

fizikai szemle



2010/5

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

Főszerkesztő:

Szatmáry Zoltán

Szerkesztőbizottság:

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

Szerkesztő:

Füstöss László

Műszaki szerkesztő:

Kármán Tamás

A folyóirat e-mail címe:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>

A címlapon:

Overdose, a pej csodaló.
Lásd folyóiratunk első írását.
Fotó: PannoniaOverdose.hu

TARTALOM

<i>Blabó Miklós, Horváth Gábor, Hegedüs Ramón, Kriska György, Farkas Róbert, Susanne Åkesson: A lovak fehérségének egy nem várt előnye</i>	145
<i>Bajcs József: Nukleáris energia: vele vagy nélküle?</i>	156
<i>Hárs György: Impulzusok nélkül működő, folyamatos üzemű repülési idő tömegspektrométer</i>	160
<i>Kovács László: Henry Cavendish, a kísérletező ember</i>	167
PÁLYÁZATOK	173
A FIZIKA TANÍTÁSA	
<i>Tömpe Péter: Bolyai Zentán</i>	174
<i>Vida József: Az egeri Varázstorony Miskolcon debütált</i>	175
KÖNYVESPOLC	177
HÍREK – ESEMÉNYEK	178

M. Blabó, G. Horváth, R. Hegedüs, G. Kriska, R. Farkas, S. Åkesson:
Horses and horseflies: why white horses are better off
J. Bajcs: Nuclear power: should we use it or not?
*G. Hárs: Development of time-of-flight mass spectrometer with continuous
ion introduction*
L. Kovács: Henry Cavendish and his experiments

TENDERS

TEACHING PHYSICS

P. Tömpe: Chemistry camp for students at Senta (Serbia)
J. Vida: Exposition "Tower of miracles" from Eger recently guest at Miskolc

BOOKS, EVENTS

M. Blabó, G. Horváth, R. Hegedüs, G. Kriska, R. Farkas, S. Åkesson:
Pferde und Bremsen: warum Schimmel weniger leiden
J. Bajcs: Kernenergie: mit oder ohne?
G. Hárs: Ein Flugzeit-Massenspektrometer mit kontinuierlicher Einspeisung der Ionen
L. Kovács: Henry Cavendish und seine Experimente

AUSSCHREIBUNGEN

PHYSIKUNTERRICHT

P. Tömpe: „Chemie-cam“ für Schüler in Senta (Serbien)
J. Vida: Ausstellung „Turm der Wunder“ aus Eger jüngst in Miskolc zu Gast

BÜCHER, EREIGNISSE

М. Благо, Г. Хорват, П. Хэджюш, Г. Кришка, Р. Фаркас, С. Акессон:
Лошади и слепени: почему белым лошадям легче?
Й. Байс: Ядерная энергия: пользоваться ей или нет?
Г. Харш: Масс-спектрометр на основе времени полёта с непрерывной подачей ионов
Л. Ковач: Генри Кэвэндиш и его эксперименты

ОБЪЯВЛЕНИЯ-КОНКУРСЫ

ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

П. Тёмпэ: Летний «химический лагерь» одаренных учеников в г. Сента, Сербия
*Й. Видэ: Выставка «Башня физических волшебств» из г. Эгер недавно была
в гостях в г. Мишкольц*

КНИГИ, ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ

Fizikai Szemle
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:



Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

LX. évfolyam

5. szám

2010. május

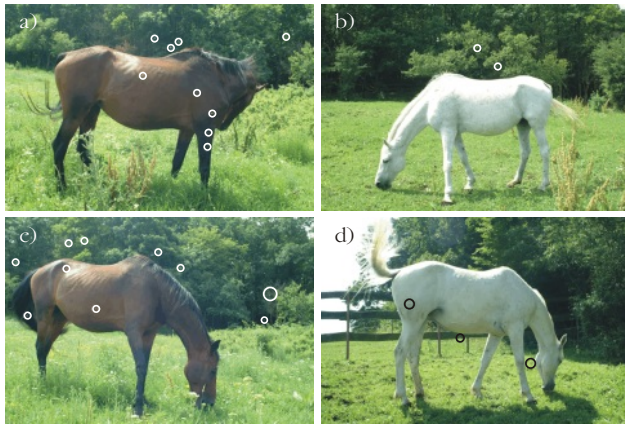
A LOVAK FEHÉRSÉGÉNEK EGY NEM VÁRT ELŐNYE

A leginkább „bögölyálló” ló depolarizáló fehér szőrű,
a fekete ló pedig szenved polarizáló szőrét

Blahó Miklós, Horváth Gábor, ELTE Fizikai Intézet, Biológiai Fizika Tanszék, Budapest
Hegedüs Ramón, Gironai Egyetem, Számítógépes Látás és Robotika Csoport, Girona, Spanyolország
Kriska György, ELTE Biológiai Intézet, Biológiai Szakmódszertani Csoport, Budapest
Gerics Balázs, Szent István Egyetem, Anatómiai és Szöveti Tanszék, Budapest
Farkas Róbert, Szent István Egyetem, Parazitológiai és Állattani Tanszék, Budapest
Susanne Åkesson, Lundi Egyetem, Biológia Tanszék, Lund, Svédország

A fehér lovak gyakran szenvednek az ultraibolya napsugárzással szembeni nagy érzékenységből fakadó rosszindulatú bőrrákban és látórendszeri betegségeken. Ráadásul a vadon élő fehér lovakat a ragadozók könnyebben elejtik, mert fehérségük miatt kevésbé tudnak rejtőzködni, mint sötétebb színű fajtársaik. Nagyobb sebezhetőségük ellenére a fehér lovakat az emberek évezredek óta nagy becsben tartják, éppen a természetbeni ritkaságuk miatt. Cikkünkben megmutatjuk, hogy a bögölyök kevésbé vonzódik a fehér lovakhoz, mint a sötét színűekhez. A bögölyök számos egészségügyi és gazdasági problémát okoznak az embereknek és állatoknak egyaránt, mivel nőtényeik betegségek kórokozói terjesztik, miközben a gerincesek vérét szívják. Azt is bizonyítjuk, hogy a bögölyök a vérszívásra alkalmas gazdaállatot részben az annak testfelületéről visszavert poláros fény segítségével találják meg. A bögölyök főként fekete és barna szőrű lovakhoz való vonzódása a pozitív polarotaxisukkal, vagyis az erősen és vízszintesen poláros fényhez való vonzódásukkal magyarázható. Mivel a gazdaállat színe meghatározza a bögölyökre kifejtett vonzerejét is, ezáltal kibat a gazdaállat kórokozók általi megfertőződésére is. Habár kizárólag a bögölyök és lovak közti vizuális kölcsönhatást vizsgáltuk, a jelentős nemzetközi visszhangot kiváltó eredményeink érvényesek lehetnek a polarotaktikus bögölyök más gazdaállataira is.

A természetes kiválasztódás és a hímek versengése a nőtényekért sok esetben vezetett a kültakaró (tollzat, szőrzet) látványos mintázataihoz, amelyek a hímekben hordozott „jó gének” és a paraziták elleni nagy ellenálló képesség vizuális jelzőinek számítanak [1–3]. A tesztoszteron szabályozza a szőrzet növekedését [4] és a melaninképződést [5], valamint befolyásolja a hímek agresszióját [6], amely jellemzők a hímek dominanciájával és megnövekedett párosodási lehetőségével állnak szoros kapcsolatban. Ugyanakkor a magasabb tesztoszteronszint nagyobb parazitaterheléssel és a paraziták miatti nagyobb halálozási aránnyal jár együtt [7, 8]. A feltűnőségük miatti nagy sebezhetőségük következtében a természetben csak igen ritkán fordulnak elő fehér (világos szürke vagy albínó) lovak és más patás állatok. Az ilyen fehér állatok sokkal kevésbé védettek a napsugárzás ultraibolya összetevőjével szemben, ami megnöveli a bőrrák kialakulásának esélyét, továbbá a látórendszer betegségeihez vezethet [9]. Egy fehér patást a ragadozók könnyen észrevesznek, ezért a fehér egyedek az evolúció során kisselektálódtak a vadonéló populációkból. Másrészt viszont – éppen a természetbeni ritkaságuk miatt – az emberek kitenyészítették a fehér (lovas szaknyelven szürke) lovak különféle fajtáit. A fehér ló az emberi kultúrában idővel a ritkaság, a méltóság és a gazdagság státusz-szimbólumává vált [10]. Gondoljunk csak például Árpád vezérünk vagy



