportra. Az utóbbi csoport észlelt FLR átlagamplitúdójára vonatkoztatott átlagamplitúdókat a nyugati és a keleti csoportban mutatja a 7. ábra. A

hatás, az amplitúdóminimum a két csoportban eltérő időben jelenik meg, mégpedig úgy, hogy a hatás valóban a Hold árnyékával együtt mozgott. A mintegy 40%-os csökkenés a hatás mértékének alsó határa, mert egyik csoport sem felelt meg teljesen a kritériumoknak: a nyugati és keleti csoportban nem volt mindenütt teljes a fogyatkozás, a távoli csoport pedig többnyire részleges fogyatkozást élt át, emellett a keleti és nyugati csoport állomásai is szét-szórta voltak a fogyatkozás sávja mentén.

Végeredményben arra jutottunk, hogy a napfogyatkozás hatására az FLR-típusú tevékenység megszűnt, kikapcsolódott, emiatt nem volt meg az FLR-mechanizmus okozta mintegy háromszoros erősítés sem, az amplitúdók tehát csökkentek. A kikapcsolódás közvetlen oka az, hogy az ionoszférából felfelé való részecskeáramlás erősen megcsappant, mert ott kevesebb lett a töltött részecske az ultraibolya és röntgensugárzás kimaradása miatt. Így a rezonáló rendszer elhangolódott, a sajátperiódusa mintegy 30%-kal változott, és ezt már nem tudta az elsőd-

leges forrás gerjeszteni. A részecskesűrűség csökkenése és az elhangolódás kísérletileg is kimutatható volt.

A napfogyatkozás ilyen hatását a Pc3 pulzációkra, illetve az erővonal menti rezonancia belső eredetű leállását tudomásunk szerint először sikerült kimutatni. Mindaddig csak a hullámok polarizációjának változását tudták észlelni – ez egyébként a mi csoportunk adataiban is megjelent.

Az 1999-es napfogyatkozás geomágneses hatása – nem a pulzációk, hanem a napi változás módosulását értve itt – erősen vitatott kérdés, különböző csoportok azonos adatok alapján is eltérő eredményre jutottak. Vita folyt az itt ismertetett eredmény körül. Az értelmezésben a mérések valamennyi résztvevője egyetértett, s ez a szakterület mai vezető kutatóit, japánokat, németeket, cseheket és magyarokat jelenti. Az eredményeket meg erősíti az adatok más szempontból történt feldolgozása is, amelynek alapján ki tudtuk mutatni a földben indukált áramrendszer módosulását is.

MILYEN A TEHERBÍRÓ, DE KÖNNYŰ CSÖVES CSONT SZERKEZETE?

A biomechanikai optimum vizsgálata állati és emberi végtagcsontokon

Horváth Gábor, Suhai Bence, Bernáth Balázs, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Biológiai Fizika Tanszék
 Gerics Balázs, Szent István Egyetem, Állatorvos-tudományi Kar, Anatómiai és Szövetani Tanszék
 Csorba Gábor, Magyar Természettudományi Múzeum, Állattár
 Gasparik Mihály, Magyar Természettudományi Múzeum, Föld- és Őslénytár
 Évinger Sándor, Pap Ildikó, Magyar Természettudományi Múzeum, Embertani Tár

Milyen a biomechanikailag optimális végtagcsont?

A gerincesek végtagjainak vázát belül üreges, központi üregében többnyire velőt tartalmazó, hosszú csöves csontok alkotják, amelyeknek bizonyos határokon belül például hajlítási és csavarási igénybevételeket is egyaránt ki kell bírniuk. E kívánalom a csontok robusztussága irányában hat. Ugyanakkor mozgáskor a végtagokat minden lépéskor periodikusan föl kell gyorsítani, majd le kell lassítani, s mindez annál nagyobb izommunkát követel, minél nagyobb a végtagok tömege. A minél kisebb izommunkával történő mozgás igénye a csontok könnyűsége irányában hat, amit jól példáz az is, hogy a mozgáskor nagyobb sebességű, vagyis a test hossz tengelyétől távolabb eső, hosszú végtagcsontok könnyebbek, vékonyabbak a kisebb sebességű, a hossz tengelyhez közelebb eső csontoknál. Az evolúció során e két ellentétes hatás határozta meg a csontok alakjának és tömegének optimumát. Az a csontszerkezet az optimális, amely a lehető legkisebb anyagfőlhasználás mellett a lehető legnagyobb szilárdságot biztosítja a mechanikai igénybevételekkel szemben.

A csöves csontok egyik jellemző geometriai paramétere a belső és külső átmérőjük K hányadosa ($0 \leq K < 1$) és az ebből származtatott $V = 1 - K$ relatív falvastagság. Biomechanikai optimalizációval négy eltérő optimum származtatható K -ra [1–7]: Ha a minimális tömegű csontnak meghajlásokat kell elviselnie, akkor K optimális értéke

$$K_b = \sqrt{1 - \frac{\rho_v}{\rho_c}} \equiv \sqrt{1 - Q}, \quad Q = \frac{\rho_v}{\rho_c}, \quad (1)$$

ahol ρ_c a csont sűrűsége, ρ_v pedig a belsejében levő velőé. Ha a minimális tömegű csont éppen a felületi rétege elszakadásának vagy összeroppanásának határáig hajolhat meg, akkor K optimális értéke

$$K_{sz} = \sqrt{\frac{2 - \sqrt{1 - 3Q^2 + 6Q}}{1 - Q}}. \quad (2)$$

Ha a minimális tömegű csont nem törhet el, akkor K optimuma:

$$K_t = 1 - Q. \quad (3)$$

1. táblázat

A csöves velős csont belső és külső átmérője K hányadosának optimális értékei $Q = Q_1 = 0,5$ és $Q_2 = 0,44$ esetén, ahol Q a velő ρ_v és a csont ρ_c sűrűségének aránya

$Q_1 = 0,5$	$K_{sz1} = 0,63$	$K_{h1} = 0,71$	$K_{i1} = 0,50$	$K_{ü1} = 0,52$
$Q_2 = 0,44$	$K_{sz2} = 0,67$	$K_{h2} = 0,75$	$K_{i2} = 0,56$	$K_{ü2} = 0,55$

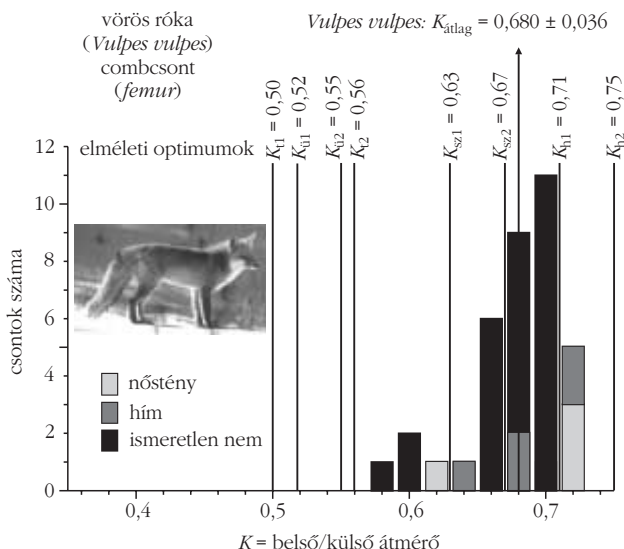
Ha a minimális tömegű csontnak a talajhoz való ütődést kell sérülés nélkül elviselnie, akkor K optimuma:

$$K_{ii} = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{2Q - Q^2}}{1 - Q}} \quad (4)$$

K e négy optimuma kizárólag a $Q = \rho_v / \rho_c$ aránytól függ. Állatokban Q értékét eddig csak két esetben mérték [3, 6]: $Q_1 = 0,5$ vagy $Q_2 = 0,44$. Az 1. táblázat a K_h , K_{sz} , K_i és $K_{ü}$ optimumok értékeit tartalmazza $Q = Q_1$ és Q_2 esetén. Az emberi cortikális csont sűrűsége 1700 és 2100 kg/m³ között változik, míg a sárga (gyakorlatilag zsírból álló) velőé 930 kg/m³ körüli [8, 9].

Hogy ellenőrizzék elméletük helyességét, Alexander és Currey [2, 3, 6] megmérték 70 állatfaj 240 csöves csontjának K -értékét. Azt találták, hogy K 0,4 és 0,8 között változik fajtól függően. E mérések azonban fizikus szempontból hibásak voltak, mert sokszor egy adott faj bizonyos csonttípusának csak egyetlen példányán történt K mérése, a különböző fajok csontjainak K -értékeit pedig gyakran eltérő módszerrel regisztrálták, miáltal az adathalmaz statisztikailag inhomogén volt. E vizsgálatokból arra a végkövetkeztetésre jutottak [3–5], hogy a gerincek végtagscsontjai biomechanikailag optimális szerkezetűek. Így vált az irodalomban széles körben elfogadottá az a nézet, miszerint az állatok csöves csontjainak $V = 1 - K$ relatív falvastagsága az evolúció során úgy alakult,

1. ábra. 36 róka- (*Vulpes vulpes*) combcsonton (*femur*) mért átlagos K -értékek, ahol K a csont belső és külső átmérőjének hányadosa. Az átlag a csontok kaudális és mediális nézetből készített röntgenfelvételeinek számítógépes kiértékelésével kapott két, közel azonos K -érték számtani közepe. A függőleges nyíl K átlagértékét mutatja, míg a függőleges vonalak K 1. táblázatbeli nyolc különböző optimumát szemléltetik.



hogy a csont teljes tömege (amibe beleértendő a velő is) minimális legyen adott mechanikai terhelés elviselése mellett. Történt mindez annak ellenére, hogy a $K(Q)$ elméleti optimumokat meghatározó Q kontroll-paraméternek, azaz a velő- és csontsűrűség hányadosának pontos értéke és esetleges fajon belüli vagy fajok közötti változékonysága máig sem ismert. De még ha ismert is lenne Q egy adott fajban, a faj csöves csontjai relatív falvastagságának biomechanikai optimalizációját csakis K kis fajon belüli szórásával lehetne bizonyítani. Azonban minden korábbi vizsgálatban ismeretlen volt K szórása az említett módszertani hiányosság következtében.

A fentiek miatt szükségesnek láttuk a csöves csontok optimális szerkezetéről széles körben elterjedt vélekedés [1–3] alapos ellenőrzését és kísérleti fölülvizsgálatát [7, 10–13]. Ezért kifejlesztettünk egy számítógépes programcsomagot, amellyel a csöves csontokról készített röntgenfelvételek kiértékelését követően meghatározható az adott csonttípus K -paraméterének, illetve $V = 1 - K$ relatív falvastagságának átlaga és szórása a csontok hossza mentén. E kiértékelő programcsomag segítségével nagyszámú csontmintán végezhetjük el a falvastagságméréseket a korábbinál nagyobb pontossággal, miáltal ellenőrizhettük a falvastagság biomechanikai optimumainak elméleti jóslatait. A továbbiakban röviden beszámolunk a rókák (*Vulpes vulpes*), varjak (*Corvus corone cornix*), szarkák (*Pica pica*) és emberi múmiák csöves csontjain végzett vizsgálataink eredményeiről.

Rókacsontok

Az 1. ábra a vörös róka (*Vulpes vulpes*) combcsontjain mért K -értékek gyakoriságát mutatja, ahol K a csontok kaudális és mediális nézetből készített röntgenfelvételeinek számítógépes kiértékelésével kapott két, közel azonos K -érték számtani közepe [11]. Látható, hogy a vizsgált rókacsontok között számos olyan is akadt, amelyek K -értéke pontosan egyezett az 1. táblázatbeli K_{sz1} , K_{sz2} és K_{h1} optimumok valamelyikével. Ez jól demonstrálja, hogy miért nem lehet eldönteni egy csöves csont biomechanikai optimalizációjának mértékét és mikéntjét, ha csak egyetlen csont K -paraméterét méri meg, mint tették a korábbi vizsgálatokban. Ugyanakkor olyan rókacsontok, amelyek K -értéke megközelítette volna az 1. táblázatbeli K_{i1} , K_{i2} , $K_{ü1}$, $K_{ü2}$ optimumok valamelyikét, nem fordultak elő. Ezek szerint a vörös róka combcsontjai úgy optimalizáltak, hogy minimális tömegük mellett vagy a szakadási/összeroppanási, vagy pedig a hajlítási terheléseket képesek elviselni. A rókacsontok K -értékének minimuma, maximuma, átlaga és szórása rendre $K_{\min} = 0,59$, $K_{\max} = 0,74$, $K_{\text{átlag}} = 0,681$ és $\sigma_K = 0,036$ -nak adódott. Mivel azon rókáknak a kora és neme, amelyekből a csontok származtak, sokszor ismeretlen volt, K kortól és/vagy nemtől való esetleges függését nem lehetett megállapítani.

Mivel a velő és csont sűrűségének Q hányadosa a rókában sem ismert, ezért kiszámítottuk azon Q_{sz} , Q_h , Q_i , illetve $Q_{ü}$ optimális értékeket, amelyek biztosítanák, hogy a vizsgált rókacsontok tömege minimális legyen a szaka-

2. táblázat

Dolmányos varjú (*Corvus corone cornix*) és szarka (*Pica pica*) humerus (felkarcsont), femur (combcson) és tibiotarsus (lábszárcsont) végtagsontjai belső és külső átmérője K hányadosának átlagértéke ($K_{\text{átlag}}$), szórása (σ_K), minimuma (K_{min}) és maximuma (K_{max}), melyeket a kaudális és mediális nézetből készített röntgenfelvételek számítógépes kiértékelésével kaptunk. N : csontok száma

faj	csont	töltőanyag	$K_{\text{átlag}}$	σ_K	K_{min}	K_{max}	N
<i>Corvus corone cornix</i>	humerus	levegő	0,78	0,03	0,72	0,83	16
	femur	velő	0,79	0,02	0,75	0,82	21
	tibiotarsus	velő	0,71	0,04	0,62	0,76	19
<i>Pica pica</i>	humerus	levegő	0,78	0,02	0,74	0,81	40
	femur	velő	0,77	0,02	0,73	0,81	50
	tibiotarsus	velő	0,67	0,05	0,57	0,77	46

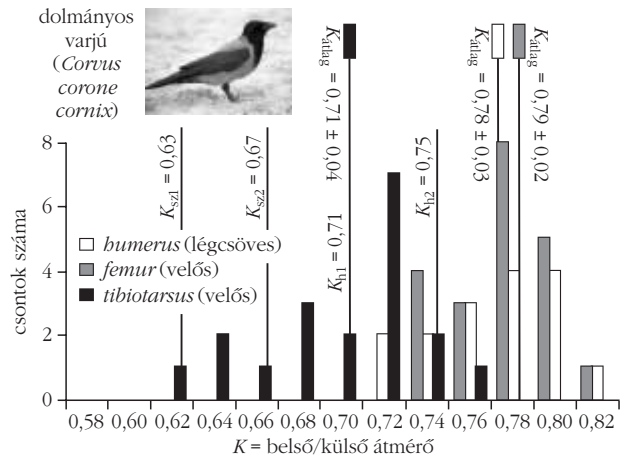
dási/összeroppanási, hajlítási, törési, illetve ütődési terhelések elviselése mellett a mért K -értékekre. Azt találtuk, hogy a szakadási/összeroppanási, illetve hajlítási terhelésekre kapott átlagos $Q_h = 0,52$, illetve $Q_{sz} = 0,41$ optimumok közel állnak a korábban mért $Q_1 = 0,5$, illetve $Q_2 = 0,44$ értékekhez, míg a törési és ütődési terhelések esetén igen távol.

Mind a négy szóban forgó mechanikai terhelés mellett azt is kiszámítottuk, hogy a vizsgált rókacsontok tömege mennyivel lenne nehezebb az optimális K -jú csonthoz képest $Q_1 = 0,5$ és $Q_2 = 0,44$ mellett. Azt kaptuk, hogy a rókacsontok átlagos μ relatív tömegnövekménye 1%-nál kisebb volt szakadási/összeroppanási és hajlítási terhelésekre, míg törési és ütődési terhelésekre μ átlaga maximum 5,4%-nak adódott. Tehát a rókacsontok relatív tömegnövekménye mind a négy terhelés esetén kicsinek tekinthető. Ennek az az oka, hogy a négy terhelésre vonatkozó $\mu(K)$ függvények nagyon laposak a minimumuk közelében, ezért K -nak az optimumtól való jelentős eltérése is csak csekély tömegnövekményt eredményez a minimális tömeghez képest. A rókacsontok K -ja a 0,59 és 0,74 közötti meglehetősen széles tartományban változik, aminek az lehet a magyarázata, hogy az optimálistól eltérő relatív falvastagságú csontok nem sokkal nagyobb tömegűek, mint az optimális falvastagságú csont.

Madárcsontok

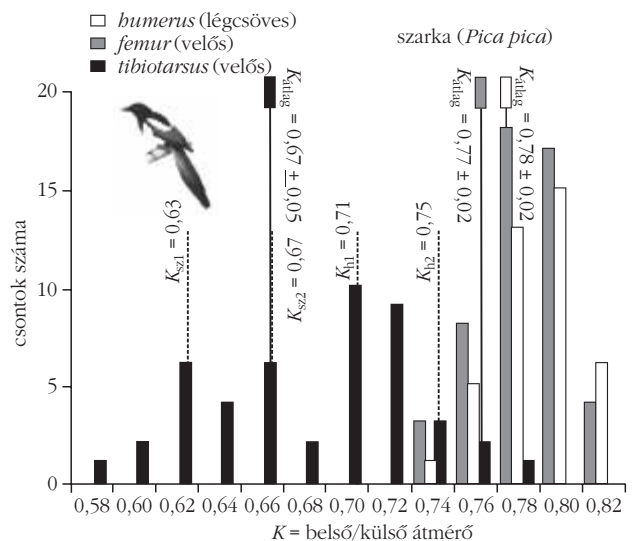
Számos madár bizonyos hosszú csöves végtagsontjainak üregét velő helyett levegő tölti ki. E légsöves csontok K -paraméterének $K^* = 0,93$ optimuma [3] sokkal nagyobb, mint a velős csontok bármely optimuma (1. táblázat). Érdekes ezért mérni velős és légsöves madárcsontok K paraméterét.

Mi a dolmányos varjú (*Corvus corone cornix*) és a szarka (*Pica pica*) humerus (felkarcsont), femur (combcson) és tibiotarsus (lábszárcsont) szárny-, illetve lábcsontjainak K -paraméterét mértük [13]. A varjú légsöves humerus ($K_{\text{humerus}} = 0,78 \pm 0,03$) és velős femur ($K_{\text{femur}} = 0,79 \pm 0,02$) combcsonjainak K -ja és σ_K szórása gyakorlatilag (statisztikailag) megegyezik, míg a velős tibiotarsus



2. ábra. Dolmányos varjú (*Corvus corone cornix*) humerus (felkarcsont), femur (combcson) és tibiotarsus (lábszárcsont) végtagsontjain mért átlagos K -értékek. Az átlag a csontok kaudális és mediális nézetből készített röntgenfelvételeinek számítógépes kiértékelésével kapott két, közel azonos K -érték számtani közepe. A fekete, fehér, illetve szürke téglalapban végződő függőleges vonalak K 2. táblázatbeli átlagértékeit mutatják, míg a függőleges vonalak K velős csontokra érvényes négy különböző optimumát szemléltetik (1. táblázat).

($K_{\text{tibiotarsus}} = 0,71 \pm 0,04$) lábszárcsontok K -ja statisztikailag szignifikánsan kisebb (2. ábra, 2. táblázat). Ugyanezt kaptuk a megfelelő szarkacsontokra is: $K_{\text{humerus}} = 0,78 \pm 0,02$; $K_{\text{femur}} = 0,77 \pm 0,02$; $K_{\text{tibiotarsus}} = 0,67 \pm 0,05$ (3. ábra, 2. táblázat). A varjúcsontok K -ja valamivel nagyobb a szarkacsontokénál, de a különbség statisztikailag nem szignifikáns. Mindkét madárfajban a tibiotarsus lábszárcsontok σ_K ($= 0,04$ – $0,05$) szórása közel kétszerese a humerus ($\sigma_K = 0,02$ – $0,03$) és femur ($\sigma_K = 0,02$) csontokénak. Ha a velő és a csont sűrűségének hányadosa $Q = Q_1 = 0,5$, akkor a varjú és szarka velős lábszárcsontjai a hajlítási terhelések elviselésére optimalizáltak, míg a velős combcsonjainak távol esnek bármely elméleti optimumtól (2., 3. ábra). Ha viszont $Q = Q_2 = 0,44$, akkor mindkét madárfaj láb- és combcsonjainak távol esnek bármelyik optimumtól. A varjú és szarka légsöves felkarcsontjainak $W = 1 - K$ relatív falvastagsága sokkal nagyobb, mint a

3. ábra. Mint a 2. ábra, de most a szarka (*Pica pica*) esetén.