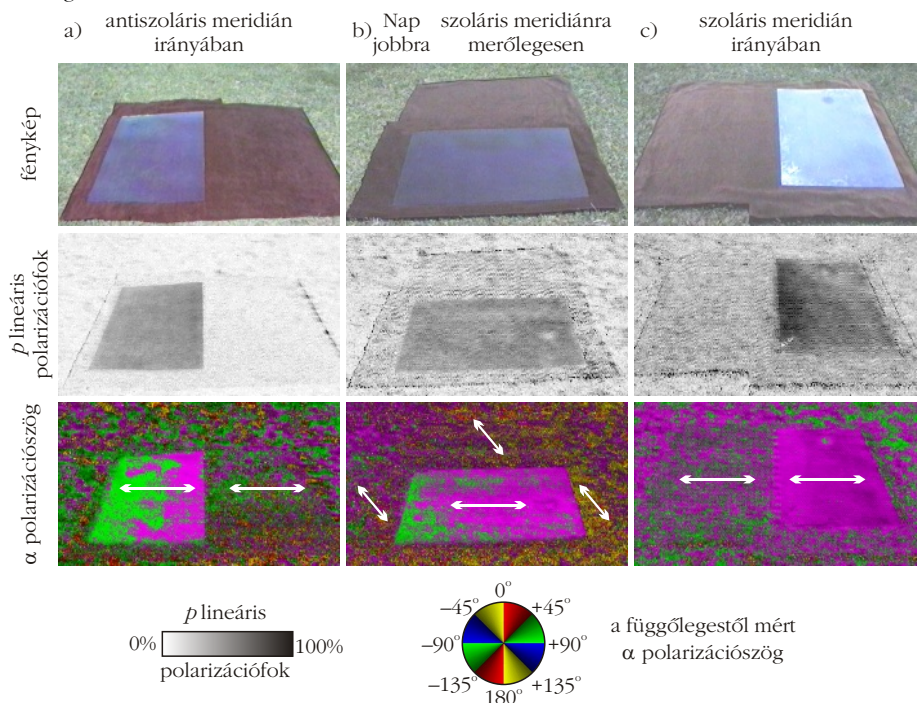
1. ábra. Két jellemző képpár az általunk vizsgált, bögölyök által zaklatott pej (barna, a, c) és szürke (fehér, b, d) lóról. A lovak körül szálló és azokra rászállt bögölyöket vizuálisan ismertük föl és a képeken karikával jelöltük. 70 képpárt értékeltünk így ki, és az összes fényképen megszámoltuk a bekarikázott bögölyöket. Az itteni képpárokon is jól látható, hogy a barna lovat a bögölyök sokkal inkább támadták, mint a fehérét.

Horthy Miklós fehér lovára, illetve a csak a mesékben létező fehér egyszarvúra.

A fehér lovak egy speciális mutációt hordoznak, ami egy több ezer évvel ezelőtt élt közös ősrre vezethető vissza [9]. A fehér lovak többsége egy őszülés okozó domináns mutációt hordoz, amennyiben a lovak színes (fekete vagy barna) szőrzettel születnek, de egyéves korukra megőszülnek. E folyamat hasonló az emberek őszülésére, csak a lovaknál sokkal gyorsabban történik. A ma élő lovak mintegy 10%-a hordozza ezt az őszülést kiváltó mutációt. E genetikai mutáció miatt, az emberi gondoskodás ellenére, a fehér lovak sokkal érzékenyebbek a káros ultraibolya-sugárzással szemben, ami növeli a bőrrák kialakulásának esélyét. A 15 évesnél öregebb fehér (szürke) lovak 75%-ának van valamilyen jóindulatú daganata, ami néhány esetben rosszindulatúvá alakulhat [9]. Tehát a lovak látványos fehérségének ára az ultraibolya-sugárzás kiváltotta bőrrák nagyobb kockázata.

Cikkünkben megmutatjuk, hogy a fehér lovak a bögölyök számára kevésbé vonzóak, mint a sötétebb színűek. Kísérletekkel és képalkotó polarimetriai vizsgálatokkal támasztjuk alá azt, hogy a jelenség a testfelület fénypolarizáló képességével és a bögölyöknél nemrég fölfedezett pozitív polarotaxissal [11] magyarázható, vagyis azzal,

2. ábra. Az 1. és 2. kísérletben használt fényes barna (bal oldalt) és matt barna (jobb oldalt) napos testfelületeknek a szoláris meridiánhoz képest három különböző irányból képpalkotó polarimetriával mért polarizációs mintázatai a spektrum kék (450 nm) tartományában. A polariméter optikai tengelyének dőlésszöge -35° volt a vízszinteshez képest. Az α -mintázatokon a jellemző polarizációirányokat kettősfejű nyilak is mutatják. Amikor a testfelületek árnyékban voltak, a polarizációs mintázatok teljesen hasonló volt, azzal a különbséggel, hogy a visszavert fény polarizációiránya mindig vízszintes volt.



1. táblázat

Egy szokolyai legelőn 2008. június 22-én egy barna és egy fehér lóról készült 70 képpáron (1., 5. ábra) vizuálisan fölismert bögölyök N száma

barna ló	fehér ló
405	110

Az $N = 405$ és 110 közötti különbség statisztikailag magasán szignifikáns ($\chi^2 = 169$, $df = 1$, $p < 0,0001$).

hogy a bögölyök vonzódnak az erősen és vízszintesen poláros fény természetes vagy mesterséges forrásaihoz. Az, hogy a fehér lovak kevésbé vonzzák a bögölyöket, nagyon előnyös tulajdonság, mert a bögölyök sok szenvedést okoznak a lovaknak, és más emlősöknek is. E rovarok vérszívó nőtényei súlyos betegségek kórokozóinak hordozói [12], folytonos zaklatásuknak köszönhetően pedig a lovak és más növényevő állatok (például szarvasmarhák) kevesebbet legelnek, miáltal testtömegük és tejtermelésük is jelentősen lecsökken [13]. A vadon élő állatok populációira is negatív hatással van a bögölyök folyamatos támadása miatt megzavart táplálkozás, miáltal a gazdaállatok állóképessége (fitnesze) csökken.

A terepen megfigyeléseket és választásos kísérleteket végeztünk, amelyekben a bögölyök lovakhoz, lómakettekhez és különböző fénypolarizáló-képességű tesztfelületekhez való vonzódását tanulmányoztuk. A kapott eredmények szerint nem önmagában a szőrzet sötét színe, hanem fénypolarizáló-képessége okozza

2. táblázat				
Egy barna és egy fehér ló (1., 5. ábra) megfigyelt előfordulása 2008. június 22-én egy szokolyai napos legelőn és a legelő melletti erdő árnyékában az idő függvényében, és a t teljes tartózkodási idő.				
idő	árnyékos erdő		napos legelő	
	fehér ló	barna ló	fehér ló	barna ló
11:00	–	–	+	+
11:15	–	+	+	–
11:25	+	+	–	–
11:30	–	–	+	+
11:40	–	+	+	–
11:43	–	–	+	+
11:46	–	+	+	–
11:49	–	–	+	+
11:58	–	–	+	+
11:59	–	+	+	–
12:02	–	+	+	–
12:03	–	+	+	–
12:04	+	+	–	–
12:23	–	+	+	–
12:30	+	+	–	–
13:00	+	+	–	–
t (perc)	54	82	66	38

+: megjelenés

–: eltűnés

Helyi nyári időszámítás = UTC+2h

a bögölyök erősebb vonzódását a sötétebb lovakhoz. Hogy a választásos terepkísérleteinkben használt lómakettek és tesztfelületek polarizációs sajátosságait összehasonlíthassuk a bögölyök által támadott tipikus gazdaállatokéival, élő lovak és szarvasmarhák polarizációs mintázatait is mértük képalakító polarimetriával. A lovasok, valamint a lovak és más haszonállatok tartózkodási számára is fontos eredményeinket [14] számos más nyomtatott és elektronikus médium mellett a *Nature* [15], a *Science* [16] és a *Discover Magazine* [17] is méltatta.

Vizsgálati módszerek

Lovak bögölyök általi zaklatásának megfigyelése

Egy meleg napsütéses napon, 2008. június 22-én Szokolyán (47° 52' Ny, 19° 00' K) egy legelőn figyeltük meg egy barna (lovasszaknyelven pej) és egy fehér (szürke) ló bögölytámadásokkal szembeni viselkedését. A bögölyök mindkét lovat folyamatosan zaklatták, a lovakat valóságos bögölyfelhő vette körül. Hogy a bögölyfelhő méretét valamilyen módon dokumentáljuk, 70-70 fényképet készítettünk a legelő barna és fehér lóról (1. ábra). A 10 megapixeles felbontású képeken egy számítógépes képernyőn leszámoltuk a

3. táblázat			
Az 1. kísérletben Szokolyán, 2008. június 23-án 6,5 óra alatt a fényes és matt barna tesztfelületekhez (2. ábra) vonzott bögölyök N_B száma és azok tesztfelületre való leszállásainak N_L száma			
bögölyök N_B száma		leszállások N_L száma	
fényes barna	matt barna	fényes barna	matt barna
44	1	174	1

A kísérlet 10:30 és 17:00 (UTC+2h) óra között tartott. Az $N_B = 44$ és 1, valamint az $N_L = 174$ és 1 közti különbségek statisztikailag magasan szignifikánsak ($df = 1$, $44/1$: $\chi^2 = 41,1$, $174/1$: $\chi^2 = 171,0$, $p < 0,0001$).

4. táblázat			
Az 1. kísérletben Gödön, 2008. június 25-én 6,5 óra alatt a fényes és matt barna tesztfelületekhez (2. ábra) vonzott bögölyök N_B száma és azok tesztfelületre való leszállásainak N_L száma			
bögölyök N_B száma		leszállások N_L száma	
fényes barna	matt barna	fényes barna	matt barna
47	1	157	1

A kísérlet 10:30 és 17:00 (UTC+2h) óra között tartott. Az $N_B = 47$ és 1, valamint az $N_L = 157$ és 1 közti különbségek statisztikailag magasan szignifikánsak ($df = 1$, $47/1$: $\chi^2 = 44,1$, $157/1$: $\chi^2 = 154,0$, $p < 0,0001$).

vizuálisan fölsírt bögölyöket (1. táblázat). Az intenzív bögölytámadások előtt a lovak időnként a napos legelőről a rét határoló erdő árnyékába menektek. Mértük mindkét ló esetén a legelőn és árnyékban töltött időt (2. táblázat).

Az 1. kísérlet

2008. június 23–24-én, illetve 25–26-án zajlott meleg, napos időben egy-egy lovastanyán Szokolyán (47° 52' Ny, 19° 00' K) és Gödön (47° 43' Ny, 19° 09' K), naponta 9:30-tól 17:30-ig (helyi nyári idő = UTC+2h). Egy adott helyszínen az első napon két azonos méretű (150×150 cm) és minőségű, száraz, matt, barna vásznat fektettünk vízszintes deszkákra, egymástól 1 m távolságra. Az egyik vásznat egy színtelen, átlátszó, 3 mm vastag műanyag lappal fedtük le (2. ábra). A tesztfelületeket óránként fölcseréltük, továbbá kétóránként az árnyékból a közeli napos területre helyeztük át. A tesztfelületek hőmérsékletét digitális kontakthőmérővel mértük. A két tesztfelület hőmérséklete a kísérlet során mindvégig – $\pm 0,25$ °C pontossággal – azonos volt. Mindkét tesztfelületnél számoltuk az odavonzott bögölyöket és a tesztfelületre való leszállásaikat (3. és 4. táblázat). A második napon is elvégeztük ezt a kísérletet azzal a különbséggel, hogy a műanyag lappal borított barna vásznat egy azonos méretű matt fehér vászonra cseréltük.

A 2. kísérlet

Először 2008. augusztus 3-án 9:00 órától 19:00 óráig (UTC+2h) végeztük el egy lovasskola melletti temetőben, Kiskunhalason (46° 43' Ny, 19° 05' K). A kísérleti elrendezés az 1. kísérlettel megegyező volt, csak a vízszintes átlátszó, szintelen műanyag lapot

5. táblázat

A száraz matt barna tesztfelületre leszállt és a ragadós, fényes, barna felülettel csapdába ejtett bögölyök száma a 2. kísérletben, 2009. augusztus 16. és 25. között

száraz matt barna	ragadós fényes barna
4	189

A különbség magasan szignifikáns (χ^2 teszt: $df = 1$, $\chi^2 = 177,3$, $p < 0,0001$).

szintelen, szagtalan ragasztóval (BabolnaBio® egérragacs) vontuk be, amely a felületre szálló minden rovarot megfogott, továbbá a tesztfelületek végig árnyékban voltak. Számoltuk a matt barna felületre szálló és a csillogó ragadós felülettel csapdába ejtett bögölyöket. A ragasztóba ragadt bögölyöket azonnal eltávolítottuk a felületről, így a következő bögöly számára a csapdába ejtett fajtárs látványa nem befolyásolta a felület vonzókéességét. A kísérletet 2008. augusztus 4-én ugyanott megismételtük azzal a különbséggel, hogy a műanyag lappal borított matt barna vásznat egy azonos méretű matt fehér vászonra cseréltük. Megint számoltuk a két tesztfelületre szálló bögölyöket. A tesztfelületek hőmérséklete a kísérlet során végig azonos volt, mivel árnyékban voltak.

A kísérlet első részét, amiben matt barna és fényes barna tesztfelületeket használtunk, 2009. augusztus 16. és 25. között, naponta 12:00-tól 13:00-ig, összesen 10 alkalommal megismételtük. Számoltuk a vízszintes matt barna felületre szálló és a vízszintes csillogó ragadós felülettel csapdába ejtett bögölyöket (5. táblázat). A fényes barna felületre ragadt bögölyöket most is azonnal eltávolítottuk. Miközben a ragadós felületről leszedtük a bögölyöket, azok súlyosan megsérültek, ami a faji meghatározásukat lehetetlenné tette. Mindazonáltal bizonyosan bögölyök (Tabanidae: Diptera) voltak. 2009. augusztus 16. és 25. között, naponta 13:00-tól 14:00-ig a kísérlet második felét is – amiben egy száraz matt barna és egy száraz matt fehér tesztfelületet használtunk – tízszer megismételtük, számolva a tesztfelületekre rászálló bögölyöket.

A 3. kísérlet

2009. július 17-től szeptember 13-ig folyamatosan zajlott egy lovastanyán, Szokolyán (47° 52' Ny, 19° 00' K). Egy barna, egy fekete és egy fehér lómakettet (mindhárom azonos formájú és méretű: hosszúság: 160 cm, magasság: 110 cm, szélesség: 60 cm) állítottunk a füves talajra normál testtartásban (3. ábra). A három lómakettet 5 m távolságra helyeztük el egymástól egy egyenes mentén. A felületüket minden második napon szintelen, szagtalan ragasztóval (BabolnaBio® egérragacs) kentük be. A lómakettek sorrendjét kétnaponként véletlenszerűen fölcseréltük. A kísérlet helyét úgy választottuk meg, hogy mindhárom lómakett egyszerre legyen napon vagy árnyékban. A lómakettek ragadós felületeivel csapdába ejtett bögölyöket kétnaponta leszedtük és megszámloltuk (6. táblázat). Felhős vagy esős időben a bögölyök nem repültek, s ekkor a lómakettek egyetlen bögölyt

6. táblázat

A ragadós barna, fekete és fehér lómakettekkel (3., 6. ábra) fogott bögölyök száma a 3. kísérletben