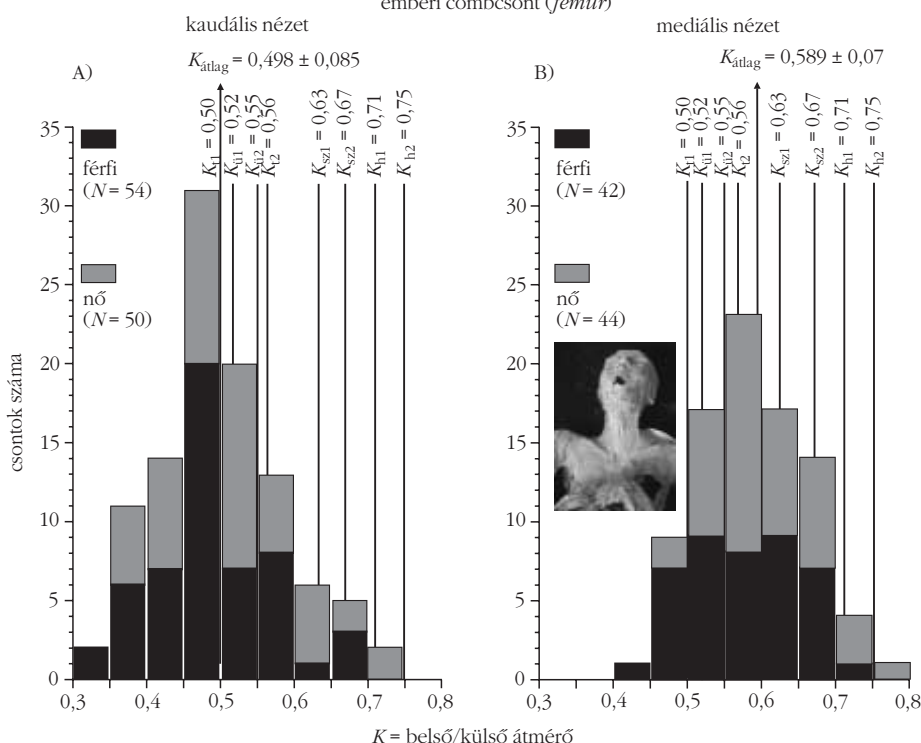
3. táblázat

Emberi combcsontok (femur) belső és külső átmérője
 K hányadosának átlagértéke ($K_{\text{átlag}}$), szórása (σ_K),
minimuma (K_{min}) és maximuma (K_{max}), amelyeket a kaudális
és mediális nézetből készített röntgenfelvételek
számítógépes kiértékelésével kaptunk. N : csontok száma.
Gyermek: 0 és 20 év között, felnőtt: 21 és 50 év között,
idős: 50 év fölött

csoport	nézet	$K_{\text{átlag}}$	σ_K	K_{min}	K_{max}
összes ($N = 107$, 52 nő + 55 férfi)	kaudális	0,498	0,085	0,345	0,732
	mediális	0,589	0,070	0,442	0,783
fiatalok ($N = 33$, 18 nő + 15 férfi)	kaudális	0,549	0,075	0,379	0,685
	mediális	0,585	0,056	0,458	0,709
felnőttek ($N = 28$, 18 nő + 10 férfi)	kaudális	0,462	0,052	0,379	0,610
	mediális	0,589	0,070	0,480	0,783
idősek ($N = 46$, 16 nő + 30 férfi)	kaudális	0,485	0,093	0,345	0,732
	mediális	0,592	0,081	0,442	0,725

$W^* = 1 - K^* = 1 - 0,93 = 0,07$ elméleti optimum, és így e csontok sokkal vastagabb falúak, mint az optimális, minimális tömegű légcsőves csontok. Arra a váratlan eredményre jutottunk tehát, hogy a varjú és a szarka felkarcsontjának és combcsontjának K -ja gyakorlatilag azonos annak ellenére, hogy a felkarcsont légcsőves, a combcsont pedig velős. Márpedig az elméleti (biomechanikai optimum) jóslat szerint a légcsőves felkarcsont K -értékének sokkal nagyobbak kellene lennie a velős combcsont K -értékénél.

4. ábra. Emberi combcsontok (femur) K -értékei, melyeket a kaudális (A) és mediális (B) nézetből készített röntgenfelvételek számítógépes kiértékelésével kaptunk. A függőleges nyilak K átlagértékeit mutatják, míg a függőleges vonalak K 1. táblázatbeli nyolc különböző optimumát szemléltetik.



Emberi csontok

A vizsgált emberi combcsontok a Magyar Természettudományi Múzeum Embertani Tárának Újkori múmiagyűjteményében őrzött egyénektől származtak. A maradványok a váci domonkosrendi Fehérek templomának kriptaiból kerültek elő, és az 1731 és 1838 közötti temetkezésekből származnak. A leletegyüttes különlegességét az adja, hogy a halotti anyakönyvekből és a koporsófeliratokból ismert az elhalálozás dátuma, a halottak kora, neme, neve és esetenként a foglalkozása is [14]. 57 egyén (28 nő, 29 férfi) 107 combcsontját vizsgáltuk [12]. A statisztikai elemzések céljából az egyéneket a következő három korcsoportra osztottuk: fiatalok (0 és 20 év között, 20 egyén), felnőttek (21 és 50 év között, 14 egyén), idősek (50 év fölött, 23 egyén). Amennyiben lehetséges volt, egy adott egyénnek mind a jobb, mind pedig a bal combcsontjáról készítettünk röntgenfelvételeket mediális és kaudális nézetből.

A 4. ábra a humán combcsontok K -értékeinek gyakorisági eloszlását mutatja a kaudális és mediális nézetre, a 3. táblázat pedig e csontok K -értékének átlagát, szórását, minimumát és maximumát tartalmazza a három korcsoport szerint. Kaudális nézetből K átlaga mindig kisebb volt, mint mediálisból. A $K_{\text{kaudális}}$ és $K_{\text{mediális}}$ közti eltérés annak következménye, hogy az emberi combcsont nem pontosan hengerszimmetrikus. A kortól és nézettől függően K szórása 0,052 és 0,093 között változott, valamint K a $K_{\text{min}} = 0,345$ és $K_{\text{max}} = 0,783$ szélsőértékek között mozgott. K ezen jelentős szórása miatt a vizsgált emberi combcsontok között több olyan is volt, amelynek K -ja közelítőleg megegyezett az 1. táblázatbeli nyolc optimum valamelyikével. Felnőtteknél a

$K_{\text{kaudális}}^{\text{átlag}} = 0,498$ érték közel áll a

$K_{11} = 0,5$ optimumhoz, míg a

$K_{\text{mediális}}^{\text{átlag}} = 0,589$ érték a $K_{12} = 0,56$

és $K_{sz1} = 0,63$ optimumok között

van. Ezek szerint tehát a felnőtt

emberek combcsontjai a törési

vagy szakadási/összeroppanási

terhelések elviselésére optimalizáltak.

Mivel a fiatalok korcsoportjánál a $K_{\text{kaudális}}^{\text{átlag}} = 0,549$ érték

közel van a $K_{12} = 0,55$ optimumhoz,

az fiatalok combcsontja az ütődés elviselésére optimalizált.

Az átlagos K -értékekben nem találtunk

statisztikailag szignifikáns különbséget

sem a jobb és a bal combcsontok között,

sem pedig a nemek és a korcsoportok között.

Az emberi végtagsontok relatív falvastagságának az oldaliságtól (jobb-bal oldaltól),

valamint a kortól és nemtől való függetlensége jól demonstrálja,

hogy milyen robusztus a csőves velős csontok szerkezete egy adott fajban.

Összehasonlításként érdemes megemlíteni,

hogy a röpképes madarak és a kihalt ősi repülő

hüllők, a pterozauruszok levegővel töltött csöves végtagcsontjainak K -ja a legmagasabb (1-hez legközelebbi) az állatvilágban, a szárazföldi emlősök és a röpképtelen madarak végtagcsontjainak K -ja 0,5 körüli, míg a vízi állatokban K igen kicsi (0-hoz legközelebbi) [6, 15]. Láttuk, hogy amíg róka combcsontokra $K = 0,68 \pm 0,036$ $K_{\min} = 0,59$ és $K_{\max} = 0,74$ szélsőértékekkel, valamint a varjú, illetve a szarka velős combcsontjaira $K = 0,79 \pm 0,02$, $K_{\min} = 0,75$, $K_{\max} = 0,82$, illetve $K = 0,77 \pm 0,02$, $K_{\min} = 0,73$, $K_{\max} = 0,81$, addig emberi combcsontokra $K_{\text{kaudális}} = 0,498 \pm 0,085$, $K_{\text{mediális}} = 0,589 \pm 0,07$ $K_{\min} = 0,345$ és $K_{\max} = 0,783$ extrémumokkal. Az emberi combcsont K -ja szignifikánsan kisebb a rókáénál, a varjúénál és a szarkáénál, azaz az előbbinek jelentősen nagyobb a relatív falvastagsága. A végtagcsontok relatív falvastagságának fajok közötti változékonysága egyrészt az eltérő életmódok megkövetelte különböző biomechanikai optimumokkal magyarázható, másrészt pedig azzal, hogy nincs nagy szelekciós nyomás a relatív falvastagság pontos beállítására, mivel az optimumtól való nagyobb eltérések sem járnak a csontok tömegének jelentősebb növekedésével. Az emberi combcsontok K -értékének σ_K szórása 1,4–4,6-szerese a róka-, varjú- és szarka-csontokénak. Az emberi combcsont K -jának maximális eltérése $\Delta K = K_{\max} - K_{\min} = 0,438$, ami közel háromszorosa a rókacombcsont $\Delta K = 0,15$ értékének, valamint több mint hatszorosa a varjú és szarka velős combcsontja $\Delta K = 0,07 - 0,08$ értékének. Egy adott faj végtagcsontjai relatív falvastagságának biomechanikai optimalizációja K kis szórásában nyilvánul meg. Mivel az emberi combcsontok K -jának nagy a szórása a róka-, varjú- és szarkacsontokhoz képest, ezért emberben a végtagcsontok relatív falvastagságának optimalizációja kevésbé finoman hangolt.

Következtetések

Egy minimális tömegű és adott mechanikai terhelést (szakadást/összeroppanást, hajlítást, törést, ütődést) kibíró csöves velős csont külső és belső átmérője K hányadosának és az abból származtatott $V = 1 - K$ relatív falvastagságnak az optima csak a velő és csont sűrűségének Q arányától függ. Róka- és emberi combcsontok, valamint varjú és szarka láb- és szárnycsontok röntgenképének számítógépes kiértékelésével nagyszámú csont K -értékét mértük, miáltal K átlagát és szórását tudtuk nagy pontossággal meghatározni. Fölhasználva a Q korábban mások által mért értékeit, mérési eredményeink azt támasztják alá, hogy amíg a rókák combcsontja szakadási/összeroppanási vagy hajlítási terhelések elviselésére optimalizálódott, valamint a varjú és szarka velős lábszárcsontja a hajlítási terhelés elviselésére optimalizált, addig a felnőtt emberek combcsontja szakadási/összeroppanási vagy törési terhelésekre, míg a fiataloké az ütődésre. Ugyanakkor a varjú és a szarka velős combcsontja és légcsőves felkarcsontja távol esik bármely elméleti optimumtól. Az emberi végtagcsontok relatív falvastagsága gyakorlatilag azonos a jobb és bal lábban, továbbá független a nemtől és az életkortól. Az emberi combcsontok relatív falvastagságának közel másfélszer-ötször akkora a szórása, mint a rókaké, varjaké és szarkaké. Az emberi combcsontok kisebb mér-

tékben követik a biomechanikai optimumot a rókákéhoz, varjakéhoz és szarkakéhoz képest, aminek az lehet a magyarázata, hogy az emberek kisebb mértékben vannak kitéve a természetes szelekció hatásának, mint a vadon élő rókák, varjak és szarkák. Mivel Q pontos értéke rókákban, varjakban, szarkákban és emberekben egyaránt ismeretlen, nem lehet kizárni azt a lehetőséget sem, hogy a vizsgált róka-, varjú-, szarka- és embercsontok minimális tömegűek és bármely mechanikai terhelési fajta elviselésére optimalizáltak. Mivel bármely terhelési típus esetén az optimálistól nem nagy mértékben eltérő relatív falvastagságú csont tömege csak alig nagyobb az optimális falvastagságú csonténál, a relatív falvastagság precíz biomechanikai optimalizálásának nincs nagy szelekciós előnye, evolúciós jelentősége. Ezzel magyarázható a relatív falvastagság fajon belüli viszonylag nagy szórása.

Köszönetnyilvánítás

Kutatómunkánkat az Országos Tudományos Kutatási Alap T-034982 számú pályázata, a magyar Oktatási Minisztérium 3 éves Széchenyi István ösztöndíja és a német Alexander von Humboldt Alapítvány 14 hónapos ösztöndíja támogatta. Hálásak vagyunk idősebb *Gasparik Mihálynak*, aki a róka-, varjú- és szarkacsontokat bocsátotta rendelkezésünkre. Köszönjük továbbá *Kampó Máriának* a nagyszámú csontról készített röntgenfelvételeket.

Irodalom

1. F. PAUWELS: *Biomechanics of the Locomotor Apparatus* – Springer-Verlag, Berlin, 1980.
2. J.D. CURREY: *Bones as a mechanical structure* – In: *Biomechanics: Principles and Applications* (szerk.: R. Huijskes, D. van Campen, J. de Wijn) pp. 75–85, Nijhoff, Hague, 1982.
3. R.MCN. ALEXANDER: *Optima for Animals*, 2.1. fejezet: *Optimum structures – Tubular bones* – pp. 13–17, Edward Arnold Limited, London, 1982.
4. R.MCN. ALEXANDER: *Animal Mechanics*, 4.11. fejezet: *Bending* – 2. kiadás, pp. 127–131, Packard Publishing Limited, Blackwell Scientific Publications, London, 1983.
5. R.MCN. ALEXANDER: *Optima for Animals*, 2.1. fejezet: *Optimum structures – Tubular bones* – átdolgozott kiadás, pp. 17–22, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1996.
6. J.D. CURREY, R.MCN. ALEXANDER: *The thickness of the walls of tubular bones* – J. Zool. London A 206 (1985) 453–468
7. HORVÁTH, G.: *A mechanika biológiai alkalmazása: biomechanika* – egyetemi tankönyv, 262 o., ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2001.
8. S.C. COWIN (szerk.): *Bone Mechanics Handbook* – 2. kiadás, CRC Press, Boca Raton, Florida, 2001.
9. J.D. CURREY: *Bones: Structure and Mechanics* – Princeton University Press, Princeton, 2002.
10. HORVÁTH G., SUHAI B., GERICS B.: *Milyen az optimálisan könnyű és teherbíró végtagcsont? A velős csontok optimális szerkezetének fölvizsgálata* – poszter, Magyar Biofizikai Társaság XIX. Vándorgyűlése, 1999. augusztus 25–28., Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskola, Kecskemét, Kivonatok gyűjteménye 150. o., 1999.
11. B. BERNÁTH, B. SUHAI, B. GERICS, G. CSORBA, M. GASPARIK, G. HORVÁTH: *Testing the biomechanical optimality of the wall thickness of limb bones in the red fox (*Vulpes vulpes*)* – Journal of Biomechanics 37 (2004) 1561–1572
12. S. ÉVINGER, B. SUHAI, B. BERNÁTH, B. GERICS, I. PAP, G. HORVÁTH: *How does the relative wall thickness of human femora follow the biomechanical optima? An experimental study on mummies* – Journal of Experimental Biology 208 (2005) 899–905
13. B. SUHAI, M. GASPARIK, G. CSORBA, B. GERICS, G. HORVÁTH: *Wall thickness of gas- and marrow-filled avian long bones: measurements on humeri, femora and tibiotarsi in crows (*Corvus corone cornix*) and magpies (*Pica pica*)* – Journal of Biomechanics (2006) (nyomdában)
14. I. PAP, É. SUSÁ, L. JÓZSA: *Mummies from the 18–19th century Dominican Church of Vác, Hungary* – Acta Biologica Szegediensis 42 (1997) 107–112
15. S.M. SWARTZ, M.B. BENNETT, R.D. CARRIER: *Wing bone stresses in free flying bats and the evolution of skeletal design for flight* – Nature 359 (1992) 726–729

A VOYAGER-1 ŰRSZONDA KILÉPETT A SZUPERSZONIKUS NAPSZÉLBUBORÉKBÓL

Király Péter

MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet

Az 1977-ben útjára bocsátott Voyager-1 űrszonda az emberiség legmesszebbre jutott és nagyrészt még mindig kiválóan működő küldönce. Folyamatosan méri közvetlen környezetének számos fizikai paraméterét, és csupán a NASA földi rádiótávcsöveinek leterheltségén múlik, hogy a mért adatoknak átlagosan csak mintegy felét tudjuk fogadni és további feldolgozásra előkészíteni. Jelenlegi témánk szempontjából legfontosabbak a különböző energiájú töltött részecskékre és a mágneses térre vonatkozó mérési adatok. Fontos kiemelni, hogy a szonda léptető motor segítségével körbeforduló platformot is tartalmaz, amely bizonyos energiatarományokba eső részecskék fluxusának irányeloszlását is képes mérni. E mozgó rész ilyen hosszú idő eltelte után és ilyen mostoha körülmények között is kifogástalan működése valódi műszaki bravúrként értékelhető. A Voyager szondák által mért adatok közül néhány már egy héten belül, legtöbb pedig 1–3 hónapon belül hozzáférhető a világhálón keresztül. Természetesen vannak olyan kiegészítő adatok is (pl. a különböző zavaró hatások miatt fellépő háttér), amelyekhez csak a Voyager programjaiban közreműködők férhetnek hozzá.

A Voyager-1 a Naprendszer bolygói közül csak a Jupitert és a Szaturnuszt látogatta meg, az Uránuszt és Neptunuszt a szintén 1977-ben felbocsátott Voyager-2-re hagyva. A nagybolygók környezetének igen nagy sugárterhelését mindkét szonda viszonylag jól túlélte, csupán a Voyager-1 plazmatektora hibásodott meg a Szaturnusz közelében. E meghibásodás miatt a Voyager-1 ma sem tudja közvetlenül mérni a napszél jellemzőit (pl. sűrűségét, sebességét, irányát, hőmérsékletét), csupán a nagyobb energiájú részecskék irányeloszlásából és energiaspektrumából következtethetünk e paraméterek némelyikére. A Szaturnusz gravitációs hatására a Voyager-1 az ekliptika síkjától északra fordult. Jelenleg (2005 augusztusában) 34 fokos ekliptikai szélesség mellett mintegy 96 CsE távolságban halad kifelé a Naprendszerből (1 CsE a Nap és Föld közötti középtávolság = 149,6 millió km). A Voyager-2 a Neptunusszal való találkozás után délre fordult, és jelenleg a Naptól mintegy 77 CsE távolságban, –24 fokos ekliptikai szélesség mellett halad kifelé, a Voyager-1-nél valamivel lassabban.

A napszél által kitöltött, ma helioszférának nevezett plazmatartomány határovezeteiről az űrkorszak előtt is voltak már közvetett információink, bár akkor még magának a napszélnek a létezése sem volt bizonyított. E külső övezeteken keresztül jut el ugyanis hozzánk a nagyenergiájú töltött részecskékből álló galaktikus kozmikus sugárzás, melynek intenzitásváltozásaiból már akkor tudtuk, hogy a 11 éves naptevékenységi ciklus befolyásolja e részecskék Naprendszerbe hatolását. Ezt a naptevékenységtől függő módosító hatást a kozmikus sugárzás modulációjának nevezzük. Napfoltmaximumok idején kisebb, mi-

nimumok idején nagyobb intenzitású kozmikus sugárzás érkezik hozzánk. Minél nagyobb a kozmikus részecskék energiája, annál kisebb az intenzitásváltozás.

Később, a múlt század 70-es éveiben az is nyilvánvalóvá vált, hogy a Földünk környezetébe érkező nagyenergiájú részecskék nemcsak a galaktikus kozmikus sugárzásból és különféle napkitörésekből származnak, hanem van egy úgynevezett „anomális”, nagyrészt egyszerezen töltött ionokból álló komponensük is, amely minden bizonnyal a helioszféra határtartományaiban gyorsul fel mintegy 100–200 MeV/nukleon maximális energiákra. E komponens más elemösszetételű, és intenzitása sokkal érzékenyebben reagál a naptevékenység 11 éves változásaira, mint a nagyobb energiájú galaktikus kozmikus sugárzás. E komponens forrását kutatva kiderült, hogy az úgynevezett „felszedett” vagy pick-up ionokból származik, amelyek a csillagközi gáz helioszféránkba belépő semleges atomjainak ionizációjakor jönnek létre. A Naptól kifelé fúvó, mágneses teret is magával vivő szuperszonikus napszél ezeket az ionokat magával sodorja egészen a helioszféra határvidékéig, ahol azok jelentős része nagy energiákra gyorsul fel, és részben ismét visszaáramlik a helioszféra belsejébe. Mivel már a napszélben terjedő, nagy napkitörések során létrejövő lökeshullámokban is jól megfigyelhető volt a részecskegyorsítás, kézenfekvő volt az a feltételezés, hogy az anomális komponens keletkezési helye az a hatalmas lökeshullám, amely elméleti várakozások szerint a napszél belső, szuperszonikus és külső, szubszonikus tartományát választja el (szokásos angol nevén: „termination shock”, rövidítése: TS).

Mivel a környező, részlegesen ionizált csillagközi gázhoz képest Napunk (és vele együtt az egész helioszféra) mintegy 26 km/s sebességgel mozog, a napszél és a csillagközi gáz között már a legegyszerűbb modellszámítások szerint is elég bonyolult szerkezetű kölcsönhatási tartomány alakul ki. A csillagközi gáz ionizált komponense nem keveredik könnyen a szintén ionizált napszélplazmával, ezért a napszélplazma által kitöltött helioszféra üstökösöz hasonló alakban ágyazódik be a csillagközi szélbe. Mivel a két közeg relatív sebessége valószínűleg nagyobb a csillagközi gázban érvényes hullámterjedési sebességnél, a csillagközi gázban is lökeshullám (orrhullám) alakul ki a helioszféra előtt. E lökeshullám és a helioszféra között a csillagközi gáz ionizált komponense eltérül, és hüvelyként veszi körül a helioszférát. A helioszférán belül a Naptól kifelé áramló szuperszonikus napszél uralta belső, valószínűleg közel gömb alakú „buborékot” a szubszonikus „köpeny” (vagy belső hüvely) veszi körül. Ez a forró, szubszonikus gáz a belső lökeshullámtól (TS) kifelé haladva az üstökösök kómájához hasonlóan egyre inkább oldalirányban, majd a csillagközi gáz mozgásának irányában áramlik a csóva felé. A csillagközi gáz semleges ato-

mokból álló komponense az ionizált komponenstől eltérően szinte akadálytalanul hatol be a helioszférába, ahol egy részük a napszéllal való töltéscsere és a Nap UV-sugárzása hatására ionizálódik, majd a napszél által „felszedett”, kifelé sodródó ionná válik.