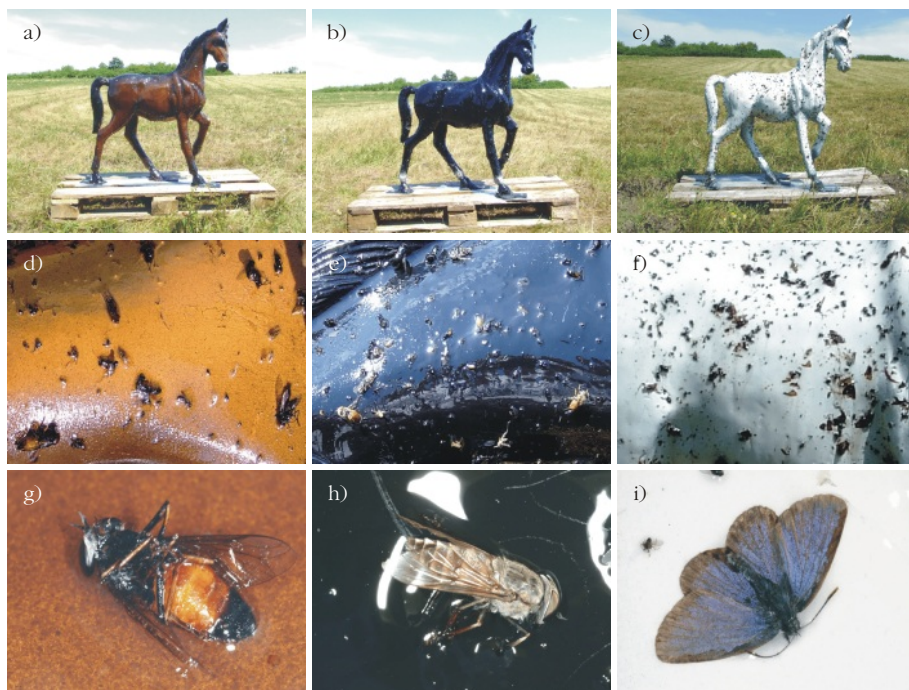
dátum (2009)	időjárás	ragadós lómakett		
		barna	feke	fehér
július 17–18.	napos, meleg	41	50	4
július 19–20.	napos, meleg	23	33	2
július 21–22.	napos, meleg	9	18	2
július 23–24.	napos, meleg	35	59	2
július 25–26.	napos, meleg	11	50	1
július 27–29.	esős, hideg	0	0	0
július 30–31.	napos, meleg	40	50	1
augusztus 1–2.	napos, meleg	64	78	2
augusztus 3–4.	napos, meleg	20	28	1
augusztus 5–6.	napos, meleg	10	13	1
augusztus 7–10.	felhős, hideg	0	0	0
augusztus 11–12.	napos, meleg	15	58	0
augusztus 13–14.	napos, meleg	16	32	1
augusztus 15–16.	napos, meleg	21	40	0
augusztus 17–18.	napos, meleg	7	12	2
augusztus 19–20.	napos, meleg	9	19	2
augusztus 21–22.	esős, hideg	0	0	0
augusztus 23–24.	napos, meleg	1	5	0
augusztus 25–26.	napos, meleg	2	4	0
augusztus 27–28.	napos, meleg	2	6	0
aug. 29. – szept. 1.	esős, hideg	0	0	0
szeptember 2–3.	napos, meleg	2	4	0
szeptember 4–5.	napos, meleg	2	1	0
szeptember 6–7.	felhős, hideg	0	0	0
szeptember 8–9.	napos, meleg	3	0	1
szeptember 10–11.	felhős, hideg	0	0	0
szeptember 12–13.	napos, meleg	1	2	0
összesen:		334	562	22

Az e kísérlettel párhuzamosan (július 17-től 26-ig, illetve augusztus 11-től 16-ig) a terepen kívül lévő fekete étolajtálca fogási eredményei szerint a következő bögölyfajok voltak jelen a 3. kísérlet során: *Tabanus tergstinus*, *T. bromius*, *T. bovinus*, *T. autumnalis*, *Atylotus fulvus*, *A. loewianus*, *A. rusticus* és *Haematopota italica*. A különbségek magasan szignifikánsak.

χ^2 tesztek: a) barna–fekete: $df = 1$, $\chi^2 = 58,0$, $p < 0,0001$, magasan szignifikáns; b) barna–fehér: $df = 1$, $\chi^2 = 273,4$, $p < 0,0001$, magasan szignifikáns; c) fekete–fehér: $df = 1$, $\chi^2 = 499,3$, $p < 0,0001$, magasan szignifikáns; d) multinomiális teszt: $df = 2$, $\chi^2 = 480,3$, $p < 0,0001$, magasan szignifikáns.

Egyutas ANOVA teszt: $SS_{\text{barnas}} = 5443,6$, $df = 2$, $MS_{\text{barnas}} = 2721,8$; $SS_{\text{biba}} = 21132,4$, $df = 78$, $MS_{\text{biba}} = 270,9$; $F = 10,05$, $p < 0,0001$, magasan szignifikáns.

sem fogtak. Miközben a lómakettek ragadós felületéről a bögölyöket leszedtük, azok súlyosan megsérültek, ami a faji meghatározásukat lehetetlenné tette. Mindazonáltal a leszedett rovarok bizonyosan bögölyök (Tabanidae: Diptera) voltak.



ket naponta, véletlenszerűen változtatva. Éjszakára, valamint esős időben a tálcákat letakartuk. A tálcák által csapdába ejtett bögölyöket begyűjtöttük és etil-alkoholban tartósítottuk a későbbi határozás céljából.

Polarizációs mintázatok mérése

A tesztfelületek (2., 4. ábra), lómakettek (6. ábra), valamint lovak és szarvasmarhák (7. ábra) polarizációs mintázatait képalkotó polarimetriával [18] mértük a spektrum vörös (650 ± 40 nm = a polariméter CCD-detektora maximális érzékenysége) hullámhossza $\pm$ annak félértekszélessége, zöld (550 ± 40 nm) és kék (450 ± 40 nm) tartományában. A továbbiakban csak a kék tartományban mért polarizációs mintázatokat mutatjuk be, a mintázatok mindhárom csatornában gyakorlatilag azonosak voltak. A polarizációs méréseket tiszta égbolt alatt végeztük. A polarotaktikus vízirovarok, például a bögölyök akkor érzékelnek viznek egy felületet, ha az arról visszavert fény (i) p lineáris pola-

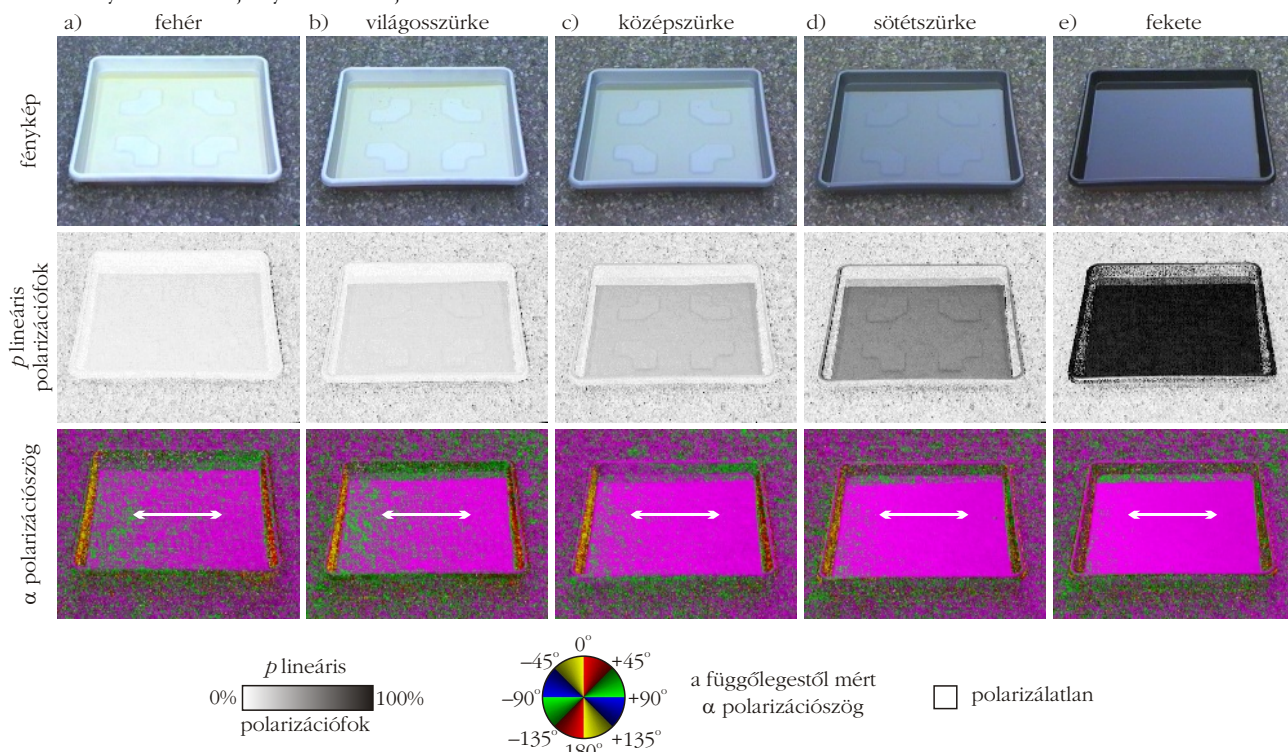
3. ábra. A 3. kísérletben használt ragadós barna (a), fekete (b) és fehér (c) lómakettek. A barna (d), fekete (e) és fehér (f) lómakettkre ragadt bögölyök és más rovarok. (g) A barna lómakettkre ragadt egyik bögöly. (h) A fekete lómakettkre ragadt egyik bögöly. (i) A fehér lómakettkre ragadt egyik lepke.

A 4. kísérlet

egy gödi lovastanyán ($47^\circ 43'$ Ny, $19^\circ 09'$ K) zajlott 2008. július 11. és szeptember 7. között. Öt (fehér, világosszürke, közészürke, sötétszürke, fekete) étolajjal töltött tálcát tettünk a földre (4. ábra), sorrendjü-

tatjuk be, a mintázatok mindhárom csatornában gyakorlatilag azonosak voltak. A polarizációs méréseket tiszta égbolt alatt végeztük. A polarotaktikus vízirovarok, például a bögölyök akkor érzékelnek viznek egy felületet, ha az arról visszavert fény (i) p lineáris pola-

4. ábra. A 4. kísérletben használt, étolajjal töltött öt szintelen (fekete, szürke, fehér) tálcá. a–e) A fehér, világosszürke, szürke, sötétszürke és fekete olajtálcák képalkotó polarimetriával árnyékban mért polarizációs mintázata a spektrum kék (450 nm) tartományában. Az antiszoláris meridián irányába néző polariméter optikai tengelyének dőlésszöge -35° volt a vízszinteshez képest. Az α -mintázatokon a jellemző polarizációirányokat kettősfejű nyilak is mutatják.



rizációfoka nagyobb egy fajfüggő p^* küszöbértéknél, és (ii) az α polarizációirányának a vízszintestől ($\alpha = 90^\circ$) való $\Delta\alpha = |90^\circ - \alpha|$ eltérése pedig kisebb egy fajfüggő $\Delta\alpha^*$ küszöbértéknél. Példaként a 6. ábrán $p^* = 10\%$ és $\Delta\alpha^* = 10^\circ$ értékeket használtunk. Habár e küszöbértékeket önkényesen választottuk, más értékek alkalmazása sem befolyásolta az eredményeket és következtetéseket.

A bögölyök meghatározása

Az etil-alkoholban tartósított bögölyök faji meghatározását az egyik szerző (F. R.) végezte. A 3. kísérlettel párhuzamosan egy másik kísérletet is végeztünk július 17-től 26-ig, illetve augusztus 11-től 16-ig. Egy fekete, négyzet alakú (50×50 cm), étolajjal töltött műanyag tálcával fogtunk bögölyöket, ami lehetővé tette az adott területen jelenlévő bögölyfajok meghatározását (6. táblázat).

Eredmények

Megfigyeltük, hogy a barna és fehér lovakat a bögölyök egyaránt és folyamatosan támadták (1., 5. ábra). A lovak jellemző védekező reakciói a bögölyökkel szemben a következők voltak: legyezés (farokkal történő ide-oda csapkodás), dobantás, hempergés a földön, hirtelen megrázkódás, fej himbálása, a vérszívó bögölyök harapással és nyálással történő eltávolítása a kültakaróról (5. d-i ábrák). E viselkedési elemekkel próbálták elhajtani a lovak a rájuk szálló bögölyöket. 70 képpáron számláltuk meg a vizuálisan fölismert bögölyöket a barna és a fehér lovakon, illetve azok körül (1. ábra, 1. táblázat). A barna lovon $405/110 = 3,7$ -szer annyi bögölyt számoltunk, mint a fehérén, amely különbség statisztikailag magasán szignifikáns. A barna lónak a fehérhez képesti, bögölyökre kifejtett nagyobb vonzereje összhangban áll a 3. kísérlet eredményével (lásd később).

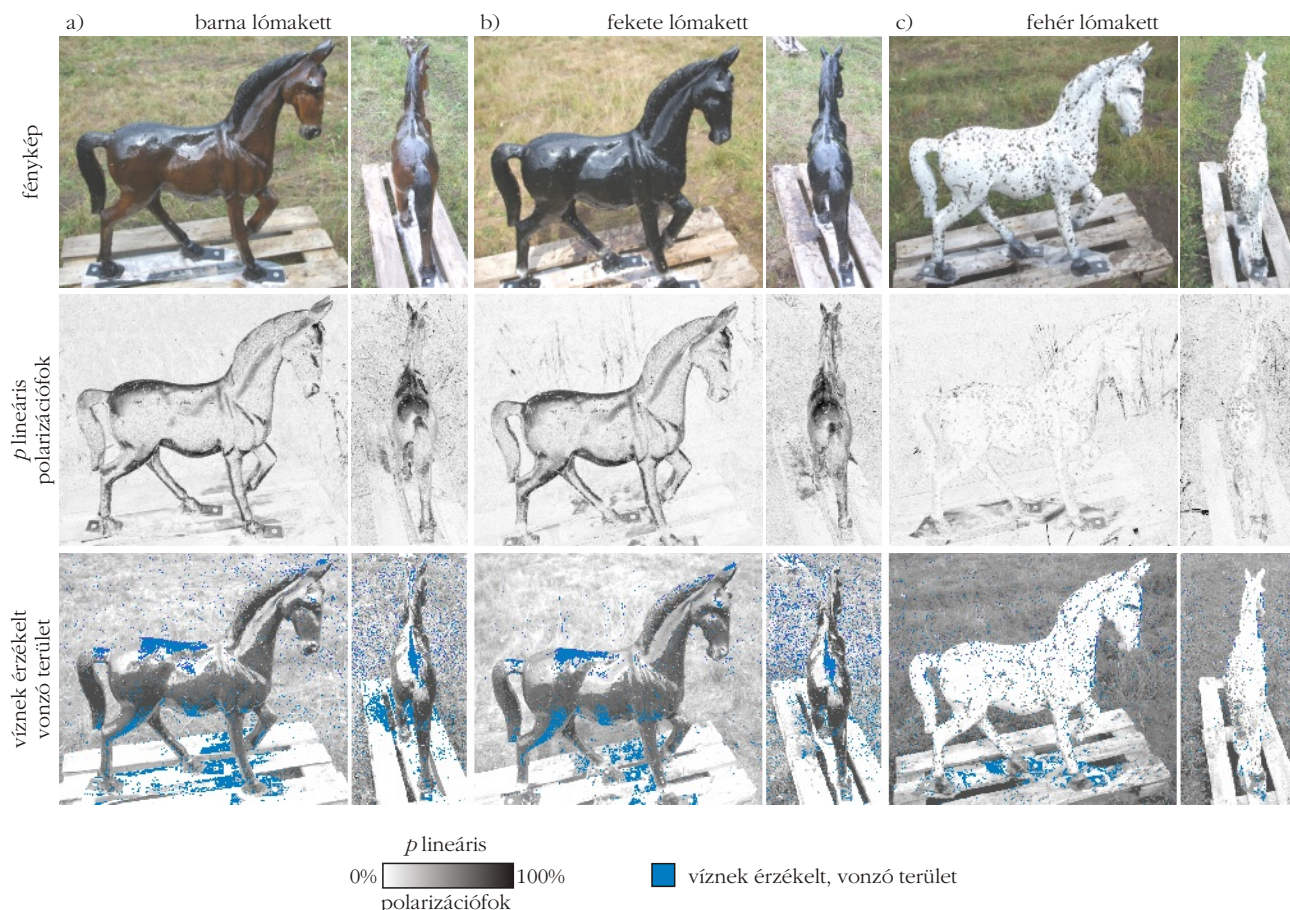
A terepen azt is megfigyeltük, hogy a nyílt legelőn és az árnyékos erdőben nem azonos a bögölytámadások intenzitása, miáltal a lovak a két terület között folyamatosan ingáztak (2. táblázat). Bizonyos, lelegéssel töltött idő után a lovak az árnyékos erdőbe me-