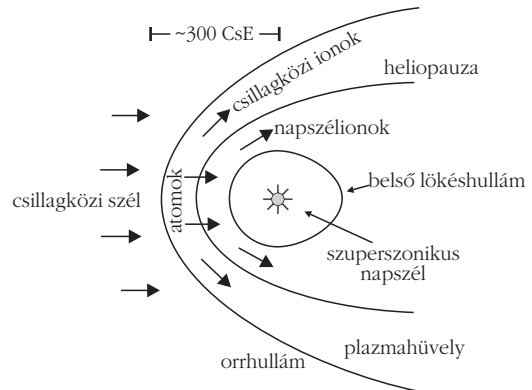
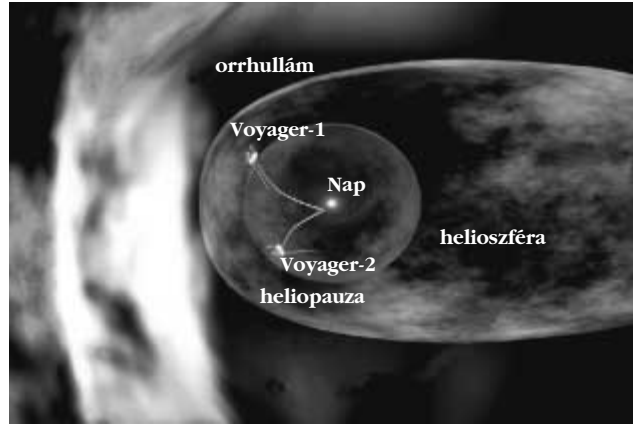
Ezt a sematikus, az 1. ábrán bemutatott képet tovább bonyolítják a különböző valószínűsíthető instabilitások, a szoláris és csillagközi eredetű mágneses terek dinamikai hatása és várható összecsatlódása, a pick-up ionok és a részecskegyorsítás visszahatásai, a kozmikus sugárzás modulációjának visszahatása. E jelenségekről a *Fizikai Szemle* egy korábbi számában már részletesebben is beszámoltam [1].

A napszélbuborék

Valóban buborék-e a napszélbuborék? Annyiban igen, hogy a szappanbuborékhoz hasonlóan itt is éles elválasztó felület van a belső és külső közeg között, és a belső tartomány méretét itt is nyomásegyensúly határozza meg. A csillagászati megfigyelések sok hasonló buborékszerű képződményt találtak aktív csillagok környezetében és korábbi robbanások maradványaiban.

A szappanbuborék-analógia azonban sántít. A belső tartományban lévő gáz itt szuperszonikus sebességgel áramlik kifelé, és a gáz nyugalmi rendszerében érvényes termikus nyomást sokszorososan meghaladja az irányított mozgással kapcsolatos dinamikai nyomás. Ez utóbbi tart egyensúlyt a lökeshullám helyén a külső nyomással. A szappanbuborék kialakulásánál lényeges felületi feszültségnek itt nincs szerepe. A „buborék” határán az áramló gáz sebessége lecsökken, de nem válik zérussá. Az anyagáramlás folytonosságának biztosítására ahányad részére csökken a sebesség, annyiszorosára nő a sűrűség. Hasonló kontinuitási egyenletek érvényesek a mágneses térre is (Rankine–Hugoniot-feltételek). Az irányított áramlással kapcsolatos kinetikus energia a határfelületnél lecsökken, és részben termikus, részben mágneses energiává alakul, sőt ebből az energiából futja részecskegyorsításra is. Az éles elválasztó felületek megjelenése itt az áramlás szuperszonikus jellegével kapcsolatos, amely miatt a gáz áramlása nem tud jó előre idomulni egy útjába kerülő akadályhoz.

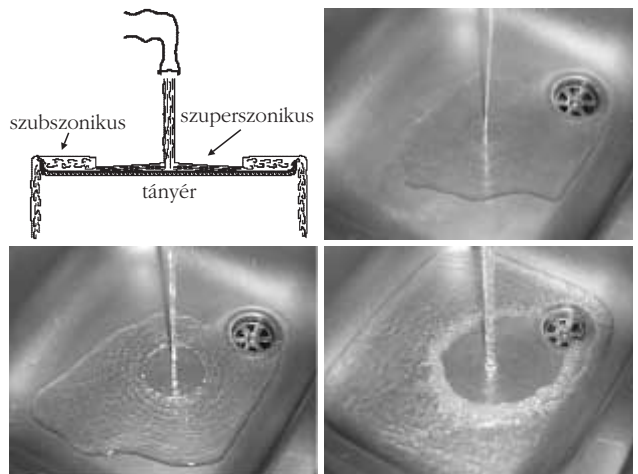
A sok szempontból félrevezető szappanbuborék-analógiánál jobb, fizikailag relevánsabb képpel szemléltette az itt végbemenő folyamatokat *Ian Axford* [2], amikor a napszél és a csillagközi gáz kölcsönhatását egy csap alá tartott tányérban megfigyelhető vízáramláshoz hasonlította. A tányérra érkező vízszög a tányér mentén radiálisan kifelé áramlik, és sebessége meghaladja a vízben és annak felszínén terjedő hullámok sebességét. A tányér pereme jelképezi a csillagközi gáz nyomását (ez utóbbi közeg áramlása a modell kidolgozása idején még nem volt ismeretes). A tányéron a víz sebessége és mélysége a „szuperszonikus” és „szubszonikus” tartomány határán ugrásszerűen megváltozik. A 2. ábrán Axford eredeti vázlata mellett bemutatunk néhány fényképfelvételt, amelyek tányér helyett egy konyhai lefolyóban mutatják be a csapból áramló vízszög különböző erőssége mellett létrejövő folyamatokat. Az oldalal a kifelé áramló vizet a lefolyó felé téríti, így a „buborék”

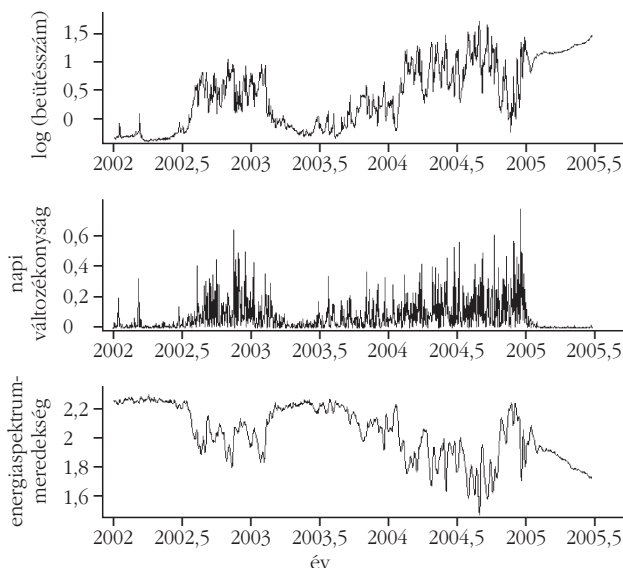


1. ábra. A helioszféra szerkezetének NASA-dokumentumokban gyakran szereplő fantáziaképe és sematikus, a fontosabb elválasztó felületeket feltüntető és a különböző eredetű komponensek áramlását bemutató metszete.

áramló közegben jön létre, ami alakját – különösen a legerősebb vízszög esetén – némileg módosítja. Látható, hogy a vízszög erősségét növelve a kétféle áramlást elválasztó zóna is kiszélesedik, és különböző instabilitásokra utaló jeleket mutat. Ezek okozója természetesen nemcsak a „szuperszonikus” zóna változó áramlási sebessége, hanem részben a beeső vízszög turbulenciájának változása is lehet. Az okok alaposabb vizsgálatához sokkal gondosabb,

2. ábra. Csapból tányérra folyó víz mint a helioszféra belső lökeshullámának *Ian Axford* által javasolt analogonja. A konyhai lefolyóban ehhez hasonló, de áramló vízben létrejövő lökeshullámot látunk. A csapot egyre jobban megnyitva egyre bonyolultabb szerkezetű áramlási kép alakul ki. (*Király Tamás* felvételei)





3. ábra. A 0,5 MeV-nél nagyobb energiájú ionok logaritmusos beütésszáma (fent), napi változékonysága (középen), és a 40 keV-től 4 MeV-ig terjedő energiaspektrum mereksége (lent). Részleteket lásd a szövegben.

kontrollált körülmények között végzett kísérletekre lenne szükség. Mindenesetre ez az egyszerű modellkísérlet is mutatja, hogy még ebben a napszél áramlásához képest rendkívüli mértékben leegyszerűsített esetben is sok előre nem látható bonyodalom lép fel.

Ma még vitatott, hogy a bolygóközi és csillagközi mágneses tér milyen mértékben befolyásolja a szuperszonikus és szubszonikus napszél közötti lökeshullám tulajdonságait. A bolygóközi mágneses tér egyértelműen a Naptól ered. A Nap koronájában (2–3 napsugár távolságra) a Naptól kiinduló mágneses tér nagyrészt hurkokat képez, és csak az erővonalak kis része lép ki a jó elektromos vezető napszélbe fagyva a bolygóközi térbe. A Nap forgása és a kifelé áramló napszél miatt a mágneses tér arkhimédieszi spirál struktúrába rendeződik, és irányultsága (vagyis hogy az egyes spirálok mentén a Nap felé vagy attól elfelé mutat) attól függ, hogy a napkorona mely részéből indult ki az illető spirál. Naptevékenységi minimum idején a kétféle polaritást egy enyhén hullámos, a Nappal együtt forgó felület („áramlemez”) választja el, amely a naptevékenységi maximum felé haladva egyre hullámosabbá és bonyolultabb szerkezetűvé válik. A mintegy 11 évenként (legutóbb 2000–2001-ben) fellépő napfoltmaximum idején a Nap mágneses tere fokozatosan átfordul, vagyis az áramlemeztől északra és délre eső spirálok mentén a polaritás ellenkezőjére változik. A Földnél a bolygóközi mágneses tér iránya átlagosan mintegy 50–60 fokos szöveget zár be a Nap irányával, a napszél sebességétől függően. E szög a Naptól kifelé haladva egyre közelebb kerül a derékszöghöz.

Bár a mágneses tér a Naphoz közeli tartományokon túl nem fejt ki lényeges hatást magának a napszélnek az áramlására, fontos hatást gyakorol a nagy energiájú töltött részecskék terjedésére. E részecskék áramlása elsősorban a mágneses tér mentén megy végbe. A lökeshullámnál várhatóan a mágneses tér dinamikai szerepe is megnő, de valószínűleg nem annyira, hogy lényegesen befolyásolja a napszélben kialakult lökeshullámot. Befo-

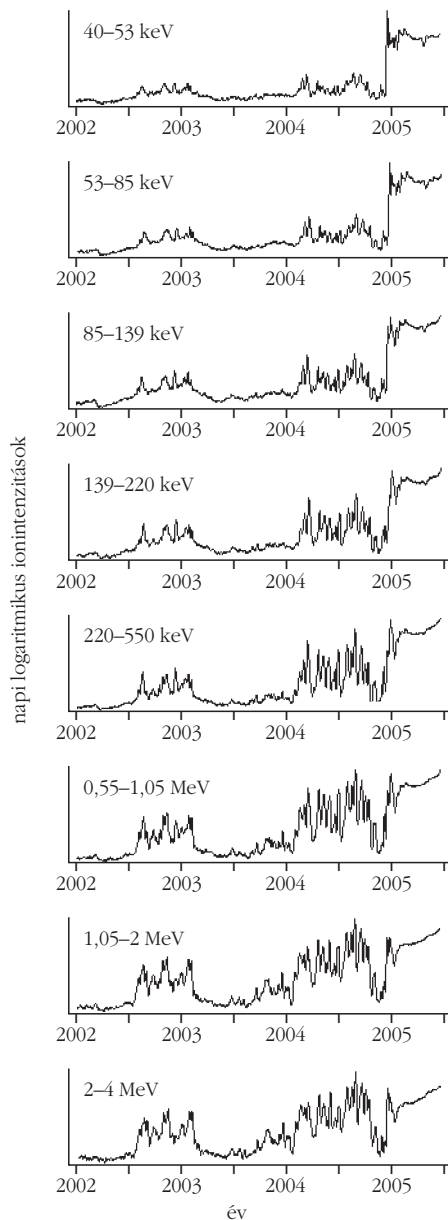
lyásolhatja viszont a nagyobb energiájú részecskék gyorsulását és terjedési viszonyait. Emellett a lökeshullámon túl, az egyre lassuló napszélben a mágneses tér szerepe megnőhet, és a nagyrészt még ismeretlen csillagközi mágneses térrel való esetleges összecsatolódája váratlan jelenségekhez vezethet.

A Voyager-1 útja a lökeshullám felé és azon túl

A Voyager-1 űrszonda először 2002 nyarán, a Naptól 85 CsE távolságban találkozott a lökeshullám közelségére utaló határozott jelekkel. Bár a szonda által mért részecskefluxusok korábban is mutattak némi változékonyságot, ez általában közvetlenül kapcsolatba hozható volt a naptevékenység változásaival, elsősorban a Nap nagy kitöréseivel. A Naptól távol e kitörések csak viszonylag lassan és kis mértékben változtatták meg a nagyenergiájú részecskék intenzitását, bár magában a napszélben elég hirtelen sebességugrásokat is előidézték. A 2002 júliusában kezdődő változások a korábbiaknál jóval gyorsabbak és nagyobbak voltak. A 3. ábra felső mezőjében bemutatjuk a 0,5 MeV-nél nagyobb energiájú ionok intenzitásváltozásait 2002. január – 2005. június között, logaritmusos léptékben. A középső mező a napi változékonyságot szemlélteti (pontosabban: az egymást követő napok átlagos logaritmusos intenzitásai különbségének abszolút értékét). Végül az alsó mező a hatványfüggvénynek tekintett energiaspektrum (negatív) spektrális kitevőjének változásait mutatja be a fenti időszakra. A spektrumot a 40 keV-től 4 MeV-ig terjedő mérési adatokból számoltuk [3], amelyet a Voyager-1 műszerei 8 energiacsatornában fednek le. A kitevő nagy értéke az energia függvényében gyorsan csökkenő intenzitásra mutat (lágy spektrum), míg a kis értékek kevésbé meredek, kemény spektrumot jelentenek. A valóságban a spektrum a megadottnál is keményebb, mivel a kisebb energiájú csatornáknál jóval nagyobb háttér származik a kozmikus sugárzásnak a szonda és a műszer anyagával való kölcsönhatásából, mint nagyobb energiák esetén; e háttér pontos értéke azonban nem ismert.

Mint a felső mezőben látható, a 2002 júniusában kezdődött intenzitásnövekedés mintegy hat hónapig tartott. Ezt követően, 2003 őszén nagy vita alakult ki arról, hogy a szonda ekkor már túljutott-e a lökeshullámon, majd hat hónap múltán a lökeshullám gyors kifelé mozgása miatt ismét visszakerült a szuperszonikus napszélbe, vagy csak érzekelte a lökeshullám hatását, de túl nem jutott rajta [4, 5]. A kérdést végül a mágneses térre vonatkozó mérések döntötték el, amelyek szerint az adatok nem mutatták a mágneses tér szubszonikus tartományra jellemző megnövekedését.

Ugyancsak a 3. ábra felső mezőjében látható az intenzitás csekély mértékű megnövekedése 2003 második felében, majd az összes korábbinál sokkal nagyobb, fluktuálva növekvő intenzitások jelentek meg 2004 elejétől kezdve. A növekedés 2004 őszéig folytatódott több lépésben, majd októberben és novemberben ismét csökkent a mért intenzitás. Érdekes, hogy a középső mezőben látható változékonyság 2003 közepe után fokozatosan növekvő csúcsokat mutat, beleértve 2004 októberét



4. ábra. Napi logaritmusos ionintenzitások 2001 januárja és 2005 júniusa között, nyolc energiaintervallumban, [3] alapján. A maximális intenzitásváltozásokat minden energián azonos függőleges skálára normáltuk. Jól látható, hogy 2004 decemberének közepén kis energiákon jelenik meg a legélesebb csúcs, és itt haladja meg leginkább a lökeshullámot követő intenzitás az azt megelőző időszakét. A lökeshullámot követő intenzitásnövekedés viszont inkább a nagyobb energiájú csatornákra jellemző.

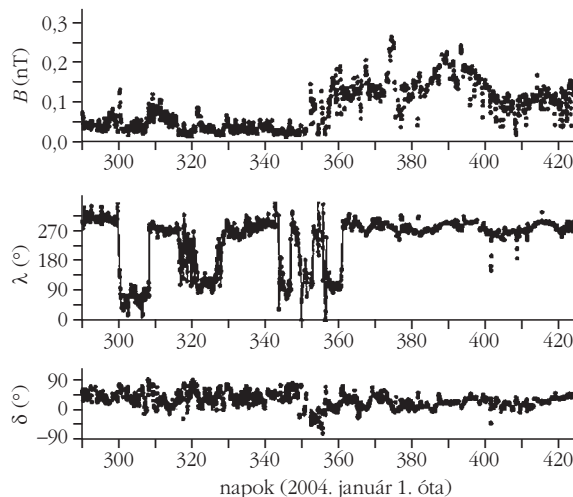
és novemberét, valamint december első felét is. December elejétől maga az intenzitás is növekedésnek indul, bár eközben erősen fluktuál. Az év vége előtt eléri maximumát, majd rövid csökkenés után a fluktuáció drasztikusan lecsökken, és az intenzitás folyamatosan nő. A változékonyság december közepe után gyorsan csökkenni kezd, majd 2005 egész vizsgált időszakában rendkívül alacsony szinten marad. Ugyanakkor az alsó mezőben látható spektrális index is folyamatosan csökken, vagyis a spektrum egyre keményebbé válik.

A 3. ábrán bemutatott adatok alapján világos, hogy a fél MeV-nél nagyobb energiájú részecskék viselkedése 2004 decemberének közepétől alapvetően megváltozott.

Még világosabb bizonyítékot kapunk a drasztikus változásra, ha a 40 keV-től 4 MeV-ig terjedő 8 csatorna mért intenzitását külön-külön vizsgáljuk. Ezt mutatjuk be a 4. ábrán. A logaritmusos fluxusok változásait itt azonos intervallumra normáltuk (Scaled Log Flux), hogy a görbék könnyebben összehasonlíthatók legyenek. E görbék már sokkal határozottabb változást mutatnak december közepén, mint a korábban tárgyalt integrális intenzitás. Különösen a legkisebb energiákon emelkedik ki a december 15-i csúcs, amely után folyamatosan a korábbi időszakoknál jóval nagyobb intenzitás észlelhető. Sajnos éppen december 16-án, amikor egybehangzó vélemény szerint a szonda áthaladt a lökeshullámon, nincs mérési adat. Egyébként a 2004 januárja óta eltelt időszakban ez az egyetlen nap, amelyről telemetriai problémák miatt nem kaptunk adatot. E szerencsétlen technikai hiba valószínűleg a lökeshullám szerkezetére vonatkozó igen fontos adatoktól fosztotta meg a kutatókat.

A kis energiákon fellépő igen éles intenzitáscsúcs, az ezt követő nagy és időben lassan változó ionintenzitás, a részecskék irányeloszlásának közel izotroppá válása (amit az erre vonatkozó adatok meglehetősen bonyolult volta miatt itt nem tárgyalunk) együttesen elég meggyőzően bizonyítja, hogy a Voyager-1 űrszonda 2004. december 16-án átlépett a szuperszonikusból a szubszonikus napszélbe, és ezzel új típusú, korábban nem vizsgált plazmatartományba jutott. A szonda részecskedetektorainak vezető kutatói e bizonyítékok dacára is több hónapig vártak, mielőtt az áthaladás tényét bejelentették. Döntő bizonyítékként a mágneses tér megnövekedését szerették volna bemutatni, hiszen 2002–2003-ban éppen a mágneses tér változásának hiánya bizonyította, hogy az átlépés akkor nem történt meg. Végül 2005. május 24-én, amikor már a gondosan ellenőrzött mágneses adatok is rendelkezésre álltak, az Amerikai Geofizikai Unió közgyűlésén megtörtént a nagy visszhangot kiváltó bejelentés. Az 5. ábrán Norman Ness, a magnetométer vezető kutatója

5. ábra. A Voyager-1 szonda mágneses adatainak órás átlagai a lökeshullámot megelőző és azt követő mintegy két-két hónapos időszakokban, [6] alapján. A felső mező a mágneses tér erősségét, a középső és alsó pedig annak irányát jellemzi a Voyager szondáknál használt speciális koordináta-rendszerben. A középső mezőben látható 180 fokos irányváltások mágnesszektor-átmeneteket jeleznek. A lökeshullámon (TS) való áthaladás 2004. december 16-án, az év 351. napján következett be.



2005 augusztusában elhangzott előadása és megjelenés alatt álló cikke alapján (az ő engedélyével) bemutatjuk a kritikus időszakra vonatkozó mágneses adatokat [6].

Mint az 5. ábrán jól látható, a mért mágneses tér erőssége a várakozásoknak megfelelően jelentősen (mintegy 3–4-es faktossal) megnőtt a lökeshullámon való áthaladás után. Érdekes a középső mező is, amely az áthaladás előtt mutat ugyan „szektorátmeneteket”, vagyis a mágneses tér irányának átfordulásait, de a lökeshullám után eltelt néhány napot követően legalább két hónapig a mágneses tér iránya lényegében változatlan marad. Külön érdekesség, hogy bár a Voyager-1 szonda az ekliptika síkjától 34 fokos északi szélességen halad kifelé, a mágneses tér iránya ebben a két hónapos időintervallumban a déli féltekére jellemző mágneses polaritást mutat.

Az energikus töltött részecskékre és a mágneses térre vonatkozó mérési adatok alapján tehát ma minden kutató egyetért abban, hogy 2004. december 16-án a Voyager-1 szonda kilépett a szuperszonikus napszélbuborékból. A mérési eredmények értelmezésének egyéb kérdéseiben viszont távolról sincs ilyen összhang. Nem világos, miért terjedtek ki ilyen hosszú időszakra a lökeshullámot megelőző intenzitásváltozások. Az anizotrópiaadatok ellentmondani látszanak a lökeshullám közelítőleg gömb-szimmetriájának. A lökeshullámon felgyorsult részecskék energiája túl kicsinek látszik ahhoz képest, amit a belső helioszférában végzett mérések alapján vártunk. A lökeshullámon túl mért anizotrópia túl kicsinek látszik ahhoz képest, ami az elméletileg számolt napszélsebesség alapján következne. Ezek mellett további kérdések izgatják a kutatókat, és valószínűleg még évek mérési adatai és elméleti erőfeszítései kellene a konszenzus eléréséhez és a helioszféra külső tartományának jobb megértéséhez.

Mi várható a továbbiakban?

A Voyager-1 és Voyager-2 űrszonda évente mintegy 3 CsE-et megtéve halad kifelé a Naprendszerből. Radioaktív bomláson alapuló energiaellátásuk valószínűleg legalább 2020-ig biztosítani tudja, hogy adatokat továbbítsanak a Földre, még ha az adatmennyiség egyes mérő-

műszerek végleges kikapcsolása vagy ritkább bekapcsolása miatt csökken is. A helioszféra köpenyének becsült vastagsága alapján kétséges, hogy a Voyager-1 ez idő alatt kijut-e a szubszonikus napszélből a csillagközi gázt tartalmazó külső köpenybe vagy hüvelybe. Az viszont biztosra vehető, hogy a Voyager-1 további igen értékes és részben váratlan adatokat fog hozzánk továbbítani a szubszonikus tartomány részecskefluxusairól és mágneses tereiről. A KFKI RMKI Kozmikus Fizikai Főosztályának kutatói elsősorban a belső helioszférában korábban végzett mágneses és részecskeeloszlásokra vonatkozó mérések tanulságai alapján igyekeznek megérteni az új környezetben lezajló folyamatokat.