5. ábra. a–c) A vizsgált lovak vérét szívó nőstény bögölyök és más (nem-bögöly) legyek. A legyek a bögöly által ejtett sebből kibuggyanó vért nyalogatják. d–i) A vizsgált fehér és barna lovak bögölyzaklatásokkal szembeni tipikus védekező reakciói: farokcsapkodás (d, e), dobantás a mellő (e) vagy hátsó (f, g) lábbal, hempergés a földön (h), a vérszívó bögölyök harapással és/vagy nyálással történő eltávolítása a kültakaróról (i).

nekültek a bögölyök elől, ahová a bögölyök csak ritkán követték őket, így nyugodtan tudtak pihenni. Egy idő elteltével a lovak újra előmerészkedtek a napos mezőre legelni, ahonnan azonban hamarosan megint visszakényszerültek az árnyékba. Ezt az ingázó viselkedést ismételtették periodikusan a nap közepéig (13:00), mikortól a bögölyök általi zaklatás oly mértékű lett, hogy a lovak már egyáltalán nem tudtak a mezőn legelni. A napos legelőről elsőként mindig a barna ló menekült az erdőbe (2. táblázat). A barna ló 82 perc, illetve 38 perc, azaz 2,2-szer több időt töltött a bögölymentes, árnyékos erdőben, mint a napos legelőn, míg a fehér ló 65 perc / 54 perc = 1,2-szer több időt töltött a legelőn, mint az árnyékban (2. táblázat).

Mivel nemrég bebizonyosodott, hogy számos bögölyfaj vonzódik az erősen és vízszintesen poláros



6. ábra. A 3. kísérletben használt barna (a), fekete (b) és fehér (c) ragadós lómakettek fényképei, polarizációfok mintázatai és a polarotaktikus bögölyök által víznek érzékelt területei (ahol a p polarizációfok: $10\% < p < 100\%$, és az α polarizációirányra: $80^\circ < \alpha < 100^\circ$) két különböző nézőpontból képalkotó polarimetriával mérve a spektrum kék (450 nm) tartományában. A lómakettek jól láthatók a csapdába esett rovarok tetemei. A lómakettek napsütésben voltak, a polariméter optikai tengelye a vízszinteshez képest -20° -os szögben dőlt. A 3. sorban a polarotaktikus bögölyök által víznek észlelt területeket kék szín jelzi.

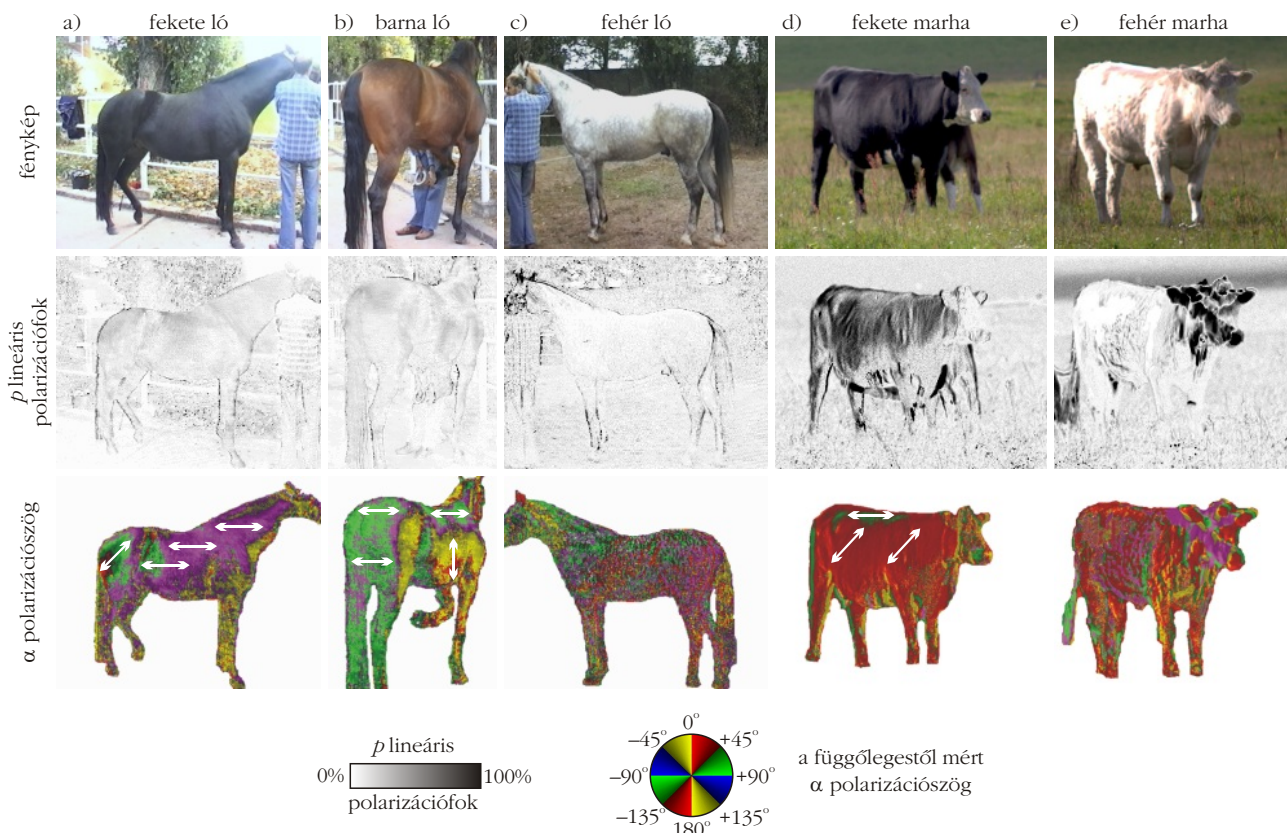
fényhez [11], föltételezhető volt, hogy a sötétebb (barna) ló nagyobb vonzóképesége részben magyarázható az állat szőrzetének fénypolarizáló-képességével, ami erősen függ annak színétől és világosságától, ahogyan az a 6. és 7. ábrákon is látható. E föltevés négy különböző választásos kísérlettel ellenőriztük, amelyek közül néhányat többször is megismételtünk.

Az 1. kísérletből kiderült, hogy a matt barna vászon, amely a lovak barna szőrét utánozta, a bögölyök számára nem volt vonzó, míg az átlátszó, szintelen műnyaglappal letakart matt barna vászon számos bögölyt vonzott (Szokolyán 44 bögölyt 174 leszállással, Gödön 47 bögölyt 157 leszállással a 3. és 4. táblázatok szerint). E különbségek a megvilágítási körülményektől (napos vagy árnyékos) függetlenül statisztikailag magasan szignifikánsak. A bögölyök azonnal vagy 2–15 felületérítés után szálltak rá az adott felületre. A bögölyök a barna tesztfelületeknél ugyanazt a viselkedést mutatták, mint a bögölyök pozitív polarotaxisának fölfedezésekor korábban lefolytatott választásos kísérletekben [11]. Mikor az 1. kísérletet matt barna és matt fehér felületekkel ismételtük meg, azok egyáltalán nem vonzottak magukhoz bögölyöket.

Hogy az 1. kísérletben elkerülhetetlenül föllépő pszeudoreplikációt kizárjuk (azaz, hogy ugyanazt a

bögölyt többször is megszámoljuk annak többszöri visszatérésekor), elvégeztük a 2. kísérletet, amiben a bögölyök többségét egy ragasztó megfogta. A 2. kísérlet eredménye tovább erősítette az 1. kísérletét. 2008-ban az átlátszó, szintelen, ragacsos műnyag lappal letakart barna felület 21 bögölyt fogott, míg a matt barna és matt fehér felületekre csak egyetlen bögöly szállt le ($\chi^2 = 18,2$, $df = 1$, $p < 0,0001$). E kísérletet 2009-ben tízszer megismételve, a következő eredmény adódott: az 5. táblázat szerint ekkor a fényes, ragacsos barna felület 189 bögölyt fogott, míg a matt, száraz barna mindössze négyet. Mindkét különbség statisztikailag magasan szignifikáns. Mikor 2009-ben a 2. kísérletet is 10-szer elvégeztük a száraz matt barna és száraz matt fehér tesztfelületekkel, egyetlen egyikük sem vonzott egyetlen bögölyt sem.