2005 júniusa óta a Voyager-2 szonda által mért intenzitások is hasonló változékonyságot mutatnak, mint amilyeneket a Voyager-1 szonda 2002 júliusától, jóval nagyobb heliocentrikus távolságokban mért. Ez arra utal, hogy néhány éven belül a Voyager-2 is átlépheti a lökeshullámot (könnyen lehet, hogy többször is, a lökeshullám mozgásától függően). A Voyager-2 áthaladása azért is nagyon érdekes lesz, mert ennek a szondának a plazmadetektora kiválóan működik, így a napszélre vonatkozó adatokat közvetlenül is tudjuk majd mérni, nem kell az energikus részecskék anizotrópiája alapján tett bizonytalan becslésekre hagyatkoznunk. Várható, hogy a két szonda mérési eredményeinek együttes elemzése elvezet helioszféránk, és ezzel együtt a csillagok környezetében kialakuló analóg asztroszférák jobb megértéséhez.

Irodalom

1. KIRÁLY PÉTER: *Szoláris, helioszférikus és kozmikus részecskesugárzás* – Fizikai Szemle 51/8 (2001) 238
2. W.I. AXFORD, S.T. SUESS: *The Heliosphere* – Web dokumentum, URL: web.mit.edu/space/www/helio.review/axford.suess.html
3. P. KIRÁLY: *The way out of the Bubble: implications of recent Voyager-1 data* – Proceedings of the 29th International Cosmic Ray Conference, Pune, India (2005); közlésre elfogadva.
4. S.M. KRIMIGIS ÉS MÁSOK: *Voyager 1 exited the solar wind at a distance of ~85 AU from the Sun* – Nature 426 (2003) 45
5. F.B. McDONALD ÉS MÁSOK: *Enhancements of energetic particles near the heliospheric termination shock* – Nature 426 (2003) 48
6. N.F. NESS ÉS MÁSOK: *Studies of the termination shock and heliosheath at >92 AU; Voyager 1 magnetic field measurements* – Proceedings of the 29th International Cosmic Ray Conference, Pune, India (2005); közlésre elfogadva.

OPTIKAI FREKVENCIAMETROLÓGIA, AVAGY MIRE JÓK A FREKVENCIAFÉSŰK?

Dombi Péter
MTA Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet

Amikor a Nobel-díj kihirdetést követő órákban a kísérleti munkájáért díjazott *Theodor Hänsch* német tudósnak szegeztek azt az újságírói kérdést, hogy miért is nyerhette el ezt a kitüntetést, tömören és szerényen (és mellel teljesen helytállóan is) úgy fogalmazott: „Nagyon pontos méréseket végeztem...” Ő *John Hall* amerikai fizikussal megosztva kapta a díj felét a „lézeralapú precíziós spektroszkópiában” elért eredményekért, az „optikai frekven-

ciafésű-technikát is beleértve”. Sokan esetleg már arról is értesültek, hogy a frekvenciafésűk a femtoszekundumos fényimpulzusokat kibocsátó lézerekre épülnek. Talán nem árt a következőkben ezekre az összefüggésekre pontosabban is rávilágítani annak kapcsán, hogy mik is ezek a különleges nevű eszközök, nem megfelelően a szép számban rendelkezésre álló érdekes alkalmazásokról és magyar vonatkozásokról sem.

Femtosekundumos lézerek

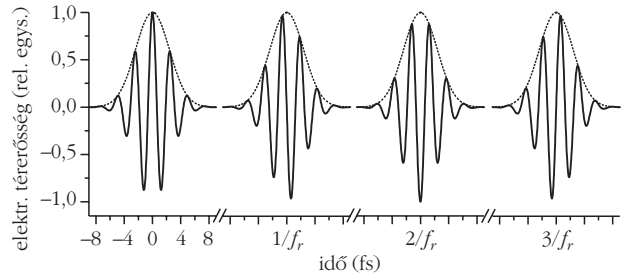
Mindenki látott már szivárványt vagy egy egyszerű üvegprizmán való áthaladáskor spektrális komponenseire bomló napfényt. A mindennapi lézerekről viszont legtöbbször a monokromatikusság jut eszünkbe: a vonalkódeolvasók és lézeres kulcstartók vörösétől kezdve a lézershow-k zöld színéig sokféle tiszta színű lézerfényvel találkozhatunk mindennapjainkban is. Az utóbbi évek lézerfejlesztései viszont lehetővé tették azt is, hogy bizonyos laboratóriumi lézerek a Nap sugárzásához hasonló, közel fehér (vagyis nagyon széles színskálát magában foglaló) sugárzást bocsássanak ki. Ismert, hogy a különböző hullámhosszak különböző foton energiáknak felelnek meg, tehát az ilyen lézerek fényét úgy is tekinthetjük, mint amit nagyon nagy (foton)energia-határozatlanság jellemez. Ezek után az sem meglepő, hogy az ilyen lézerek nem folytonos, hanem nagyon rövid ideig tartó, femtosekundumos fényfelvillanásokra, lézerimpulzusokra korlátozódó sugárzást adnak.

És ezen a ponton rögtön meg is kell emlékeznünk a legutóbbi fizikai Nobel-díj egy magyar vonatkozásáról: az ilyen ultragyors szilárdtestlézerek fejlesztésében egy 1994-es újítás is kulcsszerepet játszott: az MTA Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézetében találták fel azokat az – attól fogva világszerte, így a Nobel-díjas kutatásokhoz igénybe vett lézerekben is felhasznált – speciális, fáziskorrigáló (angolul chirped, s magyarul is néha „csörpölt”) tükröket, melyek azután lehetővé tették 10 fs-nál is rövidebb, mindössze 1–2 optikai ciklusból¹ álló lézerimpulzusok előállítását. Az ilyen tükrökre épülő lézereket joggal tekinthetjük tehát a Nobel-díjas mérésekhez felhasznált műszerek előfutárainak.

Frekvenciafésűk és ultrapontos mérések

Tovább árnyalja a helyzetet, hogy ezek a femtosekundumos, úgynevezett módusszinkronizált lézerek a fényimpulzusokat periodikusan, több tucat MHz-es ismétlési frekvenciával adják. Egy ilyen tipikus impulzusvonulatot ábrázol az 1. ábra. Az elektromágneses tér ilyen lefutásának frekvenciatartománybeli képe (vagyis a lézer spektruma) egy frekvenciafésű: a széles burkoló alatt – amely a vonulatbeli impulzusok extrém rövidsége miatt felöllelheti akár a teljes látható tartományt is – diszkrét, egyenkénti fésűfogak jelennek meg az impulzusok periodikus ismétlődése miatt. A fésűfogak távolsága pedig fix és éppen az f_r ismétlési frekvenciával egyenlő. Így tehát akár egy pontos frekvenciareferencia is keletkezhetne, ha a struktúrát egyedül f_r határozná meg, hiszen ez a paraméter a lézerrezonátor hosszának függvénye, amit bevett módszerekkel stabilizálni lehet. Van viszont még egy paraméter, mégpedig a teljes frekvenciafésű ofszetje (2. ábra, f_{ceo}), amely nagyon érzékenyen reagálhat bármely, lézerrezonátorbeli termikus vagy mechanikai fluktuációra, vagy akár a femtosekundumos lézert pumpáló másik, általában folytonos lézer teljesítményzajára. Az ebből

¹ Optikai ciklusnak nevezik a λ_0/c időt, az elektromágneses hullám periódusidejét.

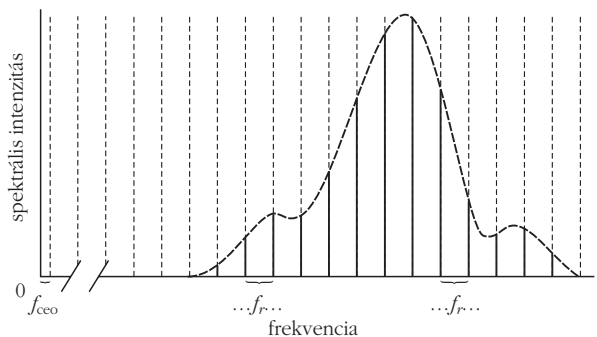


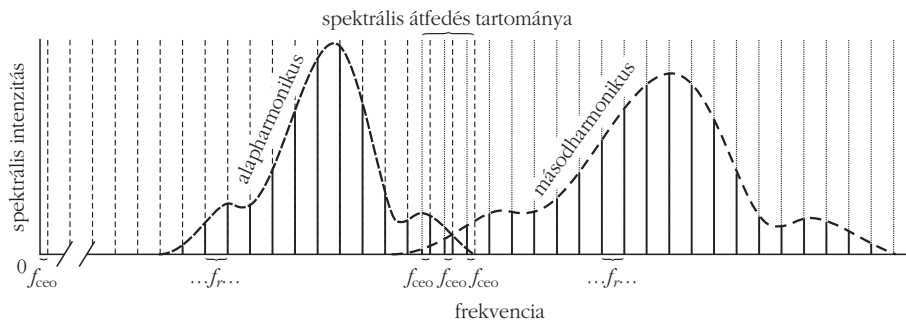
1. ábra. Egy femtosekundumos lézer által kibocsátott, 4 fs-os lézerimpulzusokból álló impulzusvonulat. Az impulzusok változatlan gaussi burkolója mellett az elektromos tér többféle lefutása is megvalósulhat.

származó fluktuáció, vagyis a frekvenciafésűnek a fix spektrális burkoló alatt történő fel-alá vándorlása (2. ábra) mind ez ideig nemigen zavarta az ilyen lézerek felhasználóit, hiszen egy ilyen zaj mellett a lézerimpulzusok időtartománybeli képe meglehetősen változatlan marad (pontosabban szólva az ismétlési frekvenciát és az impulzusok időbeli burkolójának lefutását ez nem befolyásolja). Hiperpontos spektroszkópiára, frekvenciamérésre viszont nyilvánvalóan alkalmatlan egy ilyen zajos, fel-alá mozgó frekvenciafésű. Az eddigieket tehát matematikai alakba öntve: az n -edik fésűfog pozícióját az $f_n = n f_r + f_{ceo}$ egyenlettel lehet leírni, ahol n egy nagy természetes szám, és a fentiek alapján f_{ceo} jelentős zajjal terhelt is lehet. Az f_{ceo} ofszet stabilizálását viszont megnehezíti az a tény, hogy nem lehet közvetlenül mérni: a 0 frekvencia közelében nincs jel (2. ábra).

A Nobel-díjasokat viszont nem tántorította vissza ez a tény, és nem adták fel azt, hogy valaha egy ilyen, spektrális tartománybeli vonalzó segítségével frekvenciát, hullámhosszat mérhessenek. A lézertechnológia fejlődése azonban csak 4–5 éve tette lehetővé azt a lépést, ami – az erre épülő alkalmazásokkal együtt – mostanra már Nobel-díjat is ért. Az alapötlet a következő volt: az optikában már a lézerek fél évszázada történt megjelenése óta ismert a frekvenciaékszerezés: megfelelő nemlineáris kristályokban például 800 nm-es vörös fényből 400 nm-es kék fényt lehet előállítani. Ha a frekvenciafésűnkön hajtjuk ezt végre, akkor a spektrális tartományban egy másodharmonikus frekvenciafésű-másolat jelenik meg (3. ábra), $2(n f_r + f_{ceo})$ -nál elhelyezkedő fésűfogakkal. Ha ezen felül az eredeti fésű oktáv szélességű, akkor a másodharmonikus fésű alacsony frekvenciás vége átfed az eredeti nagyfrekvenc-

2. ábra. Femtosekundumos lézerimpulzus-vonulat spektrális tartománybeli képe: a frekvenciafésű. (Mióta a spektrális burkoló itt a szemléletesség kedvéért már nem gaussi, ezért ez az 1. ábrán levőtől egy kissé különböző impulzusvonulat frekvenciatartománybeli képe.)

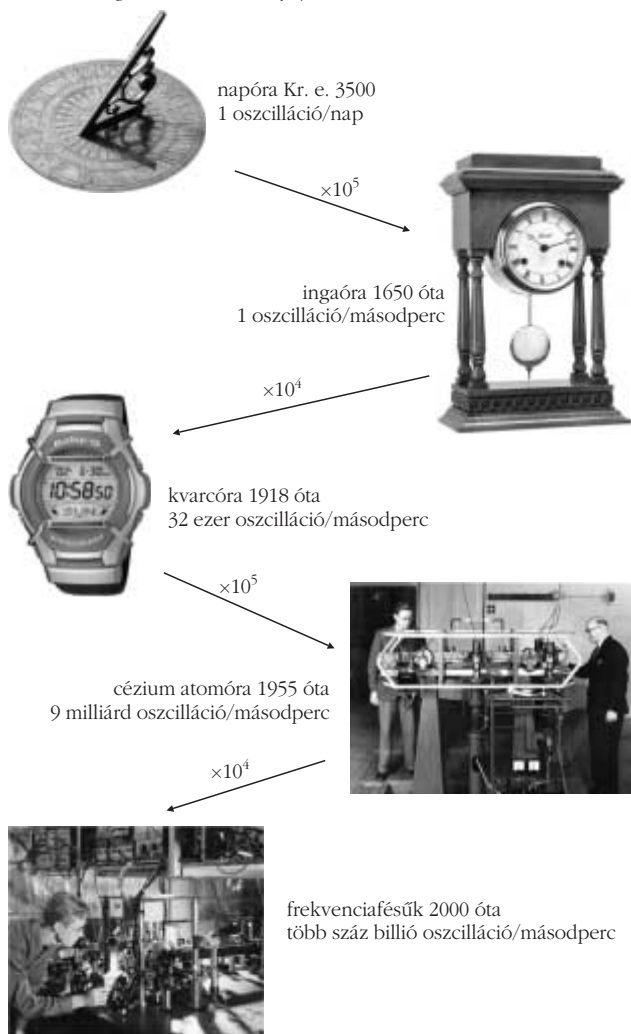




3. ábra. Módszer a frekvenciafésű ofszetjének stabilizálására (a további magyarázatot lásd a szövegben).

ciás végével, és az átfedési tartományban a két fésűből származó fogak közti lebegési frekvencia éppen az eredeti fésű ofszetjével lesz egyenlő, mint azt egyszerűen ellenőrizni is tudjuk a $2(nf_r + f_{ceo}) - (2nf_r + f_{ceo}) = f_{ceo}$ egyenletből. Miután ez a frekvencia 0 és f_r között van, ezért ez elektronikus eszközökkel feldolgozható, és a lézeroszcillátorba vissza lehet csatolni egy olyan hibajel-t, mellyel az oszcillátor ezen utolsó, kontrollálatlan paramétere is szabályozhatóvá válik.

4. ábra. Az időmérés fejlődése. Minél gyakrabban bekövetkező, periodikusan ismétlődő eseményeket választunk az időmérés alapjául, annál pontosabb óránk lesz. A nyílakon szereplő számok az eszközök közti hozzávetőleges frekvenciaarányt jelzik.



Ha pedig ilyen módon adott már egy fix frekvenciafésű, akkor ultrapontos méréseket sem nehéz már végezni: csak annyit kellene tudni, hogy mely két fésűfog között van a mérendő spektrumvonal (ez a körülbelüli érték klasszikus spektroszkópiai módszerekkel könnyedén meghatározható), majd a két szomszédos fésűfoghoz viszonyított lebegési frekvencia (amely né-

hány MHz-es, a rádiófrekvenciás tartományba eső, vagyis nagyon pontosan mérhető jel) meghatározásával már igen nagy pontossággal is meg lehet állapítani a mérendő spektrumvonal helyét. Egy ilyen fix, referenciavonalakat adó fényforrást talán indokoltabb is lenne (a bevettebb) a frekvenciafésű helyett inkább frekvenciavonalzónak nevezni: ahogy egy hagyományos vonalzóval pontos távolságok mérhetők, úgy ezzel az eszközzel tiszta színek, vagyis: hullámhosszak, frekvenciák. Ezen az alapon azután el is végeztek néhány nagyon pontos mérést, egy csapdázott higanyion egy optikai elektronátmenetének frekvenciáját például $1064721609899143 (\pm 10)$ Hz-nek mérték, vagyis a bizonytalanság mindössze 10^{-14} -es mértékű. Persze optikai spektrumvonalak egzakt helyét 4–5 évvel ezelőttig is meg tudták állapítani, csak hogy ennél több nagyságrenddel pontatlanabban és több tucatszor drágább eszközparkkal. A Nobel-díjjal jutalmazott munka azonban a világszerte létező 4–5 nagy, nemzeti szabványügyi laboratórium után egyetemi kutatócsoportok számára is lehetővé tette az optikai tartománybeli ultrapontos frekvenciamérést.

A frekvenciafésűk további alkalmazásai a kozmológiában és az időmérésben

A módszert felhasználva megtörtént az első jelentős alkalmazás is, amelynek során Theodor Hänsch csoportja azt vizsgálta meg, hogy valóban állandók-e a fizikai állandók. Már eddig is létezett ugyanis pár olyan egzotikus kozmológiai elmélet, amely feltételezte, hogy a konstansok lassan ugyan, de időben változhatnak – ezeket a teóriákat kellett hát valamiképpen tesztelni. Vannak olyan spektrumvonalak (pl. a hidrogénspektroszkópiában), amelyek egyszerű kapcsolatban állnak fizikai állandókkal (pl. az elektron töltésével és a Planck-állandóval). A spektrumvonal helyének precíz meghatározásával tehát tulajdonképpen ezek a konstansok is extrém pontosan mérhetők. Nincs is más teendő, mint a frekvenciafésűk segítségével néhány évenként kimérni ezen vonalak helyét. Aggodalomra azonban mindeddig semmi ok: a négyéves időközzel megismételt méréspárban úgy találták, hogy az észlelt elmozdulás még a nagyon alacsony mérési hibahatáron is belül van, tehát a konstansok jelenleg állandóknak tűnnek...

Persze azon túl, hogy egzotikus elméletekhez szolgáltatnak adalékot, a közeljövőben sokkal hétköznapibb alkalmazásokhoz is hozzájárulhatnak az ilyen lézerek.

Egy ilyen tipikus terület pedig az időmérés. Minden óra két részből áll ugyanis: egyrészt egy pontosan ismert frekvenciával periodikusan ismétlődő eseményből (pl. a napóránál a Föld tengely körüli forgásából, a kvarcóránál egy kvarckristály oszcillációból), másrészt egy számlálóból, amely ezeket a periodikusan bekövetkező eseményeket számlálja. Belátható, hogy minél nagyobb frekvenciával ismétlődő eseményeket választunk az óra alapjául, annál pontosabban tudunk időt mérni: egy cézium-atomóra (ahol egy mikrohullámú atomi átmenet frekvenciáját számlálják) tízmilliárdszor pontosabbá tehető, mint például egy ingaóra. A látható fény frekvenciája azonban még a már ötven éve a csúcstechnológiát jelentő atomórákban felhasznált frekvenciáknál is legalább negyvenezereszer nagyobb, ezen az alapon tehát több nagyságrenddel pontosabb óra is építhető, ráadásul lényegesen kompaktabb eszközökkel. Ez a jövőben akár az atomórákat is túlszárnyaló, optikai tartománybeli frekvenciára épülő másodperc-definíciót tehet lehetővé, s potenciális gyakorlati alkalmazásokat sem nehéz találni: például ezen az alapon a globális helymeghatározást (GPS-t) is tovább lehetne fejleszteni, ahol a térbeli pontosság növelése éppen az időmérés pontosabbá tételével érhető el.

A frekvenciafésűkhöz használt lézertípus azonban más, érdekes alapkutatói kérdésekben is hozott már újat: a már jól ismertnek hitt és tudománytörténetileg is jelentős fémfelületi fotoelektron-emisszió egy új arcát sikerült nemrég kísérletileg is kimutatnunk a segítségükkel (részben szintén Theodor Hänsch csoportjával való együttműködésben). Az utóbbi években pedig az attoszekundumos ($1 \text{ as} = 10^{-18} \text{ s}$) alkalmazások is egyre nagyobb publicitást kaptak: *Farkas Győző* (MTA Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet) 1991-es javaslata alapján néhány éve sikerült 250 attoszekundumos röntgenimpulzusokat

is előállítani *Krausz Ferenc* akkor még bécsi csoportjában (jelenleg: Kvantumoptikai Max Planck Intézet, Garching), aki ezen eredményei kapcsán név szerint is szerepel a Nobel-díjról kiadott hivatalos anyagban. Attoszekundumos impulzusokkal, melyek jelenleg az ember által kontrollálhatóan előállítható legrövidebb elemi események, szintén nagyon pontos méréseket lehet végezni, bár kicsit másképp, mint a frekvenciafésűkkel: a természetben lejátszódó leggyorsabb folyamatok időbeli lefutásáról nyerhetünk információt. Ezt a módszert már fel is használták atomok belső elektronhéjain lezajló atomfizikai folyamatok vizsgálatához. A közeljövőben pedig ilyen kísérletekkel talán választ kaphatunk arra a kérdésre is, hogy miként lehetne elég nagy fényerejű, a lézerekhez hasonló, viszont a röntgentartományban működő fényforrásokat létrehozni, melyekkel az orvosi/biológiai képalkotási eljárásokat lehetne forradalmasítani és a vizsgált személyek és minták sugárterhelését lényegesen csökkenteni. Az attoszekundumos alkalmazásokról azonban a *Fizikai Szemle* 2002. évi 1. számában már megjelent egy kimerítő bevezetés.

A femtoszekundumos lézerek és az azokra épülő kísérletek tehát izgalmasabbnak tűnnek, mint valaha, és biztos vagyok abban, hogy a következő években ilyen fényforrásokkal elért újabb jelentős eredményeknek lehetünk majd szemtanúi.

Irodalom

- TH. UDEM, R. HOLZWARTH, T.W. HÄNSCH: *Optical frequency metrology* – Nature 416 (2002) 233
M. FISCHER ET AL.: *New limits on the drift of fundamental constants from laboratory measurements* – Phys. Rev. Lett. 92 (2004) 230802
A. APOLONSKI, P. DOMBI ET AL.: *Observation of light-phase-sensitive photoemission from a metal* – Phys. Rev. Lett. 92 (2004) 073902
KRAUSZ FERENC: *Atomok és elektronok mozgásban* – Fizikai Szemle 52 (2002) 12

GÁBOR DÉNES ÉS M. ZEMPLÉN JOLÁN 1961-ES LEVÉLVÁLTÁSA

Bíró Gábor
Gábor Dénes Főiskola

Gábor Dénes levele *Mátrai Zemplén Jolánnak*, a magyar fizikatörténet úttörő kutatójának hagyatékából került hozzám lánya, *Mátrai Veronika* révén. A magyar nyelven írt szöveg tartalma és stílusa világosan mutatja, hogy Gábor Dénesnek élő kapcsolata volt szülőföldjével csaknem 30 év távollét után is. A levél emberi közelségbe hozza a holográfia Nobel-díjas atyjának személyiségét, műveltségét, a „papír-ember” meglevenedik...

A levélváltás megjelentetését¹ azért is fontosnak tartom, mert a mai olvasó számára is rendkívül érdekes, hogy milyen nagyra értékelte Gábor Dénes M. Zemplén Jolán fizikatörténeti munkásságát.

¹ A levelek helyesírásán nem változtattunk.

IMPERIAL COLLEGE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
(UNIVERSITY OF LONDON)

Dr. M. Zemplén Jolán
A Magyar Tudományos Akadémia címén
BUDAPEST
1961 június 3

Kedves Dr. Zemplén,

Beöthy Ottó barátom, a Magyarok Világszövetsége főtákosára megküldte nekem a maga könyvét, A Magyarországi Fizika Története 1711-ig. Most elolvastam, ha kissé felületesen is, és neki is küldök másolatot ebből a levélből.

Hatalmas és bámulatraméltó munka volt megírni ezt a szomorú történetet. Mert bizony szomorú a magyar fizika története, nemcsak 1711-ig, hanem csaknem napjainkig. Folytatódik a fiatal Zemplén Győző halálával az első világháborúban és a tehetségek kiüldözésével 1918 után. Mire a magyar fizikusok beleszólhattak a fizikában már mind külföldön volt! Szívből kívánom, hogy most már egyszer szakadjon meg ez a tragédia, a magyar fizika is megbűnhődte már a multat és a jövődőt!

Nem meglepő bizony, amint azt sokszor hangsúlyozta, hogy nem volt önálló magyar fizikus 1711-ig, inkább meglepő hogy egyáltalán el jutott a híre Magyarországra a fiatal nyugati fizikának. Egy hiányt éreztem itt a munkájában, de ez a hiány megvan minden tudománytörténetben amit komoly szakember írt, csak az amatőr történész mint Koestler Artur meri betölteni. Ugyanez meg volt pl. a római történelemben számomra, amíg el nem olvastam Jerome Carcopino nagyszerű könyvét, „Mindennapi élet a régi Rómában”. Az ember szeretné tudni hogy hogyan éltek ezek a régi tudósok? Hogyan tudtak elutazni ezek a többnyire koldusszegény emberek Bolognába, Párizsba, Hollandiába? Postakocsi még nem volt, és ha lett volna is, nem tudták volna megfizetni. Talán ezért is nem jutott el egy sem Angliába, mert a hajón bizony fizetni kellett. Valószínűleg gyalog, talán sokszor mezitláb, néha egy parasztszekérre felkérézve. Azután mikor már tanárok lettek hogyan éltek? A fejedelem vagy a káptalan fizette-e őket, valószínűleg ritkán és rendetlenül? Egy sok szüléstől elnyuzott, a pénztelenségtől elkeseredett feleség nyúzta-e őket? Hogyan tudták kiadni a könyveiket? Maguknak kellett-e kiállni velük a vásárra, mint Keplernek Lipcsén?

Ugy érzem hogy aki mint történelmi materialista gondosan megírja az összefüggést az új gondolatok és a gazdasági rendszer között, annak ezekre a részletekre is figyelemmel kellene lennie. És akkor felélednének ezek a papír-emberek, akik olyan egyformán néznek ránk a képeikből, a nagy szakálukkal.

Ezt persze nem hányom fel szemrehányásnak, ez a hiány közös az egész tudománytörténetben. Newtonról Isten tudja hány könyvet összeírtak már, de még mindig érthetetlen marad emberileg. Csak egy vonás hozta kissé közelebb számomra, amit egyik életrajzírója megirt hogy mikor a Principia-t írta reggel felült az ágya szélén és egy óráig mozdulatlan maradt, kigondolta teljesen minden sorát amit aznap le akart írni.

Bár olyanokat lennének ezek a tudományos életrajzok mint a kedvenc életrajzíró, Stephan Zweig biográfiái, amelyekben mindig bemutat egy napot a hőse életéből. Goethe-ről is rengeteget olvastam, de csak kétszer eleve nedett meg nekem, mikor Weimarban megláttam azt a kényelmetlen biciklinyerget amin lovagolta írta az utolsó remekműveit, a két rossz fagygyertya fényénél, és amikor Thomas Mann felelevenített egy napot az életéből, az egyik utolsó remek könyvében, Lotte in Weimar.

Itt Nyugaton most erős vitakozás folyik a historiográfusok között, akik tényeket akarnak csak közölni, a „historicist”-ek között, (mint Toynbee,) akik áltudományt akarnak belőle csinálni, de a közösség egyik fajtát sem olvassa szívesen, jobban szeretik a történelmi esszé-istákat, mint Trevelyan és Trevor-Roper, akik irodalmat csinálnak belőle.

Aki olyan jól és szépen ír mint Ön az, azt hiszem, képes lesz a következő könyveiben megeleveníteni nemcsak a gondolatokat, hanem az embereket is.

Kiváló tisztelettel
Gábor Dénes

Gábor Dénes
IMPERIAL COLLEGE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
/UNIVERSITY OF LONDON/
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING

Kedves Professor Ur,

Beöthy Ottón keresztül küldött levelét hálásan köszönöm. Ami a könyvvel kapcsolatos kritikáját illeti annak nagyrészt helyt is kell adnom. Igaz, hogy a terjedelem így is jóval meghaladta a tervezetet, azonkívül kénytelen vagyok szigorú műfaji megkülönböztetést tenni a tudománytörténeti esszé és a kimondottan tudományos munka között. Sajnos az én írói képességeim sohasem fognak odáig emelkedni, hogy az előző műfajt, amely Professor Urnak a legrokonszenvesebb, sikerrel műveljem. Meg kell tehát maradnom a történet-megszabta aránylag szűk keretek között. Ettől eltekintve, a következő korszakban mégis valamivel több lesz a rendelkezésre álló életrajzi adat és így talán sikerül kívánságát jobban megvalósítanom.

Levelét és szíves érdeklődését hálásan köszönöm.

Budapest, 1961. június 28.

Üdvözlettel:
/M. Zemplén Jolán/

NÍVÓDÍJ 2005

A Fizikai Szemle Szerkesztőbizottsága a 2005. évi *Marx György-nívódíj*-át HORVÁTH ÁRPÁD: *Lássuk a részecskéket!*

című cikkének ítélte oda. A díjat és az oklevelet az Eötvös Társulat közgyűlésén adják át a szerzőnek.

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

A Társulat internet-honlapja <http://www.eflt.hu>, e-mailcíme: mail.eflt@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 Társulatnál vagy postautalványon a 10200830-32310274-00000000 számú egyszámlán.

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

HU ISSN 0015-3257

ERATOSZTENÉSZ-MÉRÉS

– egy 2200 éves mérés megismétlése

Történeti háttér

Kr. e. 200 táján az alexandriai *Eratoszthenész* Sziénében (ma Asszuán) járva különös jelenségre lett figyelmes: egy mély kútba tekintve meglátta a delelő nap fényét a vízben tükröződni. Ilyet otthon még soha nem látott, elgondolkodott hát, s felismerte a lehetőséget.

A kút fenekén megcsillanó napfényt azt jelenti, hogy a fényes égiteget a zenitben (vagyis éppen az észlelő feje fölött) jár. Alexandriában azért nem delel a Nap a zenitben, mert jóval északabbra (mai terminológiával a Ráktérítőtől északra) fekszik. A Föld gömb alakja ekkor már ismert volt, a holdfogyatkozások alkalmával ugyanis mindig körív alakú árnyékot vet a Holdra. Az átmérő tekintetében viszont csupán becslések születtek, igen nagy szórást mutatva. Ha sikerül azonos időpontban két különböző földrajzi helyen megmérni a Nap delelési magasságát, a szögek különbségéből és a mérési pontok távolságából a Föld kerülete meghatározható.

Az egyik mérési pont célszerűen Sziéné lett, hiszen itt már nem is volt szükség mérésre. A két mérés egyidejű megvalósítására a nagy távolság miatt nem volt mód, azt viszont tudni lehetett, hogy a Nap évről évre rendre ugyanazt az utat járja be az égbolton, így pontosan egy évvel később bizvást várhatjuk, hogy a kút fölött ismét a zenitben delel majd. Ekkor kell hát a második mérést elvégezni!

A mérésre tehát a következő évben került sor Alexandriában. Egy oszlop magasságát és az árnyék hosszát kellett megmérni, épp délben (1. ábra). Időmérésre pontosabb alkalmatosság híján napórát használhatunk, de ha ez sem áll rendelkezésünkre, elegendő a nap közben változó hosszúságú árnyék minimális hosszát megállapítani.

A mért adatok segítségével a keresett szög (a Nap zenittávolsága) megszerkeszthető. (Számításra nincs mód, hiszen a szögfüggvényeket majd csak 1000 év múlva fogják kitalálni, tangens táblázatot pedig 1600 év múlva készít *Regiomontanus* – talán épp Esztergomban.) A kapott

1. ábra. Eratoszthenész eredeti mérése



Nyerges Gyula

Zsigmondy Vilmos Gimn. és Informatikai Szki., Dorog

szöveget többször lemásolva Eratoszthenész megállapította, hogy az a teljes kör 1/50 része. A Föld kerülete tehát a két város távolságának éppen 50-szerese. A távolságot akkoriban sztadionban mérték, a naponta 100 sztadionnyi utat megtevő karaván 50 nap alatt ért Alexandriából Sziénébe, a távolság tehát 5000 sztadion, a Föld kerületére így 25000 sztadion adódott. (Az ógörög mértékegység-ek átváltását SI-re jelentős mértékben megnehezíti, hogy minden városállamnak különböző méretű volt a stadionja, aminek a kerülete távolságegységként szolgált. A 25000 sztadion 36000 és 46000 km közötti távolság, legvalószínűbb értéke 39375 km.)

A felhívás

A norvég GLOBE Europe a *Fizika Éve* alkalmából nemzetközi együttműködésre hívta fel a világ iskoláit. Az akció keretében május 25-én a Föld több tucat iskolájában mérték meg a delelő nap zenittávolságát. A kapott mérési adatok birtokában és a mérési pontok földrajzi helyének ismeretében Eratoszthenész módszerét követve megállapítható a Föld mérete.

A felhívás megismerése után elhatároztam, hogy megpróbálom a hazai részvételt megszervezni. Az akció angol nyelvű honlapját: (<http://www.naturfagsenteret.no/fysikk/eratosthenes>) Kiss László (Sydney) fordította magyarra. A magyar változat (2. ábra) a *Fizika Éve* magyar oldalain nyert elhelyezést (<http://wyp.csillagaszat.hu/files/eratosthenes/how.html>).

2. ábra. A mérésre felhívó magyar honlap





3. ábra. Bunsen-állvány árnyékának mérése

A mérésel kapcsolatban több kétely is napvilágot látott. Eratosztenész mérési pontjai, Alexandria és Szíéné nagyjából azonos meridiánon fekszenek. Megengedhető-e két olyan iskola adatainak összehasonlítása, amelyeknek eltér a földrajzi hosszúsága? Ez a probléma áthidalható, ha nem a két iskola távolságát, csupán a két ponthoz tartozó szélességi kör távolságát használjuk fel, cserében olyanok is részt vehetnek a mérésben, akik nem találnak partnert saját délkörükön. A másik probléma a távolságok számításával kapcsolatban merült fel. Ha a földrajzi koordináták felhasználásával határozzuk meg a szélességi körök távolságát, a számításához ismerni kell a Föld kerületét, vagyis pontosan azt a mennyiséget, amit a kísérlettel kívánunk meghatározni. Ennek feloldására azt javasoltuk, hogy a távolságot ne számításal, hanem a térképen való mérésel, az ottani lépték felhasználásával határozzák meg, hiszen a térképek alapvetően távolságmérési adatok alapján készültek (legalábbis Eratosztenész idejében).

A mérés

A mérést 2 időpontra hirdették meg.

Az első május 25. (ill. a 23–27. közötti időszak, hogy azok se maradjanak ki a mérésből, akiknél 25-én éppen borult az ég). 23-án „főpróbát” tartottunk az iskola kosárlabda-pályáján. Közép-európai idő szerint 11 és 13 óra között 3 módszerrel végeztünk méréseket:

1. Mérőpárok Bunsen-állvány árnyékát rajzolták 5 perces időközzel (3. ábra). Az állvány magasságának és az árnyék hosszának mérésével állapították meg a keresett szöveget.

2. Mikola-cső állványát alakítottuk át oly módon, hogy alkalmas legyen a mérésre. A szertárban talált törött Mikola-csővet eltávolítottuk a tartójából. A megmaradt faléccet a Nap irányába forgatva a mögé helyezett papírlapon minimális az árnyék mérete. Ekkor kell a hozzá tartozó szögmérőről leolvasni a Nap horizont feletti magasságát (4. ábra).

4. ábra. A Nap magasságának mérése Mikola-cső segítségével



3. Táblai szögmérőt egészítettünk ki függőóonnal. A „célzás” itt is árnyék-vizsgálattal történt.

A mérés végeztével még a helyszínen kiértékeltek és összehasonlítottuk a mérési eredményeket.

25-én elérkezett az „igazi” mérés időpontja. A két napal korábbi tapasztalatokon okulva pontosítottuk módszereinket, vízmértékkel ellenőriztük a Bunsen-állványok függőlegességét, GPS-vevővel pontosítottuk a mérési hely koordinátáit. Kipróbáltunk egy negyedik mérési módszert is, melynek ötlete a főpróba során fogalmazódott meg bennem:

4. A módszer tulajdonképpen az elsővel megegyező, csupán az eleve rendelkezésre álló kosárlabdapalánkot használtuk árnyékvetőnek.

A mérés kezdetekor némi aggodalomra adott okot a folyamatosan vonuló felhőzet, de hamarosan kitisztult, és a későbbiekben csupán 10 percre zavart meg minket egy kisebb felhő. Az egyhangú munkát színesítendő meghívtam *Tóth Tibor* barátomat, aki saját csillagászati távcsövével tartott Nap-bemutatót a mérés résztvevőinek, valamint a szünetekben a tanulóifjúságnak és az iskola érdeklődő dolgozóinak (5. ábra). Az igazgatótól a konyháig mindenki nagy örömmel fogadta a lehetőséget, és lelkesen hallgatták a napfoltokról szóló rögtönzött előadást.

Eredmények

A mért eredmények jó közelítéssel azonos értéket mutattak. A Nap zenittávolságára: $\alpha = 26^{\circ}30' \pm 30'$ adódott. Az adatok szórását véleményünk szerint az árnyékvető rudak vastagsága, valamint a napkorong kiterjedése (nem pontszerű, hanem fél fok átmérőjű fényforrás) okozta.

A következő napokban izgalommal vártuk az interneten megjelenő mérési eredményeket. A lassan gyűlő adatok közül a finn *Palokan Koulu* adatait használtuk fel. Az adatok összevetéséből 40 136 km jött ki a Föld kerületére.

5. ábra. Távcsöves Nap-bemutató az érdeklődőknek



Zsigmond Vilmos Gimnázium és Informatikai Szakközépiskola	
 2510 Dorog, Otkócs tér 3. Tel.: 33 - 421 - 675 Fax: 33 - 441 - 340 info@antares.dorog-gimn.sulinet.hu	
Eredmények	
2005-ben kört pályázati eredményei:	
1. díj	A T. és a S. osztály tanulóinak Zsuzsanna Csikós, Veszteg (Csikós Kötársaság)
2. díj	Berki Valéria, Bécs Katalin Szent László ÁPR, Bécs
3. díj	Jan Kozma Gimnázium, Franjeva Paladina, Veladica Huziti (Csikós Kötársaság)
3. díj	Bánka Bence SZK Budapest, Óvoda Általános Iskola és Gimnázium, Budapest
3. díj	A T. S. osztály tanulóinak Sági István Általános Iskola, Győr
4. díj	Pléhár György SZK Budapest, Óvoda Általános Iskola és Gimnázium, Budapest
Dicséret	Cosmin Poiana National College Carol I, Craiova (Románia)
Dicséret	Dimitrova Kristina, Dolivka Emilija, Pedraška Vrežna, Popozi, Kiri, Popozi Milen, Gjorgjovski Angelko, Axtalkova Emilija, Popozi Jakov Nika Nestor High School, Struga (Macedonia)
Dicséret	Jenescu Lina, Pihai Mihaila National College Carol I, Craiova (Románia)
Dicséret	Jang Saheon, Kwon Gmsong, Kim Gwanan, Kim Beokje, Kim Minsong, Park Seongun, Park Jinye, Jang Heonin, Cho Seungun Inan Middle School, Hwasonggi Kyonggi (Korea)
Dicséret	Székéssy Dániel, Székéssy László, Nyúl János, Serecs Gábor Koncertművelődési Református Iskola, Koncertművelődés
Dicséret	Ragy Péter SZK Budapest, Óvoda Általános Iskola és Gimnázium, Budapest
Dicséret	Szabó Zoltán, Mehal Radosó Zríenka (Lengyelország)
Dicséret	Zhang Shi Jia SZK Budapest, Óvoda Általános Iskola és Gimnázium, Budapest

6. ábra. A Pályázat végeredménye a Zsigmond Vilmos Gimnázium honlapján

Pályázat

Az akció népszerűsítése céljából pályázatot hirdettünk a mérésben részt vevő iskolák számára. Pályázni a méréssel kapcsolatos elektronikus publikációval (számítógépes prezentáció vagy videoklip) lehet. A pályaműveket október közepéig kellett beküldeni.

A díjazottak természettudományos könyveket, informatikai eszközöket, és egy csillagászati távcsövet nyertek. A nyertesek listája megtekinthető a <http://antares.dorog-gimn.sulinet.hu/eratosthenes/eredmeny.html> honlapon (6. ábra).

FIZIKÁS HONLAPJAIM

A fizika tanítása ma már elképzelhetetlen az internet használata nélkül. Ha a tanítási órákon nem is alkalmazzuk a világhálót, de az órákra történő felkészülés során mindenképpen célszerű a neten elérhető anyagokat is felhasználni, illetve a mások számára is hasznosítható eredményeket, segédanyagokat a hálózaton (is) közreadni. Ebből kiindulva hoztam létre én is azt a három honlapot, amelyek reményeim szerint ma már sok fizikatanár munkáját segítik.

A FizFotó honlap

Egy kép többet ér ezer szónál – tartja a szólás. Különösen igaz ez a jó minőségű, színes felvételekre. Sajnos anyagi megfontolások miatt a tankönyveimben [1] csak fekete-fehér fényképek találhatók, de a www.tar.hu/fizfoto cí-



7. ábra. A lelkes mérőcsapat

A mérés jelentősége

Az akcióban részt vevő tanulók egy valódi kísérlet részeseivé váltak. Megismerhették a mérés előkészítésével, lebonyolításával, kiértékelésével kapcsolatos munkát, a közben felmerülő esetleges problémákat. Ráadásul ez nem egy elszigetelt, hanem nemzetközi „projekt”, ami további érdekességgel és újabb tapasztalatokkal járt. A mérés alapvetően fizikai jellegű, szöveget kellett mérni, közvetlenül, vagy távolságmérésre visszavezetve. Az adatok kiértékeléséhez matematikai módszerekre van szükség, de ez a fizikai feladatoknál magától értetődő dolog. Az eredmények értelmezéséhez és feldolgozásához viszont csillagászati és földrajzi ismeretek szükségesek. Mivel egy 2200 éves mérés megismétléséről van szó, nem árt felfrissíteni történelmi ismereteinket, hogy a megfelelő korba helyezhessük a kísérletet. A nemzetközi együttműködés lebonyolításához az informatikában való jártasság és idegennyelv-ismeret szükséges. Az általunk kiírt pályázatban való részvételhez mindezek felett a vizuális kultúra alapismereteinek alkalmazása is nélkülözhetetlen. Bátran állíthatjuk tehát, hogy az Eratoszthenész-mérés valóban interdiszciplináris kaland volt valamennyi résztvevő tanuló (és pedagógus) számára.

Iff. Zátanyi Sándor
Szent-Györgyi Albert Gimnázium, Békéscsaba

men található honlapon ezek a fotók színesben is elérhetőek. A jpg-formátumú képek többnyire 856×684 képpont méretűek.

A *FizFotó* honlapon jelenleg (2006. január 3.) 653 fénykép van. A fotók a fizika főbb fejezetei szerinti csoportosításban találhatók. Egy kép azonban több témakörhöz is kapcsolódhat. A *FizF0034* jelű fotó például egy tűzijáték alkalmával készült. Ez a fénykép a *Mechanika* (pontrendszer fogalma) és a *Rezgések és Hullámok* (térbeli gömbhullám) témakör tanításához is felhasználható, ezért mindkét témakörnél szerepel.

Az asztallapra helyezett szappanbuborékot ábrázoló *FizF0068* képen szintén több jelenség megfigyelhető, így az a *Hőtan* és a *Fénytan* témakörnél is megtalálható.

A honlapra számos olyan kép is felkerült, amely a könyveimben nem szerepel ugyan, de kapcsolódik az azokban található valamelyik képhez. Például a *FizF0013* jelű kép



A rezgések és hullámok alcímű rész bejelentkezése

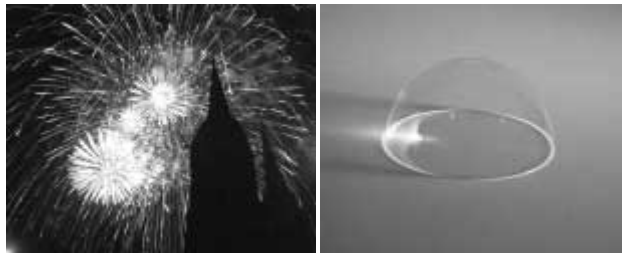
megfeszített íjat ábrázol (*Fizika* 9. 57. oldal), a *FizF0207* jelű kép pedig a kilövés utáni állapotban mutatja ugyanazt az íjat. (Ez már nem szerepel a könyvben.) A két képet összehasonlítva jól érzékelhető az alakváltozás.