Az 1. és 2. kísérletekből az a következtetés vonható le, hogy a bögölyök nem vonzódnak a vízszintes matt barna (kevésbé poláros) és a matt fehér (depolarizáló) tesztfelületekhez, viszont erősen vonzódnak a vízszintes fényes barna (vízszintesen poláros fényt visszaverő) felületekhez. Tehát a barna lovak bögölyökre kifejtett nagyobb vonzóképesége nem magyarázható pusztán a lovak szőrének színével és fényességével.



7. ábra. Fekete (a), pej (barna, b) és szürke (fehér, c) lovak, valamint egy fekete (d) és egy fehér (e) szarvasmarha képkalkító polarimetriával mért polarizációs mintázatai a spektrum kék (450 nm) tartományában. A d) és e) képeken a Nap a bal felső sarok irányából sütött. A polarizációirány mintázatainak a háttérét kifehérítettük, hogy az állatok mintázata jobban látszódjon. Az állatok testének néhány helyén a jellemző polarizációirányokat kettősfejű nyilak jelölik. Az e) képen látható bika a polarizációs mérés közben elfordította fejét, s az emiatti mozgási műtermék okozta a fej látszólag magas polarizációfokait. Valójában a bika feje is a testéhez hasonlóan polarizálatlan, illetve gyengén poláros fényt ver vissza.

A képkalkító polarimetriai mérések szerint, míg a vízszintes fényes (száraz vagy ragadós) barna teszt-felületek (2. ábra), a szoláris meridiánhoz képesti nézőiránytól függetlenül, mindig erősen és vízszintesen poláros fényt vernek vissza, addig a vízszintes matt száraz barna és fehér felületekről mindig csak gyengén poláros fény verődik vissza, aminek polarizációiránya függ a Naphoz képesti nézőiránytól. Így a felületek bögölyökre kifejtett vonzását nem okozhatja önmagában a barna szín, a visszavert fény polarizációs tulajdonságai is számítanak. E következtetést a 3. kísérlet (3., 6. ábra, 6. táblázat) eredményei is alátámasztották. A 6. táblázat szerint a fényes ragadós barna és fekete lómakettek $334/22 = 15,2$ -szer, illetve $562/22 = 25,5$ -ször annyi bögölyt fogtak, mint a ragadós fényes fehér lómakett. E különbségek most is statisztikailag magasan szignifikánsak. A megfogott bögölyök eloszlása a lómakettek testfelületén véletlenszerű volt, egyik részük sem volt kitüntetett a bögölyök számára. A 6. ábrán látható, hogy a barna és a fekete lómakett egyes részei nagyon erősen poláros fényt tükröznek, míg a fehér lómakett gyakorlatilag polarizálatlan fényt ver vissza. A barna és a fekete lómakett háta, valamint fara ver vissza erősen és vízszintesen poláros fényt (6. ábra 3. sora), így e testrészek lehetnek a bögölyök számára nagyon vonzóak.

A 4. kísérlet (4. ábra) eredményei szerint minél sötétebb egy szintelen, vízszintesen polarizáló teszt-felület, annál vonzóbb a bögölyök számára: a fehér, világosszürke és közpszürke olajtálcák a teljes fogásnak csak 0,9–2,7%-át adták, a sötétszürke tálcák a bögölyök 19,8%-át fogta meg, míg a fekete tálcák 74,8%-ot (7. táblázat). Ez az eredmény azzal magyarázható, hogy minél sötétebb egy szintelen (fe-

7. táblázat

Az étolajjal töltött fehér, világosszürke, közpszürke, sötétszürke és fekete tálcákkal fogott bögölyök száma a 4. kísérletben, 2008. július 11. és szeptember 7. között, Gödön

fehér (4.a ábra)	világos- szürke (4.b ábra)	közép- szürke (4.c ábra)	sötét- szürke (4.d ábra)	fehér (4.e ábra)
1 (0,9%)	2 (1,8%)	3 (2,7%)	22* (19,8%)	83* (74,8%)

A következő bögölyfajok estek csapdába: *Atylotus loewianus*, *Haematopota italica*, *Tabanus bovinus*, *T. maculicornis*, *T. tergatus*. Az $N_{\text{fehér}} - N_{\text{sötétszürke}}$ ($\chi^2 = 35,44$, $df = 1$, $p < 0,0001$) és az $N_{\text{sötétszürke}} - N_{\text{közpszürke}}$ ($\chi^2 = 14,44$, $df = 1$, $p < 0,0001$) közti különbségek statisztikailag magasan szignifikánsak, amit * jelöl, míg a fehér, világosszürke és közpszürke közti különbségek nem szignifikánsak: $N_{\text{fehér}} - N_{\text{világosszürke}}$ ($\chi^2 = 0,3333$, $df = 1$, $p = 0,5637$), $N_{\text{világosszürke}} - N_{\text{közpszürke}}$ ($\chi^2 = 0,2$, $df = 1$, $p = 0,6547$), $N_{\text{fehér}} - N_{\text{közpszürke}}$ ($\chi^2 = 1$, $df = 1$, $p = 0,3171$).

kete, szürke, fehér) felület, annál nagyobb a róla visszavert fény polarizációfoka a hullámhossztól függetlenül (4. ábra).

A választásos terepkísérleteinkből és polarizációs méréseinkből az a következtetés vonható le, hogy a nemfémes (szigetelő) felületek közül – függetlenül attól, hogy naposak vagy árnyékosak, barnák vagy színtelenek – a bögölyök számára az a legvonzóbb, amelynek a felületéről visszavert fény vízszintesen poláros és polarizációfoka a legnagyobb. Ennek alapján logikus azt feltételezni, hogy a sötét színű lovak vízszintesen polarizáló testfelületei a bögölyök számára sokkal vonzóbbak, mint a világos színű lovak ugyanazon testrészei. A 4., 6. és 7. ábrák szerint minél sötétebb a testfelület, annál nagyobb a róla visszavert fény polarizációfoka. A fekete, barna, illetve fehér testfelszín erősen, közepesen, illetve gyengén poláros vagy polarizálatlan fényt ver vissza. A nézőiránytól és a megvilágítási körülményektől függően a normál, álló testtartású lovak nyaka, háta és fara általában vízszintesen poláros fényt ver vissza, míg a test többi részéről ferdén vagy függőlegesen poláros fény verődik vissza (a 7. ábra polarizációirány-mintázatain kettősféjű nyilakkal jelölve). E polarizációs sajátságok általánosak és a bögölyök minden gazdaállatra egyaránt érvényesek. Azon fő eredményünket, hogy a polarotaktikus bögölyök kevésbé vonzódik a fehér lovakhoz (és más világos szőrű emlőshöz) és nagyon vonzódik a fekete lovakhoz (és más sötét szőrű emlőshöz), a 8. ábra szemlélteti.

Elemzés

Napsütésben a sötétebb lovak szőre jobban fölmelegszik, mint a világosabbaké, mert a sötétebb testfelület több fényt nyel el. Ez részben magyarázhatná, hogy a sötétebb lovak miért vonzanak több bögölyt, ha a bögölyök egyértelműen vonzódna a melegebb helyekhez. Habár a bögölyöknél a gazdaállat kiválasztásában a testhőmérséklet is szerepet játszik [19], a gazdaállat testfelületének hőmérsékletét csak akkor tudják érzékelni, ha már rászálltak, mert nagyobb távolságból a különböző színű gazdaállatok testfelszíni hőmérséklete a repülő bögölyök számára észlelhetetlen, mivel nincsen infravörös látásuk. Továbbá, az 1. és 2. kísérletünkben a különböző tesztfelületek hőmérséklete mindig azonos volt. Ezek alapján állíthatjuk, hogy a sötét szőrű lovak bögölyökre kifejtett nagyobb vonzóképesége nem magyarázható csupán a sötét és világos lovak testfelszíni hőmérsékletének esetleges különbségével.