Ugyanígy a *Fizika* 10. kötet 166. oldalán található, működő katódsugárcsövet ábrázoló *FizF0156* képet jól kiegészítik a *FizF0214* ... *FizF0217* képek, amelyeken kikapcsolt állapotban, illetve mágneses mezőben is látható ugyanez az eszköz. A képeken jól látható, hogy a mágneses mező hatására a katódsugarak eltérülnek. Emiatt a máltai kereszt árnyéka a 3. képen magasabban, a 4. képen alacsonyabban van, mint a 2. képen.

Néhány ilyen képből összerakható egy olyan képsorozat, amellyel egy folyamat időbeli lefutása is szimulálható. Például a *FizF0142* ... *FizF0147* képek az ívkisülés kialakulását, a *FizF099*, *FizF0209* ... *FizF0213* fotók a szárazjég szublimációját, a *FizF0227* ... *FizF0230* fényképek a tóba dobott kő hatására kialakuló körhullámokat, a *FizF0541* ... *FizF0545* felvételek a relatív mozgást mutatják be. Ehhez hasonlóan szemléltethetők a térbeli változások is: például a *FizF0582* ... *FizF0590* képsorozattal a fénytörés, a *FizF0287* ... *FizF0291* fotókkal pedig a (geodéziai méréseknél használatos) derékszögű háromszöglet (teljes fényviszaverődésen alapuló) működése tanulmányozható.

A képeket az internetről saját gépre letöltve azok internetes kapcsolat nélkül, önmagukban bemutatva is alkalmasak a szemléltetésre. Az egymással összefüggő, sorozatot alkotó képek például a *PowerPoint* segítségével diasorozattá rendezhetők. A képeket ezután gyors egymásutánban levetítve a sorozat „életre kelthető”. Néhány ilyen kész bemutató elérhető az alábbiakban ismertetendő *FizTan* honlap *Letölthető* rovatában.

Megfeszített és ernyedt íj



Tűzijáték és szappanbuborék

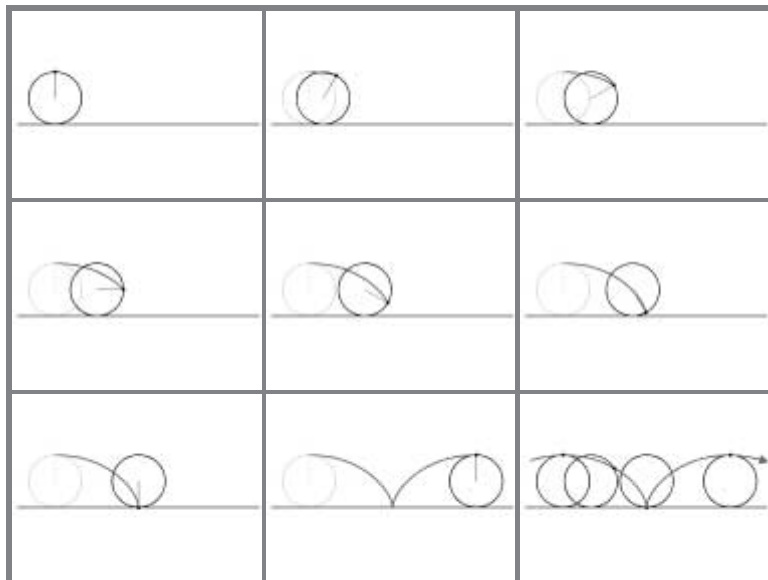
A honlap fotói tehát jól használhatók a tankönyvsorozat kiegészítéseként, hiszen a képek nagy méretű, színes változatai jobb szemléltetési lehetőséget biztosítanak, mint a könyvekben szereplő fekete-fehér felvételek. Ráadásul az utóbbi két évben számos olyan fotó is felkerült a honlapra, amelyek nem szerepelnek a tankönyvekben, de jó kiegészítői lehetnek a tananyagoknak. Különösen hasznosak ezek a képek akkor, ha olyan jelenséget, eszközt, tárgyat ábrázolnak, amelyek nem hozhatók be az iskolába, az osztályterembe, illetve kis méretük miatt más módon nehezen lennének bemutatathatók. (Például: víz-, szél- és atomerőművek; gleccser; harangöntés; hidak, híd dilatációs hézagja, muzeális eszközök; működő elektroncső, hőelem gáztűzhelyen stb.) Nem elhanyagolható az sem, hogy a képeket az internet-hozzáféréssel rendelkező tanulók önállóan, iskolán kívül, otthon is megnézhetik, letölthetik. Sok tanulónál az internet használatának, valamint a színes fényképeknek kedvező motiváló hatása is lehet.

A *FizRajz* honlap

A rajzok a fényképeknél elvontabb, egyszerűsítettebb formában szemléltetnek egy-egy eszközt, jelenséget, folyamatot. Szerepük a tanítás/tanulás folyamatában azért is jelentős, mert olyan objektumok is szemléltethetők rajzokkal, amelyek a valóságban nem láthatók, vagy amelyekről nem készíthetők fényképek. Például a sebesség, a gyorsulás, az erő sohasem látható, ezek a fogalmak csupán rajzokon szemléltethetők. A vezetõben mozgó

Katódsugárcső





Kerékpárselep mozgása

töltéshordozóról vagy a csillagok belsejéről nem készíthető fénykép, ezeket is csak rajzokkal szemléltethetjük.

A fizikatanár munkáját jelentősen könnyítené, a magyarázatot és a megértést segítené, ha a könyvekben szereplő rajzok nagy méretben is bemutatathatók lennének az órákon. Az ábrák fénymásolóval történő felnagyítása jelentősen felnagyítja a nyomdai hibákat is, így ez a módszer többnyire nem használható. Hasonló a helyzet az epizkóppal történő kivetítésnél is, ráadásul az epizkópok fényereje miatt általában teljes sötétítésre van szükség.

A fentiek megoldására egy internetes honlapot hoztam létre, amelyen fokozatosan elérhetővé válnak a tankönyveimben szereplő rajzok. A honlap a www.tar.hu/fizrajz címen érhető el. A jpg-formátumú képek többnyire 1024×768 képpont méretűek. A honlap jelenleg 149 rajzot tartalmaz. A képeket (akárcsak a *FizFotó* honlapnál) a fizika fő témakörei szerint csoportosítottam.

Egy-egy cím alatt általában több (3–8) rajzból álló sorozat található. Egy-egy bonyolultabb rajznál ugyanis nem csak a kész rajzot, hanem a rajz ezt megelőző egyes fázisait is célszerű bemutatni. Például az egyenletes körmozgással kapcsolatban a centripetális gyorsulás levezetésénél a könyvben szereplő egyetlen helyett a honlapon egy hét rajzból álló sorozat található. Ezeket egymás után bemutatva jobban követhető a levezetés menete, mert az egyes rajzok mindig csak az adott ponton lényeges dolgokra irányítják a figyelmet.

A rajzsorozatok alkalmasak az időbeli folyamatok megjelenítésére is. Például az itt látható, 9 képből álló sorozat egy kerékpárselep mozgását, és a ciklois alakú pálya kialakulásának egyes fázisait (és a mozgás viszonylagosságát) szemlélteti.

A képeket gyors váltásokkal egymás után megtekintve/bemutatva jól érzékelhető a mozgás, illetve a ciklois-pálya létrejötte.

A rajzsorozatok alkalmasak a térbeli változások megjelenítésére is. Például az *r09_34a ... r09_34c* jelű rajzok bemutatják, hogy egyenes vonalú mozgásnál milyen módon célszerű felvenni a koordináta-rendszert.

Ugyanígy szemléltethetők különféle folyamatok, jelenségek is. Például az *r10_217a ... r10_217b* rajzokkal egyszerűen bemutatatható a Graetz-kapcsolás (kétutas egyenirányítás) működése, vagy az *r11_238a ... r10_238d* rajzokkal a Nap mellett elhaladó fény irányváltozása. A rajzokat például egy PowerPoint bemutatóba illesztve a gyors lapozás egyszerűen megvalósítható. Néhány ilyen előre elkészített PowerPoint bemutató a *FizTan* honlap *Letölthető* rovatában megtalálható.

A *FizTan* honlap

A honlap létrehozásával lehetőséget kívántam biztosítani a fizika tanításával kapcsolatos, elsősorban módszertani írások közreadására. A mai gyors változások mellett a papír alapú megjelenítés túl lassú, költségei

pedig elviselhetetlenül magasak, ezért választottam az internetet. Mindezzel a jónak tartott megoldások, módszerek, ötletek elterjesztését szeretném segíteni. A honlap a www.tar.hu/fiztan címen érhető el. Rovatai: *Hírek*, *Módszertan*, *Felmérés*, *Szertár*, *Könyvespolc*, *Látnivaló*, *Letölthető*, *Ki-Kicsoda?* és *Kapcsolódó Oldalak*.

A honlapra bárki írhat cikket, természetesen ezt elektronikus formában kell beküldeni. A folyóiratokhoz hasonlóan az írás csak akkor jelenhet meg, ha tartalma a kitűzött célokkal összhangban van, és megfelel az elvárható formai követelményeknek is.

A *FizTan* leggyakrabban frissített rovata a *Hírek*, amelyben például 2005-ben 74 hír jelent meg. A fizikatanárok közti közvetlen kapcsolatfelvételt segíti a *Ki-Kicsoda?* rovat, amelybe bárki kérheti a felvételét. Természetesen itt csak olyan adatok jelenhetnek meg, amelyeket a honlap szerzői és olvasói e-mail formájában megadnak magukról. A *Kapcsolódó Oldalak* rovatban a fizikatanárok számára hasznos (többnyire magyar nyelvű) honlapok címe található.

A *FizTan*-VIP hírlevél

Mivel mindhárom honlap anyaga folyamatosan bővül, a változások segítség nélkül nehezen lennének követhetőek. Ezért a *FizTan*, *FizFotó* és *FizRajz* honlapjaimon történt minden változtatásról hírlevelet küldök azoknak, akik ezt igénylik, és ehhez megadják e-mail címüket. (Természetesen ez független attól, hogy az illető szerepel-e a *FizTan* honlap *Ki-Kicsoda?* rovatában, továbbá ezt az e-mail címet természetesen másnak nem adom tovább.) A hírlevél megrendelésével és lemondásával kapcsolatos tudnivalók elérhetők a *FizTan* honlap nyitóoldalaról.

Remélem, hogy az ingyenesen elérhető, folyamatosan frissített *FizFotó*, *FizRajz* és *FizTan* honlapjaim, illetve a hozzájuk kapcsolódó hírlevél sok fizikatanárnak jelentenek valódi segítséget.

BESZÁMOLÓ A FIZIKA ÉVÉRŐL

Az ENSZ a nemzeti fizikai társaságok és az Európai Fizikai Társulat javaslatára *Albert Einstein* zseniális tanulmányai megjelenésének 100. évfordulója tiszteletére, a 2005-ös évet a *Fizika Évének* (World Year of Physics 2005) nyilvánította. A fizikus társadalom egyedülálló lehetőséget kapott a fizika népszerűsítésére. A ránk irányított figyelem pillanataiban találkozhattak egymással a szakemberek és azok, akiknek semmilyen élményük nem volt még a fizikával kapcsolatban. A nemzetközi és hazai rendezvénysorozat célja az volt, hogy bemutassa a fizika mai szerepét, múltbeli történetét és jövőbeli lehetőségeit, a fejlődési irányait. Megmutassa kapcsolatait a kultúrával, a gazdasággal, a természettudományokkal és az alkalmazott tudományokkal. Megismertesse sokszínű és meghatározó befolyását a mindennapi életre. Ezen keresztül növelje a fizika társadalmi megbecsültségét, a fizika iránti érdeklődést fokozza. Alkalmunk nyílt arra is, hogy megmutathassuk azt is, hogy nemcsak hasznos, hanem szép is a fizika.

Szokás az elmúlt évszázadot a fizika századának nevezni. Gyors fejlődés, a kutatott témák kiterjedése, kapcsolatépítés a többi természettudománnyal és a kísérleti, elméleti módszerek fejlődése, rendkívül hatékonná válása jellemezte a fizika elmúlt száz évét. A sikerekre kívánt emlékezni a fizikusok közössége, és a jövő lehetőségeit kutatta, bizonyosságot keresve arra, hogy a fizika évszázada nem ért még véget.

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat elnöksége a jelen összegzésben kívánja összefoglalni a Fizika Évének eseményeit. Mivel nagyon sok rendezvény, program, előadás és bemutató zajlott le, rengeteg ötlet valósult meg, a beszámoló a nem vállalhatja fel annak felelősségét, hogy teljességre törekedjék. A Google keresőjében a Fizika éve kifejezésre 22300 találat jelent meg (csak a magyar lapok között), ez a tény mutatja, hogy mennyi mindentől kellene beszámolni.

A hazai rendezvénysorozat fő szakmai szervezői az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, a Magyar Tudományos

Akadémia, a Magyar Fizikushallgatók Egyesülete és a Magyar Nukleáris Társaság voltak. Komoly szerepet vállalt a Magyar Csillagászati Egyesület, a Csodák Palotája, a Mindentudás Egyeteme. Akadémiai és egyetemi kutatóintézetek, tanszékek, közép- és általános iskolák vettek részt a programok szervezésében, megvalósításában.

A hivatalos megnyitóra 2005. január 15-én a Magyar Tudományos Akadémián tartott sajtótájékoztató keretében került sor. Itt *Vizi E. Szilveszter*, az MTA elnöke, *Németh Judit*, Társulatunk elnöke, *Szabó Gábor*, az ELFT főtitkára, *Horváth Zsolt*, az MTA fizikai tudományok osztályának elnöke, *Sükösd Csaba*, a Magyar Nukleáris Társaság elnöke, *Fábrí György*, a Mindentudás Egyeteme igazgatója, *Egyed László*, a Csodák Palotája igazgatója és *Staar Gyula*, a *Természet Világa* főszerkesztője tájékoztatta a sajtót a tervezett eseményekről.

Előadások

A Mindentudás Egyetemén a fizika kiemelt szerepet kapott 2005-ben. Fizikáról szoltak a következő előadások (ábécérendben):

Faiigel Gyula: Mire jó a röntgenvonalzó?

Fodor Zoltán: A világ keletkezése és az elemi részek fizikája

Kolláth Zoltán: A csillagbelső hangjai – a modern szférák zenéje

Kroó Norbert: A fény fizikája

Nagy Károly: Einstein hatása a 20. század fizikájára

Szabó Gábor: Milyen messzire esett Newton almája?

Závodszy Péter: Fehérjék – a fizikától a biológiáig.

A Mindentudás Egyeteme 7. szemeszterének egyik újdonsága volt, hogy Nagy Károly előadása előtt a Kozma László terem előterében a hallgatóságot az előadáshoz kapcsolódó kísérletekkel és a hozzájuk tartozó magyarázatokkal három doktorandusz a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Fizikai Intézetéből fogadta. A Mindentudás Egyeteme keretében ebben az évben rendezték meg hazánkban először a Kutatók éjszakáját. A fizikának ezen az estén is főszerep jutott: Szabó Gábor, *Vida József* és *Nagy Anett* egy-egy kísérletekkel tűzdelt fizikaóráját, majd *Eisler Zoltán* a *Tőzsde és a fizika* című előadását hallgathatta a közönség.

A Csodák Palotájában januárban kezdődött el az övegesi hagyományokat ápoló előadás-sorozat. A sorozat célkitűzése az volt, hogy megmutassa, hogy a fizika tanítása és tanulása kísérletezve mennyire egyszerű és élvezetes. Társulatunk két tanári szakcsoportjának ismert tanárai (*Vida József*, *Sebestyén Zoltán*, *Piláth Károly*, *Molnár Miklós*, *Ujvári Sándor*, *Márki Zay János*, *Härtlein Károly* és *Nagy Anett*) voltak a Csodák Palotájának előadói.

A trolibusz is a fizikát hirdeti





A fizika karmestere, Nagy Anett

A fénystaféta estéjén kezdődött el az a maratoni fizikaóra, amelyről szinte minden újság és hírportál írt, és a legtöbb televízió és rádió beszámolt. Egy teljes napon, 24 órán keresztül ismétlés nélkül láthatott a nagyérdemű fizikai kísérleteket. Aki személyesen nem tudott jelen lenni a Csodák Palotájában, az élőben az internetes közvetítést is nézhette. Az eseményen *Jeszenszky Sándor*, *Vida József*, *Márki Zay János* és *Härtlein Károly* erősítette a Csodák Palotája előadói gárdáját.

A sokszínű vidéki eseményeket az ELFT területi csoportjai szervezték. A Társulat Csongrád megyei csoportja például egész évben tartó előadás-sorozatot szervezett, két téma köré csoportosítva: tavasszal a *Fizika évszázadai*, ősszel a *Fejezetek a XX. század fizikájából* címmel. Minden előadáson másik iskola diákjai tartottak nagy sikerű kísérleti bemutatókat. Ami fontos, minden előadás telt ház előtt zajlott le.

Az Országos Atomenergia Hivatal kilépve a hivatali szerepből, előadás-sorozatot szervezett az atomenergia megismertetésére és népszerűsítésére középiskolások számára, egy másik előadás-sorozata pedig a TIT keretében valósult meg.

Az ELTE TTK-n *Az atomoktól a csillagokig* című előadás-sorozaton vehettek részt a középiskolások.

A Budapesti Műszaki Főiskola régi, felújított műszereket mutatott be *A műszerek szépsége* kiállításon, működésüket a *Fizikaóra 100 évvel ezelőtt* című program demonstrálta.

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Fizikai Intézete szervezte a *Fizika éve a Fizikai Intézetben* előadás-sorozatot. A műsor a következő volt: *Kertész János*: A Fizika Nemzetközi Éve (Einsteintől az ENSZ-ig)

Lőrincz Emőke: Új irányok az optikai adattárolásban

Halbritter András: Hogyan vezetnek az atomok?

Papp Zsolt: Hogyan készítsünk hologramot számítógéppel?

Noszticzius Zoltán: Nemlineáris kémia

Vankó Péter: Izgalmas kísérletek a memőfizikus laboratóriumból

Härtlein Károly: Kedvenc kísérleteim

Jánosi Imre: A cunami fizikája

Az előadások mellett egy hologram-kiállítást tekinthettek meg az érdeklődők.

Debrecenben az ATOMKI *A fizika bete* címmel szervezte meg előadás-sorozatát. Bemutattak egy frissen kifejlesztett, iskolai célra használható alfarészecske-detektort, és a Varázskuckónak ajándékozták. A stockholmi egyetem kezdeményezéséhez csatlakozott az *Trócsányi Zoltán* és *Horváth Zoltán* ATOMKI-ból azzal, hogy a *Hands on CERN* (CERN sajátkezűleg) programot magyar nyelvre adaptálta és a magyar diákok számára megszervezte. A diákok eredeti CERN-ből származó mérési adatokat próbálnak értelmezni, a mérési módszereket megérteni.

A fénystaféta

Az év legnagyobb, legtöbb résztvevőt megmozgató eseményének a fénystaféta bizonyult. Einstein halálának 50. évfordulóján Princetontól fénysugarat indítottak Föld körül. A cél az volt, hogy 24 óra alatt megkerülve bolygónkat minél több embert vonjunk be a fény továbbításába. A nagyobb helyszíneken népszerűsítő programokkal, kísérleti bemutatókkal, előadásokkal kapcsolták össze a fénytovábbítás eseményét. Nagy sajtónyilvánosság, a televíziók, rádiók részvétele, újságcikkek jellemezték a fénystafétát. Magyarországra három helyen lépett be a fény, és két helyen lépett ki. Három nagy útvonalat jelöltek meg a szervezők. A fénynek 20 perc ideje volt arra, hogy Magyarországot átszelje. Az eszközök változatossága (a zseblámpától a fáklyán át a lézerrig és az autók reflektoráig) és a fénytovábbítás módjainak sokfélesége jellemezte a fénystafétát.

A fénystaféta fő állomásai Szeged, Pécs, Sopron, Győr, Salgótarján, Kecskemét, Debrecen, Baja, Székesfehérvár, Veszprém, Szombathely, Írottkő, Budapest, Nagykanizsa, Zalaegerszeg, Kaposvár és Hajdúszoboszló voltak. Pécsen több ezer ember részére tartottak lézershow-val színesített bemutatót, Szegeden több száz

Vida József és a léggömb





Az alfa-részecskék eltérülése

ember vett részt Einstein „fény”-képének kirajzolásában. Székesfehérváron másfél órás kísérleti bemutató készítette elő a fény fogadását, Budapesten a hidakon lehetett a fény útját követni, Sopronban tűzoltóautó segítette a fény átjutását az országhatáron – útlevél nélkül. A szervezők megnyerték a városok önkormányzatait, a helyi cégeket, bevonták a közigazgatásokat, civil szervezeteket a szervezésbe, hogy segítsenek eszközökkel, élőerővel, esetleg anyagilag is. Külön említést érdemel a templomtornyokban tanyázó galambok fizikatanárokkal való nagyszámú találkozása, vagy az átjátszó adótornyokat üzemeltető biztonságiak akadémiakust kalauzoló magaslati túravezetése.

A fénystaféta kapcsán körülbelül 20000 ember vett részt a fénytovábbításban és a kísérő eseményeken. A szegedi, a budapesti, a székesfehérvári és a soproni rendezvényekről beszámoltak az országos és helyi televíziók, az újságok, a helyi és az országos rádióadók.

Pályázatok, egész éven átívelő programok

A Magyar Nukleáris Társaság általános- és középiskolák számára írt ki az egész évre szóló pályázatot fizikai ismeretterjesztő programok szervezésére, a Fizika évének méltó megünneplésére. A felhívás nyomán 30 iskola nevezett be a versenybe, és körülbelül 160 eseményt valósítottak meg a pályázók. Kísérleti bemutatók, iskolai fizikai napok, versenyek szerepeltek a programok között. Óvodások és iskolások, középkorúak és nyugdíjasklub tagjai számára mutattak be érdekes jelenségeket, meglepő kísérleteket a pályázó tanárok és tanítványaik. A programok színesek, vidámak és ötletdúsak, kreatívak voltak.

A verseny eredményhirdetését a Magyar Nukleáris Társaság 2005-ös közgyűlésén tartották, ahol a részt vevő iskolák jó hangulatú előadásokban mutatták be nyertes pályázataikat, programjaikat. A pályázatot több szervezet, közöttük az ELFT is támogatta díjakkal.

Az első díjat a Sztárai Mihály Gimnázium (Tolna), a második díjat a Debreceni Egyetem Kossuth Lajos Gyakorló Gimnáziuma (Debrecen), a harmadik díjat a Pusztaszeri Tivadar Távközlési Technikum (Budapest) kapta, ezenkívül további tizennyolc iskolát jutalmazott a verseny zsűrije.

A Társulat Csongrád megyei csoportja által meghirdetett pályázatok az általános iskolától az egyetemig minden korosztálynak szóltak, és a kiírt témákkal a fizikus-hallgatóktól a jogászokig mindenkit igyekeztek megszólítani. A bölcsezszer *A reáliák (fizika) megjelenése József Attila tanulmányaiban és munkásságában*, míg a jogászok *A szabaddalmi jogok és buktatóik híres magyar feltalálók életében* címmel nyújthattak be pályázatot.

Szabadtéri programok, különleges ötletek

A Magyar Fizikushallgatók Egyesülete flashmobot (mobiltelefonon egyeztetett meglepő esemény) szervezett kísérleti bemutatókkal összekötve, ahol a Rutherford-kísérletet játszották el középiskolás diákok. Az esős idő ellenére sokan csinálták végig a programot. A másik tervezett esemény, a fizikatörténeti labirintus, végül is 2006 februárjában valósult meg.

A norvég GLOBE Europe a Fizika Éve alkalmából nemzetközi felhívást bocsátott ki, hogy *Eratoszthenész*-nek a Föld sugarát meghatározó mérését ismételjék meg a diákok, és használják ehhez az internetet mint kapcsolattartó eszközt. A mérés csillagászati ismereteket és egy ókori zseni ötletének megértését nyújtotta azoknak, akik elvégezték. Nagy siker, hogy a nemzetközi regisztrációs listán a részt vevő körülbelül 250 iskola között 52 magyar volt.

Kivinni a fizikát a tantermekből, ez volt a jelszava a Csongrádi megyei csoport által meghirdetett fizikai játszóházaknak, fizikai túráknak. A konstrukciós versenyek feladataiban a diákok saját készítésű rakétát lőttek a magasba, vízihajtású autót készítettek, lökhajtásos hajót építettek. Ez ötleteket, játékoságot, jó műszaki érzéket igényelt. Különleges esemény volt például a soproni Széchenyi Gimnázium diákjai által előadott színdarab, *Az élet, a világmindenség, meg minden, Douglas Adams után szabadon, barangolás a reálműveltség történetében* címmel. Lang Ágota rendezésében hét helyszínen adták elő a darabot a diákok, például a székesfehérvári fizikatanári ankéton is.

A Gózon Gyula Színházban Budapesten Härtlein Károly, Vida József, *Radnai Gyula* és Piláth Károly kísérletekkel, előadással léptek fel, a *Fizika bázhoz jön* címmel.

A Fizika Éve a sajtóban

A Fizika Évében fontos célkitűzés volt, hogy a fizika minél többször szerepeljen a nyilvánosság előtt, olyanok is tudomást szerezhessenek a tudomány eredményeiről, akiknek erre egyébként nincs módja, vagy akiket általában nem érdekel. A tudományos folyóiratok egész évre tervezett cikksorozatokkal, a fizikai témájú cikkek számának növelésével készültek a Fizika Évére.

A Magyar Televízió Delta főszerkesztősége az Eötvös Loránd Fizikai Társulattal közösen több fordulós fizika-versenyt szervezett az érdeklődő nézők számára. Annak ellenére, hogy csak az interneten lehetett csatlakozni a versenyhez, több mint ezer játékos vett részt. A felvétel-

ről sugárzott döntőbe huszonöt versenyző jutott. A döntőbe jutás után jött az igazi megmértetés. A verseny nehézségét és színvonalát jól jellemzi, hogy a legjobb hat közé már csak egyetemi hallgatók és fizikatanárok jutottak. A *Válaszd a tudást* című műsor is rendszeresen, havonta adott számot a Fizika Éve eseményeiről.

Társulatunk folyóirata, a *Fizikai Szemle* egész évét meghatározta a Fizika Éve programsorozat. *Mindentudás az iskolában* címmel új rovat indult. A rovatot a Minden tudás Egyeteme Kht. anyagilag is támogatta, és tette lehetővé azt is, hogy az összes megjelent cikk színesben, mellékletként is megjelenhessen, és ezt az anyagot minden fizikatanár megkaphassa.

A *Természet Világa* egy új cikksorozatot indított, *Mi a titka* címmel, amelyben neves fizikusok köznapis jelenségek, eszközök fizikájáról írtak jól érthető, egyszerű cikkeket. Egész évben a fizika évének logójával jelent meg a folyóirat, és a fizikai tárgyú cikkek száma a szokásosnál jóval magasabb volt. 2006 februárjában összefoglalásként pedig a *Fizika százada* különszám jelent meg – huszonhat nagy cikkel –, amelyeket neves kutatók írtak.

Ebben az évben a 30000 példányszámban, havonta megjelenő *Chip Magazin* címlapján is a fizika évének logójával jelent meg. A folyóirat CD és DVD mellékletében minden hónapban fizikai tárgyú előadást, kísérletet, filmrészleteket találhatott az olvasó.

Még a bulvársajtó egyik hazai napilapja, a *Színes Bulvár Lap* is fontosnak tartotta, hogy a főbb eseményeink-

ről beszámoljon. Négy alkalommal, alkalmanként két teljes oldal terjedelemben adta hírül hogy a Fizika Éve mely aktuális rendezvénye eseménye fog következni. A tudományos ismeretterjesztésben ismeretlen lap rovat-szerkesztője is megerősítette, volt igény az olvasótáborban a fizikára! A különböző események kapcsán a megyei lapokban, helyi televízió-csatornák műsorában is gyakoribbak lettek a fizikával foglalkozó programok.

Nagy büszkeséggel tölt el, hogy idén is hagyományainkhoz méltó módon szerepeltünk a Nemzetközi Fizikai Diákolimpián. A magyar gimnazisták egy abszolút első helyet, valamint két arany- és két bronzérmel szereztek. Szintén hagyományosnak mondható, hogy a *Science on Stage* fesztiválon (korábban Physics on Stage), amelyet tanárok számára rendeznek meg, a magyar csapat nemzetközi díjjal érkezik haza. Idén Lang Ágota révén jutottunk ismét nemzetközi elismeréshez.



Összefoglalásul megállapíthatjuk, a Fizika Éve sikeres volt. Mi, fizikusok, fizikatanárok, fizikushallgatók világszerte a fizikát ünnepeltük, és igyekeztünk ebbe minél több embert bevonni. Sikerült publicitást teremteni a fizikának, és néhány olyan programot, rendezvényt kitárolni, amelyet az ünnepi év eltelte után is folytathatunk. Reméljük, megmarad a *Mindentudás az iskolában* rovat, folytatódnak a diákversenyek és az iskolák is ilyen aktívak maradnak.

Härtlein Károly, Ujvári Sándor

AZ AKADÉMIAI ÉLET HÍREI

Negyedik alkalommal osztották ki a Talentum Akadémiai Díjat

Kiemelkedő tudományos tevékenységéért, az egész társadalom számára hasznos kutatási eredményeiért TAMASIKNÉ DR. HELYES ZSUZSANNA, orvoskutató, SIMON FERENC fizikus és TAKÁCS GÁBOR nyelvtörténész vehette át a 2005. évi Talentum Díjat 2006. február 13-án a Magyar Tudományos Akadémia épületében. *Kenyeres Sándor*, a díj alapítója évente 60 ezer eurót, azaz 15 millió forintot biztosít magánvagyonából a közép-európai térség legígéretesebb fiatal tehetségeinek támogatására. A díjakat *Vizi E. Szilveszter*, az Akadémia elnöke adta át.

A rangos elismerést odaítélő Közép-Európai Tehetségkutató Alapítvány célja a régió kimagasló szellemű és kreativitású fiatal tudósainak, kutatóinak támogatása, olyan kiemelkedő társadalmi hasznosságot hordozó programok, tudományos és kulturális teljesítmények elismerése, melyek a térség fejlődését és az élet minőségének emelését szolgálják. A fejenként 20 ezer euróval járó elismerésben évente három fiatal, 35 év alatti tudós részesülhet.

Az alapítvány öttagú, akadémikusokból álló döntőbizottsága három kategóriában három-három fiatal tudóst terjeszt fel a díjra. A kuratórium, melynek elnöke Vizi E. Szilveszter, az MTA elnöke, közülük választja ki az elismerésben részesülő kutatókat. A kuratórium tag-

jai: *Detrekői Ákos*, *Enyedi György*, *Fodor István*, *Glatz Ferenc* és *Roska Tamás*. A döntőbizottságban *Szepesváryné Dr. Tóth Klára*, *Gáti István*, *Györfi László*, *Halász Béla*, *Bálint Csanád* és *Török Ádám* akadémikusok foglalnak helyet.

A 2005. évi Talentum Díjat természettudomány kategóriában Simon Ferenc fizikus nyerte *Új nanoszerkeztű anyagok szintézise és spektroszkópiai vizsgálata* című pályázatával. Élettudomány kategóriában Tamásikné dr. Helyes Zsuzsanna orvoskutató vehette át az elismerést *Szomatosztatin és kapszaicin (TRPV1) receptorokon ható vegyületek farmakológiai vizsgálata krónikus ízületi és légúti gyulladás, valamint neuropátia modellekben* című munkájával, míg Takács Gábor nyelvtörténész a társadalomtudomány területén végzett munkája révén, az *Egyiptomi etimológiai szótár* elkészítésével érdemelte ki a díjat.

Az eredmények méltó elismerése mellett Kenyeres Sándor alapító célja a tehetséges szakemberek itthon tartása, illetve Magyarországra vonzása. Mint azt beszédben elmondta, Magyarország számára a felhalmozott szellemi vagyon folyamatos fejlesztése és értő hasznosítása jelenti azt az utat, amelyen haladva sikeres és megbecsült tagja lehet az európai nemzetek közösségének. Ezt

a célt szolgálja a Kenyeres Sándor nevéhez fűződő, a Zsámbéki-medencében megvalósuló Talentis Program kialakítása is, amely európai jelentőségű tudásközpontként választ adhat a 21. század kihívásaira. Az egyetemváros, az innovációs központ és a technológiai park egységére

épülő program olyan iparágak letelepedését segíti elő, melyek számára kiemelten fontos a legfrissebb kutatási eredmények alkalmazása és a magasán kvalifikált munkaerő. A Talentis Program így hosszú távú perspektívát jelenthet a magyar kutatók számára.

A TÁRSULATI ÉLET HÍREI

Mérések és a gravitáció Einstein-féle elmélete

A fenti címmel az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Rézszecksfizikai és Gravitációelméleti Szakcsoportja ebben az évben is meghirdeti a hagyományos Elméleti Fizikai Iskoláját 2006. augusztus 28. és szeptember 1. között, Gyöngyöstarjánban. Jelentkezési határidő: 2006. május 31., várható költség: 30000 Ft/fő. Az iskola honlapja: www.kfki.hu/~elftrfsz/iskola_2006.html. Részletes tematika (zárójelben a felkért előadók nevével):

1) Gravitációs hullámok az Einstein-elméletben:

Az Einstein-elmélet, alapfogalmak, diffeomorfizmus invariancia, hamiltoni formalizmus, gravitációs sugárzás aszimptotikusan sík téridőkben (*Szabados László*)

Gravitációs hullámok általában, gyenge tér közelítés (*Fodor Gyula* és *Rácz István*)

Poszt-newtoni formalizmus (*Gergely Árpád László*, *Vasúth Mátyás*, *Mikóczy Balázs* és *Majár János*)

Gravitációs hullámok keltése (asztrofizikai folyamatok) (*Vasúth Mátyás*, *Lukács Árpád* és *Czinner Viktor*)

Kozmológiai vonatkozások (*Frei Zsolt*, *Kocsis Bence* és *Czinner Viktor*)

2) Alternatív gravitációelméletek:

Skalár–tenzor elméletek, húrelmélet/M-elmélet (*Forgács Péter* és *Horváth Zalán*)

„Brane”-elméletek (*Cynolter Gábor*, *Gergely Árpád László* és *Keresztes Zoltán*)

„Duplán” speciális relativitáselmélet (*Vecsernyés Péter*)

3) Gravitációelméleti kísérletek:

Áttekintés a gravitációelméleti kísérletekről (*Forgács Péter*, *Rácz István* és *Vasúth Mátyás*)

A LIGO, VIRGO, LCGT, LISA programok (*Mikóczy Balázs*, *Vasúth Mátyás*, *Kocsis Bence* és *Majár János*)

Pioneer-anomália (*Lukács Béla*)

Gravity Probe B (*Hraskó Péter*)

A GPS-rendszerek és az általános relativitáselmélet (*Sebestyén Ákos*)

Minden kedves érdeklődőt szeretettel várnak az iskola szervezői:

Rácz István, a szakcsoport elnöke
Takács Gábor, a szakcsoport titkára

HÍREK ITTHONRÓL

Statisztikus Fizikai Nap

A 2006. évi *Statisztikus Fizikai Nap* az ELTE Bolyai Collegium (1117 Budapest, Nándorfejérvári út 13.) előadótermében lesz 2006. április 19-én (de. 9-től előreláthatólag du. 5-ig), ahol a hazai statisztikus fizikai kutatásokról 5–10 perces előadások keretében nyerhetünk áttekintést. Emellett két hosszabb (50 perces) előadás is lesz:

Györgyi Géza (ELTE): Extrém statisztikák és fizikai alkalmazások és

Kondor Imre (Collegium Budapest): Portfóliók és algoritmikus fázisátalakulások címmel.

A további részleteket megtalálhatják a www.szfki.hu/statfiznap weboldalon.

Ismeretterjesztő filmek a fizikáról

A Fizika Évének köszönhetően az elmúlt évben több fizika tárgyú film készült el, amelyek hamarosan DVD változatban is elérhetőek lesznek az érdeklődők számára. A 2005-ben, illetve ez év elején elkészült alkotások:

Kapcsolj fényssebességre! (szakértő: *Lévai Péter*, rendező: *Erdőss Pál*). A film a nagyenergiájú nehézion-ütközések kísérleti vizsgálatába ad betekintést a világ nagy

gyorsítóberendezéseinél dolgozó magyar kutatók közreműködésével.

A szegedi lézerek (szerkesztő: *Fuzik János*, rendező: *Kiss Róbert*). A portréfilm három híres szegedi kutató, *Bor Zsolt*, *Ormos Pál* és *Szabó Gábor* életébe és kutatómunkájába enged betekintést, akikben az a közös, hogy kutatásaikban a lézer alapvető fontosságú szerepet játszik.

Einstein befejezetlen szimfóniája (szakértő: *Rácz István*, rendező: Erdőss Pál). A film a gravitáció elméletének kialakulását kíséri végig *Einstein* munkássága nyomán, részletesen ismertetve a gravitációs hullámok kísérleti megfigyelésére irányuló legmodernebb kutatásokat.

A fizikával foglalkozó, korábban készült alkotások közül még a következő tarthatnak számot az érdeklődésre:

Kétrészes portréfilm Simonyi Károly akadémikusról (szerkesztő-riporter: *Staar Gyula*, rendező: *Kabdebó György*)

Öveges József híres kísérletei (gyűjtemény archív anyagokból)

Szimmetria (szakértő: *Hargittai Magdolna*, rendező: *Góczán Flórián*). A film a szimmetriának a természetben betöltött fontos szerepét és alkalmazásait tárgyalja *Hargittai István* és Hargittai Magdolna akadémikusok könyve alapján, látványos és közérthető módon.

Amint a felsorolt filmek széles körben is elérhetőek lesznek az érdeklődők számára, arról azonnal hírt fogunk adni.

HÍREK A NAGYVILÁGBÓL

Ötvenéves a dubnai Egyesített Atomkutató Intézet

A dubnai Egyesített Atomkutató Intézetet (EAI) 11 alapító tagállam hozta létre 1956. március 26-án Moszkvában. Az intézet létrehozásának célja a tagállamok gazdasági és tudományos kapacitásának egyesítésével megteremteni az anyag alapvető tulajdonságai tanulmányozásának lehetőségét. Egy évvel később, 1957. február 1-jén az intézetet regisztrálták az Egyesült Nemzeteknél.

Az EAI az elemi részek fizikája, a magfizika és a kondenzált anyagok fizikája terén végez igen eredményes el-

méleti és kísérleti alapkutatásokat. Csak magfizikában egyedül a Szovjetunióban elért körülbelül 80 fontos felfedezés több mint felét az Intézet könyvelhette el.

Az intézetnek jelenleg 18 tagállama van, a munkában kétoldalú államközi szerződések alapján részt vesz további 4 ország, köztük hazánk is. Az Intézetben több mint 1000 kutató, valamint 2000 mérnök és technikus dolgozik. Jelenlegi igazgatója 2006. január 1-jétől *A. Szisszakján*, igazgatóhelyettesei *M. Itkisz* és *R. Lednick*. (www.cern.ch)

Nanométerű elem az emberi szemben

A Sandia Nemzeti Laboratóriumban új, nanoméretű elemet fejlesztettek ki, amely az emberi szembe ültetve energiával látja el a mesterséges retinát. A munka részét képezi olyan bioelemek létrehozásának, amelyek az emberi testbe beültetve fontos biológiai funkciók ellátásához adnak energiát. A mesterséges retinát a Dél-Kalifornia Egyetem Doheny Szemészeti Intézete (Doheny Eye Institute) fejlesztette ki.

A nano-orvostudományi (nano-medicine) kutatások koordinálására a Nemzeti Egészségügyi Intézet (NIH, National Institute of Health) National Center for Design of Biomimetic Nanoconductors néven új kutatóközpontot hozott létre, amelynek székhelye az Illinois Egyetem Urbana-Champaign kampuszán lesz.

(www.sandia.gov)

KÖNYVESPOLC

EINSTEIN, A MEGASZTÁR – Albert Einstein válogatott írásai Szerkesztette: Székely László, Typotex Kiadó, Budapest, 2005

A megasztárok korát éljük. Nap mint nap tanúi lehetünk annak, hogy a nagyhatalmú elektronikus média a különféle valóságshow-műsorok infinitezimális intelligenciájú állampolgáraiból a nagyközönség számára követendő példaképet, bálványt – ha úgy tetszik, megasztárt – csinál, nem feltétlenül irigylendő kvalitásoknak köszönhetően. A képernyőt elárasztják a „sztárvendégek”, akik meglepően hamar kezdik elhinni magukról, hogy nem véletlenül jutottak fel a népszerűség csúcsára.

A sors úgy hozta, hogy 2005. a Fizika Éve is, amelyben meghatározó szerep jut *Albert Einstein*nek, a kiemelkedő tudósnek, amint arról már számos helyen részletesen beszámoltak: „A fizika évét természetes módon Einstein személye dominálja, előtte tiszteleg a világ tudományos közössége. Nincs még egy tudós, aki ekkora sztár lett, és akit a nagy tömegek ugyanakkor ennyire félreismertek. Ő nemcsak az az ősz hajjú, bozontos, kedves, szórakozott öreg tudós volt, akinek a képe szinte mindenkinben él,

hanem kiemelkedő ember is, aki a szabadságot mindenél többre becsülte, és véleményét mindig bátran kimondta a nyilvánosság előtt, még ha ez sokszor nem is tette népszerűvé a hatalom előtt.” [1]

Ebből az alkalomból jelentetett meg a Typotex Kiadó Székely László szerkesztésében Albert Einstein fizikai és filozófiai tárgyú írásából egy válogatást, amely több, magyarul eddig nem publikált művet is tartalmaz. A gyűjteményt Székely László, az Einstein-életmű kiváló ismerőjének értő bevezetése, valamint Einstein 67 éves korában írt hosszú önéletrajza fogja át. A válogatásban egyaránt szerepelnek a relativitáselmélettel kapcsolatos írások – köztük a mozgó testek elektrodinamikájával foglalkozó híres 1905-ös cikk (A. EINSTEIN: *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* – *Annalen der Physik* 17(1905) 891–922) – a kvantummechanika és a determinizmus kérdéseivel foglalkozó közlemények, a tudománnyal és vallással kapcsolatos filozófiai eszmefuttatások, valamint Einsteint, az embert megismertető írások.

A bevezetésben Székely László számos kérdést részletez, többek között az Einstein-kultusz kialakulásának okait is, de szinte minden, a hírekben szereplő egyéb szencziációról is ejt néhány szót. A szerkesztőt idézve: „...Einstein – legalábbis az európai kultúrkörben – a modern tudós zseni (s általában: »A zseni«) paradigmátikus figurájává vált, s e napon kezdődött az a kultúránkat mindmáig jellemző Einstein-kultusz, mely egyaránt mitizálta személyiségét és művét, a relativitás elméletét. A kérdésre, ki volt a XX. század legnagyobb tudósa, ma az iskolázott emberek túlnyomó többsége minden bizonnyal habozás nélkül az ő nevével válaszolna, s nehéz elképzelni olyan, legalább alapfokú képzettséggel rendelkező személyt, aki ne hallott volna róla – még akkor is, ha az illető egyébként egyetlenegy XX. századi tudóst sem tudna rajta kívül megemlíteni.”

Egy nemrég megjelent kultúrtörténeti gyűjtemény [2] beszámol arról, hogy napjainkban is léteznek olyanok, akik kétségbe vonják az einsteini életmű nagyszerűségét – szembe fordulva az Einsteint ünneplő világ nemzetközi szakmai közösségével. A szerkesztő e próbálkozásokat is helyükre teszi: „Einstein relativitáselmélete oly mértékben érinti a természettel – s általában a világgal – kapcsolatos alapfogalmainkat és mindennapi élményeinket, hogy óhatatlanul megmozgatja filozófiai-metafizikus éntünket. Az elmélet ezen sajátossága pedig az Einstein-kultusznak lényeges motivációjává és elemévé vált. (Többek között ugyanez a tényező az egyik motivációja a mindmáig élő, szenvedélyes – dilettáns és szakmai – anti-relativista törekvéseknek is)...

Egy bizonyos: fizikai szempontból a speciális relativitáselmélet matematikáját szilárdnak kell tekintenünk, s el kell fogadnunk az általános elmélet három nagy előrejelzését is. Ezek kétségbe vonására jelenleg nincs tudományos indokunk, s ezért aki elveti ezeket, a tudományon kívülre kerül... Ennek megfelelően az »Einstein tévedett«, »Einsteinnek nem volt igaza« bombasztikus formulával fölbukkanó, szenzációhajhász művek mind fizikailag, mind pedig filozófiailag dilettáns alkotások.”

A válogatás főképpen az elgondolkodtató írásokat részesíti előnyben, ezek között meg kell említeni Ein-

steinnek az általános relativitáselmélet kozmológiai alkalmazásával foglalkozó cikkét. Hasonlóan érdekes a kvantummechanika tárgyköréből válogatott cikkek gyűjteménye is, köztük a *Physical Review*-ban megjelent híres EPR- (Einstein–Podolsky–Rosen-) közlemény.

A tudomány, vallás és filozófia tárgyköréből válogatott cikkekből mindenki számára világosan kiderül, hogy (Einstein és a tudományos közösség nagy többsége számára) mi a tudomány, mi a tudományos módszer, valamint a tudomány és vallás viszonyának lényege – ez különösen fontos manapság, amikor az áltudományok a média segítségével mindennapjaink kísérőivé váltak.

Einsteinről, az emberről már sokat és sokan írtak, azonban ebben a válogatásban vannak eddig ismeretlen vagy csak kevésbé ismert adalékok. Ezzel kapcsolatban nehéz megállni, hogy ne idézzük Einsteinnek az élet értelmére vonatkozó kijelentését: „Mi az értelme létezésünknek és mi az értelme egyáltalán az élőlények életének? Aki erre a kérdésre válaszolni tud, az vallásos. Te azt kérdeled: van-e egyáltalában értelme ezt kérdezni? Mire én azt felelem: aki saját és embertársai életét értelmetlennek találja, az nemcsak boldogtalan, hanem arra is alig képes, hogy éljen.”

Rendkívül tanulságos Einstein és a Porosz Tudományos Akadémia levélváltása 1933-ból, amely először olvasható hiteles és teljes alakban. Mint ismeretes, Einstein különféle politikai támadások miatt lemondott porosz akadémiai tagságáról. Ma, amikor mindennapi életünket sajnálatos módon áthatja a politika, Einstein példája óva int attól, hogy a politika belépjen a tudomány köreibé, mivel annak csak káros következményei lehetnek.

A válogatást Einstein hosszú és részletes önéletrajza zárja. Külön csemege a kíváncsiak számára ezt és Székely László Einstein életművét ismertető bevezetését történelmi távlatból összevetni, amiből kiderül, mennyire reálisan látta Einstein magát és munkásságát, és mennyiben különbözik ez a ma értékelésétől. Einstein önéletrajzában a következőképpen búcsúzik az olvasótól: „Fejtegetéseim elérték céljukat, ha az olvasó ezek alapján tudomást szerez arról, hogy függenek össze egymással egész életem fáradozásai, s miért ébresztettek ezek bennem bizonyos várokozásokat.”

Nos, megsztár volt-e, az-e ma is Einstein? Az tény, hogy 1999 végén a *Time* közvélemény-kutatása alapján – *Chaplint* és sok más hírességet megelőzve – Einsteint választották az évszázad emberévé. Hogy ennek mi volt az oka? Csak találgatni lehet. Az interneten is olvasható anekdota szerint 1931-ben Chaplin meghívta Einsteint Los Angelesbe *A nagyváros fényei* című filmje bemutatójára. Az összegyűlt tömeg nagy ünneplésben részesítette mindkettőjüket. Einstein meglepődve kérdezte: „Miért tapsolnak annyira?” A fáma szerint Chaplin a következőket válaszolta: „Önt azért ünneplik, mert senki nem érti, engem pedig azért, mert engem mindenki megért.”

Bencze Gyula

Irodalom

1. BENCZE GY.: *A fizika éve* – Természet Világa 2004/12
2. *Einstein és a magyarok* (szerk.: *Gazda István*) – Akadémiai Kiadó, Budapest, 2005.

A SARKÍTOTT FÉNYTŐL A POLAROID SZEMÜVEGIG

Mi a fény? E kérdés megválaszolása történelmünk során gyakorlati és ideológiai szempontból egyaránt fontosnak bizonyult. A fény megismerése és leírása az emberiség története során kezdetben spekulatív úton történt. *Püthagorasz* (Kr. e. VI. sz.) még azt gondolta, hogy a fény sugarát az emberi szemből kiinduló érzékelő, amely letapogatja a szemlélt tárgyat. Ezen elgondolás vezethetett arra a következtetésre, hogy szemünkkel árthatunk másoknak, a nézésünkkel „ronthatunk” – ahhoz hasonlóan, ahogy a kezünkkel kifejtett tevékenységünk is lehet ártalmas. Ma már a több ezer éves kérdésre egyre bővebb, kimerítőbb és helytállóbb választ adhatunk. *Galilei* előszeretettel muto-gatta a „napszivacsot” (bárium-szulfát), amellyel a fény anyagi, korpuszkuláris természete mellett érvelt [1]. A megfigyelések és a kísérletek egy része a részecske-természet mellett a fény hullámtermészetét igazolta. Már *Newton* életében több bizonyíték állt rendelkezésre a fény polarizálhatóságára vonatkozóan. Egy jelenség hullámtermészetének igazolását a diffrakció és az interferencia mellett a polarizáció teszi teljessé, amely egyúttal igazolja annak transzverzális jellegét is. *Thomas Young* ír először 1817-ben a fényhullám transzverzális tulajdonságáról. A közönséges fényforrások fényének nincs kitüntetett rezgési síkja, vagyis polarizálatlan fényt bocsátanak ki. Nézzük meg, milyen körülmények között jön létre síkban polarizált, sarkított fény.

Legfőbb fényforrásunk, a Nap fénye polarizálódhat, miközben a légkörön keresztülhalad. A légkörben lévő molekulákon a fény szóródik: a fény nagy részét a molekulák elnyelik, és azonnal valamilyen új irányba sugározzák ki. A szóródás mértéke frekvenciafüggő, a frekvencia negyedik hatványával arányos. Kevésbé szóródik a hosszabb hullámhosszú, vörös fény, és jobban szóródik a rövid hullámhosszú, kék fény. Ezzel magyarázható a kék égbolt, a vörös színű napkelte és alkony. A szóródás következtében a fény sugarra merőleges irányban poláros fény jön létre. A felhők mögül érkező fény polarizációjának mértéke függ a napszaktól és a vizsgált irány napsugárral bezárt szögétől. Maximális polarizációt a napsugárra merőleges irányokban tapasztalhatunk, a napsugárral párhuzamosakban a polarizáció értéke nulla. A fény polarizációjának mértéke tehát függ a napszaktól és a földrajzi iránytól. Számítalan rovar, például a méhek, a szemükkel érzékelik a polarizált fényt, észlelik a polarizáció mértékének változását, és ebből számukra az életben maradáshoz szükséges információhoz jutnak. A méhek számára elengedhetetlenül fontos, hogy az éjszakát a kaptárban töltsék, ezért tudniuk kell, mikor induljanak haza, és merre van a kaptár. Ezt az információt „kódolja” a fény polarizációja.

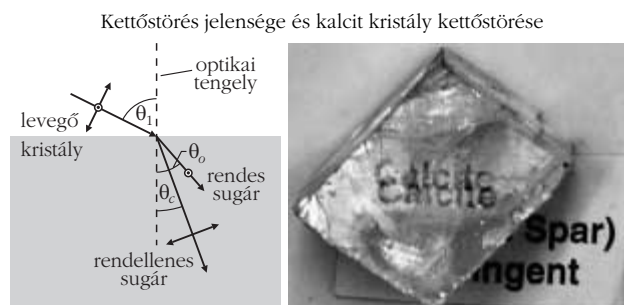
A fénynek, ha optikailag sűrűbb közeg határához érkezik, egy része visszaverődik és egy része behatol a közegbe, megtörik. Eközben mindkét sugár polarizálódik. A polarizáció mértéke akkor lesz maximális, ha a

megtört és a visszavert fény sugarát egymással bezárt szöge merőleges. Ezt a jelenséget *Sir David Brewster* fedezte fel és írta le (Brewster-polarizáció). A vízfelületekről visszaverődő polarizált fény valósággal vonzza azokat az élőlényeket, amelyek szeme képes észlelni a polarizált fényt. A vízi rovarokon kívül sok gázlómadar – például a gémekek és a gólyák – képesek erre. Nagyon szomorú bizonyítékot szolgáltatott erre az első öbölháború. A számtalan felrobbantott olajkút és vezeték következtében kialakult olajtavak meglepő módon tele voltak rovar- és madártetemekkel. A polarizált fény mögött életet adó vizet sejtő rovarok és madarak belerepülve az olajtócsába életüket veszítették. Számukra az olajtócsa csalogatóbb lehetett a víznél, mert az olaj felületéről visszaverődő fény polarizáltságának foka nagyobb volt [5].

A hexagonális rendszer romboéderes osztályába sorolt kalcium-karbonát kristály (CaCO_3), vagy a kvarckristály – amelynek szemben lévő oldalai mindig párhuzamosak – meglepetéssel szolgálhat. A speciális plánparalel lemezen keresztül „szellemképesnek” látjuk a világot. A megtört sugárból kettő figyelhető meg, ezek közül az egyik „engedelmeskedik” a Snellius–Descartes-törvénynek, ez a rendes, vagy ordinárius sugár. A másik a rendellenes, vagy másképpen extraordinárius sugár nem tesz eleget a törési törvénynek. A jelenség oka, hogy a kristályon belül különböző irányokban más a törésmutató, ez a magyarázata a másik sugár létrejöttének. A kristályon kilépő két sugár síkban poláros és a két polarizációs sík merőleges egymásra. Ezt a jelenséget hívjuk kettőtörésnek.

Egy másik ásvány, a turmalin is képes polarizált fényt előállítani. Itt a poláros fény keletkezésének mechanizmusa más. Ez a kristály a fény két egymásra merőleges polarizáltságú komponensét eltérő módon nyeli el, abszorbeálja. Ez a dikroizmus jelensége. E tulajdonság számos ásványra és néhány szerves vegyületre is jellemző. *Herapath*nak 1852-ben sikerült előállítani kinin jódszulfátból ilyen kristályt mesterségesen. 1932-ben találta fel *Land* a Polaroidot, amelyet számos helyen alkalmaznak azóta is.

Esős időben a szivárvány felől érkező fény is síkban poláros. Ennek oka a vízcseppekn történt törés közbeni polarizáció, amelyet a Brewster-polarizációnál már tárgyaltunk.





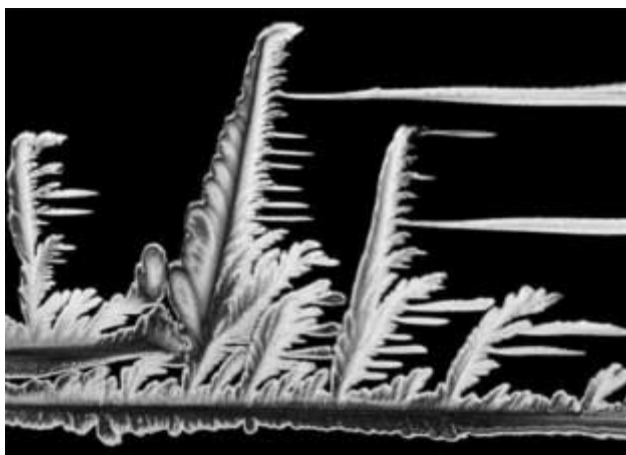
Szivárvány

A polarizált fény keletkezésének megismerése után nézzük meg, milyen módon lehet ezt az ismeretet gyakorlati célokra használni. A napszemüvegek kínálatában választhatunk polarizáltot. Ennek a polarizációs síkját úgy választották meg, hogy az a vízszintes felületekről szemünkbe érkező fény polarizációs síkjára merőleges legyen. Ezáltal jelentősen csökkenti a vízszintes felületeken megcsillanó napfény vakító hatását. A vízfelületeken kívül ez hasznos lehet gépjárművezetés közben, mert az úttest felületét kontrasztosabbnak látjuk általa, sőt még a motorháztető vakító hatása is nagyban csökkenthető. A Brewster-polarizáció következményeként a gépjármű szélvédőjén jelentősen polarizálódik a fény. Közvetlenül a szélvédő mögött elhelyezett tárgyakról visszaverődő fény (például egy térkép), nem fogja zavarni a vezetést, ha polarizáló szemüvegben vezetünk.

Fényképezés közben is jó szolgálatot tehet egy síkban polarizáló szűrő. Megfelelő szögbe forgatva kiolthatjuk a felhők mögül érkező fényt. Így a felhő hófehér lesz és a mögötte lévő égbolt sötétkék. A tenger vizének csillogását nagyban csökkenthetjük egy megfelelő szögben álló polárszűrővel, ez a mélykék színű tenger fényképezésének egyik titka.

Szivárvány fényképezésénél polárszűrő alkalmazásával növelhetjük a kontrasztosságot a szivárvány belseje (ahonnan polarizálatlan fény érkezik), és az azt körülvevő ég között. Vigyázzunk, mert ha a polárszűrőnk síkját rosszul választjuk, meg akkor a szivárványt teljesen el is tüntethetjük.

C-vitamin kristálya keresztezett polárszűrők között



Kirakatok, vitrinek mélyének fényképezéséhez elengedhetetlenül szükséges a síkban polarizáló, körbe forgatható szűrő. A kirakatról visszaverődő fény alkalmas szögből (Brewster-szög) nézve olyan mértékben válik polárossá (a Brewster-polarizáció miatt), hogy egy megfelelő szögbe beállított polárszűrővel gyakorlatilag teljesen el lehet tüntetni a csillogást.

1811-ben *Arago* észrevette, hogy egyes anyagokon keresztülhaladó fény polarizációs síkja elfordul. A hatás az anyag belsejében történik, erre abból következtethetünk, hogy mértéke az anyag vastagságával arányos. Függ még az anyagi minőségtől és a fény hullámhosszától. Vannak anyagok, amelyek balra, és vannak anyagok, amelyek jobbra forgatnak. A cukoroldatok, a sztrichnin-szulfát, a terpentín és a cukorkristályok a legismertebb optikai forgatók. Cukoroldatok (például a tejcukor) cukortartalmának mérése így gyorsan és megbízhatóan elvégezhető.

Az anyagvizsgálat egy másik módszere átlátszó anyagok (üveg, plexi, szilikon gumi) esetén a feszültségoptikai vizsgálat. Az anyagok mechanikai feszültség hatására kettősen törővé válhatnak. A mechanikai feszültséggel terhelt anyag, keresztezett polárszűrők között szivárványos mintázatot mutat. Ennek oka, hogy az anyagban ébredő mechanikai feszültség nem egyenletes. A mintázatból ránézésre is könnyű megállapítani, hogy hol nagy a mechanikai feszültség, ezeken a helyeken a szivárványos mintázat sűrű. A feszültséggel nem, vagy csak kicsit terhelt anyagban a szivárványos csíkok ritkák, vagy nincsenek. A mechanikai feszültség kialakulhat egyenlőtlen hűlés következményeként. Üvegtechnikai laboratóriumok, műhelyek az elkészült tárgyakon e módszer segítségével megkereshetik a kritikus helyeket, amelyeket kemencében történt kilágyítással tudnak megszüntetni. Így az elkészült üvegtárgy kevésbé lesz törékeny. Ha a bonyolult alakú, nehezen számítható alkatrészek terhelhetőségére vagyunk kíváncsiak, akkor is alkalmazható a módszer. Ebben az esetben a tárgyat könnyen deformálható anyagból kell elkészíteni, és a terhelés hatására kialakuló szivárványos minta elárulja a kritikus pontokat.

Keresztezett polárszűrőket gyakran használnak a mikroszkópiában. Ennek a technikának köszönhetően láthatóvá tehető az anyagok belső világának sok érdekes apró részlete. Az emberi szem számára egyenletesen átlátszó minta helyenként eltérő polárforgatása, polarizálása, kettőtörése meglepően szép és tudományos szempontból fontos látványt nyújt.

Härtlein Károly
BME, Fizikai Intézet

Irodalom és ajánlott internetoldalak

1. L. LEDERMAN: *Az isteni atom*
2. ÁBRAHÁM GY.: *Optika*
3. SIMONYI K.: *A fizika kultúrtörténete*
4. BUDÓ Á., MÁTRAI T.: *Kísérleti fizika III.*
5. HORVÁTH G., J. ZEIL: *Állatsapdák, avagy egy olajtöcsa vizuális ökológiája* – Természet Világa 1996. III.
6. HORVÁTH G.: *A geometriai optika biológiai alkalmazása: Biooptika*
<http://www.tar.hu/fizfoto/fizfoto6.html>
<http://www.microscopyu.com/articles/polarized/polarizedintro.html>
<http://www.microscopyu.com/tutorials/java/polarized/polarizerrotation/index.html>
<http://www.microscopy.fsu.edu/primer/java/polarizedlight/icelandspar/>

SZERZŐINK FIGYELMÉBE

A *Fizikai Szemle* hangsúlyozottan szakmai *tudományos ismeretterjesztő* folyóirat, melyben egy ma végzett fizikus vagy tanár szakos kolléga számára *érthető* módon kapnak helyet a fizika és a rokon tudományok legújabb eredményei, valamint a fizikatörténettel és -tanítással foglalkozó értékes írások. A *Szemle* beszámol továbbá a fizikusok és fizikatanárok számára érdekes hazai és külföldi hírekről, eseményekről és könyv-újdonságokról is. A fenti cél érdekében tesszük közzé szerzőinknek tartalmi és formai követelményeinket.

Tartalmi követelmények

A folyóirat új, eredeti tudományos munkákat nem közöl. A leadott írások ne vesszenek el a tárgyalt témakör részleteiben, az általános színvonal legyen érthető. A kéziratokban kerüljék az idegen szakkifejezéseket, szerzőink inkább azok magyar megfelelőjét használják. Kérjük továbbá szerzőinket, hogy a matematikai levezetések közlésétől tekintsenek el, az ilyen részletek és a cikk hosszabb változata felkerülhetnek a folyóirat honlapjára (www.fizikaiszemle.hu), és a nyomtatott változatban a szerzők szándékuk szerint természetesen hivatkozhatnak erre. A tanulmányokban a szerzők legfeljebb néhány, lehetőleg magyar nyelvű irodalomra hivatkozzanak, de inkább várjuk a téma továbbgondolását szolgáló honlaponcímeket.

A tudományos ismeretterjesztő cikkeken kívül ismertetőket közlünk a fizikával kapcsolatos eseményekről (pl. a társulati és az akadémiai élet hírei, beszámolók ankétokról stb.), várjuk az ehhez kapcsolódó írásokat is. Tudósítunk fizikával kapcsolatos pályázatokról, ha időben értesítik a szerkesztőséget. Beszámolunk érdekes előadásokról, konferenciákról, előadás-sorozatokról.

A fizika tanításával kapcsolatban közlünk általános érdeklődésre számot tartó, a módszertani megújítást segítő dolgozatokat, ismertetjük a különböző versenyek érdekesebb feladatainak megoldását.

Továbbra is figyelemmel kísérik az olvasóink érdeklődési körébe eső könyveket, az ezekről szóló ajánlásokkal segítjük a tájékozódást.

Másutt már megjelent dolgozatot azonos formában nem közlünk.

Formai követelmények

Csak Word vagy LaTeX szövegszerkesztővel készített és elektronikusan (szerkesztok@fizikaiszemle.hu) beküldött dolgozatokat fogadunk el. A szerkesztők munkáját elősegíti, ha pdf-formátumban is benyújtják a kéziratot. A szerkesztőkkel való kapcsolattartás megkönnyítésére kérjük, hogy a kéziratban a szerző tüntesse fel elektronikusan, telefonosan és postai elérhetőségét is.

A kézirat maximális terjedelme ábra nélküli cikkek esetén négy *Szemle*-oldal (kb. 20–21 ezer leütés), ábrákat is tartalmazó cikk esetén öt oldal lehet. Hosszabb cikkek folytatásos közlése a *Fizikai Szemle*-ben nem lehetséges.

A szerzők minden esetben tüntessék fel teljes nevüket, valamint munkahelyüket, ennek hiányában lakóhelyük nevét.

A kéziratban jól felismerhetően kijelölendők az alcímek, azok egymáshoz való viszonya (betűmérettel, kövér, dőlt, aláhúzott stb. módon). Az alcímeknél decimális megkülönböztetés nem alkalmazható.

A táblázatok sorrendjét arab szám jelöli, a táblázatokat azok tartalmára utaló fejszöveggel kell ellátni.

Az ábrák jelölése arab számmal történik, az ábrákhoz magyarító ábraalírás szükséges. Az ábrákban levő szövegek magyar nyelvűek legyenek, vagy fordítását mellékeljék a szerzők. Ügyeljenek arra, hogy megadják a grafikontengelyek jelentését. Kérjük, hogy ügyeljenek az ábrák jogtisztaságára, a lehetőség szerinti legjobb minőségű forrást kérjük szerzőinktől. Megköszönjük, ha érdekes és jó minőségű képpel-ábrával segítik a címlap elkészítését.

A kéziratban szereplő neveket első előfordulásukkor, a műcímeiket, az előadási címeiket, a folyóiratneveket kurzív (*dőlt*) szedéssel kérjük jelölni. Az idézeteket idézőjelek közé téve álló kurrens betűvel kérjük megadni, a fontosnak ítélt szövegrészek kurzív (*dőlt*) betűtípussal emelendők ki.

A hivatkozást a szövegen belül szögletes zárójelben lévő arab számmal, több hivatkozás esetén tól-ig jelöléssel szerepeltessék. A szöveg végi irodalomjegyzék címe Irodalom, az egyes tételek arab számmal és azt követő ponttal jelölendők. Ezt követően a szerző(k) neve egymástól vesszővel legyen elválasztva, keresztnév csak betűvel jelölendők. Ezt követi a hivatkozott mű címe, a folyóirat neve, kötetszáma, évszáma, oldalszáma, könyv esetén a kiadó neve, a kiadás helye és ideje.

A kézirathoz – lehetőség szerint – kérjük, csatoljanak tömör, néhány soros összefoglalót. A *Fizikai Szemle* honlapján a nem teljes terjedelemben megjelenő írásokra ennek segítségével hívjuk fel a figyelmet.