Habár egy barna lónak lehetne a bögölyök számára vonzóbb szaga (például a sötétebb testfelszín magasabb hőmérséklete miatti erősebb izzadáستól), a választásos kísérleteinkben használt tesztfelületeknek egyforma volt a szaga. Ezért a különböző színű lovak szagának esetleges különbsége nem lehet a bögölyök preferenciájának fő oka. Mivel a vizsgált pej (barna) és szürke (fehér) lovak alakjában és mozgásában sem



8. ábra. A fehér és fekete lovak eltérő bögölyvonzó-képességével kapcsolatos eredményeink összefoglalása.

volt fölfedezhető semmilyen lényeges különbség, ez sem magyarázhatja, hogy a bögölyök miért vonzódik jobban a barna lovakhoz. Az 1. és 2. kísérletünk együttes eredményei kizárják annak lehetőségét is, hogy a barna szín önmagában jobban vonzaná a bögölyöket.

A fentiek alapján az egyetlen lehetséges magyarázat arra, hogy a barna lovak több bögölyt vonzanak a fehérekénél, az a testfelületükről visszavert fény polarizációja. Az 1. és 2. kísérletből kiderült, hogy a bögölyök jobban vonzódik az erősen és vízszintesen poláros fényt visszaverő fényes barna tesztfelülethez, mint a gyengén és nem mindig vízszintesen poláros fényt visszaverő matt barna vagy a depolarizáló matt fehér tesztfelületekhez. Ezért nem a szín és/vagy a fényesség a döntő, hanem a célpont (tesztfelület, gazdaállat) polarizációs mintázata.

Az evolúció során kifejlődött a bögölyök polarizációlátása és pozitív polarotaxisa, amely képesség a víz felszínéről visszavert fény vízszintes polarizációjának köszönhetően segíti őket a vízkeresésben. A víz közvetlen környezete ideális helye a bögölyök petézésének, a fajtársakkal való találkozásnak, valamint az inni és/vagy fürdeni rendszeresen a vízhez látogató gazdaállatok megtalálásának is. Logikus feltételezni, hogy a bögölyök polarotaxisa a gazdaállat kiválasztásában is szerepet játszik. Ha egy bögöly választhat egy sötét és egy világos megjelenésű, s minden egyéb tulajdonságában (nem, alak, méret, szag, hőmérséklet, mozgás, vér stb.) megegyező gazdaállat közül, akkor a sötétebbet választja, mert a sötétebb gazdaállatról visszavert fény polárosabb. Ezek alapján a következő feltételek tehetők:

1. Ha a nőstény bögölyök a gazdaállat kiválasztásában is szerepet játszó pozitív polarotaxissal rendelkeznek, akkor azon gazdaállatokat preferálják, ame-

lyek testfelülete erősebben és vízszintesen poláros fényt ver vissza.

2. Mivel a sötétebb felületek polárosabb fényt vernek vissza (Umow-szabály, [18]), a sötétebb szőrzetű gazdaállatok a polarotaktikus bögölyök számára vonzóbbak, mint a világosabb szőrűek.

3. Mivel a visszavert fény polarizációiránya akkor vízszintes, ha a visszaverődési sík függőleges, a gazdaállatok nyaka, háta és fara verhet vissza vízszintesen poláros fényt, így ezek azok a testtájak, amelyek vonzóak a polarotaktikus bögölyök számára.

A 4. kísérletünk eredményei szerint a vízszintesen poláros fényt visszaverő szintelen felületek közül a fényt jobban polarizálók több bögölyt vonzanak, mint a gyöngébben polarizálók. Ez megerősíti a 2. föltevést. A képkötő polarimetriás mérések (6., 7. *ábra*) megmutatták, hogy a sötétebb szőrű lovak és szarvasmarhák nagyobb polarizációfokú fényt vernek vissza, és ezen álló állatok nyaka, háta és fara vízszintesen poláros fényt verhet vissza. Habár a gazdaállatról visszavert fény polarizációiránya függ az állat testtartásától, a megvilágítási viszonyoktól és a szoláris meridiánhoz képesti nézőiránytól, a napfénnel megvilágított vízszintes állati testfelület mindig vízszintesen poláros fényt ver vissza, ha a szoláris vagy az antiszoláris meridián irányából nézzük. Mindezek alátámasztják a 3. föltevést. Az 1. föltevés pedig a következőkön alapszik: a vizsgált bögölyöknek pozitív polarotaxisa van [11]. Az 1. föltevés teljesüléséhez például az kell, hogy a 2. és 3. föltevések összhangban legyenek a megfigyeléseink és kísérleteink eredményeivel. A vadonban a bögölyök gazdaállatainak, a nagytestű növényevőknek, általában sötét (barna, szürke, fekete) a szőrzete. Álló helyzetben ezen állatok nyaka, háta és fara mindig mérsékeltén (barna, szürke) vagy erősen (fekete) és vízszintesen poláros fényt ver vissza. Így tehát a bögölyök a pozitív polarotaxisukkal e gazdaállatokat éppúgy meg tudják találni, mint a vízfelületeket. Mai tudásunk szerint nem létezik más magyarázata annak a jelenségnek, hogy a bögölyök miért vonzódik jobban a sötétebb színű gazdaállatokhoz, mint a világosakhoz.

Mivel a bögölyök számára a sötét szőrű állatok világos szőrűekkel szembeni előnyben részesítése semmilyen előnyt vagy hátrányt nem jelent a természetes környezetben, e preferencia a bögölyök pozitív polarotaxisának egy semleges következményeként tekinthető. Másrészt viszont a gazdaállatok szemszögéből nézve, a bögölyök szóban forgó sötétpreferenciája nem semleges: a sötét szőrű állatoknak hátrányos, a világos szőrűeknek pedig előnyös a kisebb fertőzésveszélynek és kevesebb zaklatásnak köszönhetően. Az ember által mesterségesen tenyésztett és tartott lovak esetében a legkevésbé bögölyvonzó fehér testfelszín előnye részben ellensúlyozhatja az ultraibolya-sugárzás okozta bőrakra való nagyobb érzékenységet. A vadon élő lovaknál mindazonáltal a sötétebb testfelület (a könnyebb rejtőzködés miatt) előnyösebb, mint a világos (amely a bögölyök számára kevésbé vonzó).

Kísérleti eredményeink határozottan alátámasztják azt, hogy a gazdaállatok testfelületének fehérsége egy bizonyos szempontból előnyös tulajdonság, mivel a fehér állatok a bögölyöket kevésbé vonzzák, mint a sötétek. Számos bögölyfaj pozitív polarotaxissal bír, azaz vonzódik az erősen és vízszintesen poláros fényhez [11, 20], csakúgy, mint a vízirovarok általában [18, 21–23]. A bögölyök pozitív polarotaxisának a következő biológiai szerepei lehetnek:

- Odavezeti a nőtény bögölyöket a megfelelő, vízközelbeli petézhelyhez, ahonnan a lárvák a vízbe vagy az iszapba kerülhetnek.

- A hím és nőtény bögölyöket egyaránt a vízhez vezeti, ahol ihatnak és a testüket hűthetik.

- A víz közelében a különböző nemű bögölyök könnyen egymásra találhatnak és párosodhatnak.

- A nőtény bögölyök a víz közelében jó eséllyel találhatnak vérszívásra alkalmas gazdaállatokat (főleg csapatokban élő növényevőket), mert azok rendszeresen látogatják a vizeket ivás és/vagy fürdőzés végett.

A fentiek alapján arra a következtetésre juthatunk, hogy a bögölyök polarotaxisának a gazdaállat kiválasztásában is fontos szerepe van. Habár a különböző színű gazdaállatok egyaránt megfelelőek a nőtény bögölyöknek a vérszíváshoz, a bögölyök mégis a sötétebb (barna, fekete) szőrű állatokat részesíti előnyben a világos (szürke, fehér) szőrűekkel szemben. Ez a jelenség jól magyarázható a gazdaállatok testfelületének fénypolarizáló-képességével és a bögölyök polarotaktikus viselkedésével. A korábbi föltevések szerint a bögölyök gazdaállat-kiválasztásában csak a mozgás, alak, szín, fényesség, szag és hőmérséklet játszik fontos szerepet [19, 24–26].

A 3. kísérletben a bögölyök a lómakettekéről (3., 6. *ábra*) visszavert vízszintesen poláros fény mennyiségének megfelelően vonzódtak azokhoz. Habár nagy távolságból nézve a vízszintesen poláros fényt visszaverő testrészek lehetnek a polarotaktikus bögölyök számára a legvonzóbbak, a bögölyök eloszlása a lómakettek teljes felületén véletlenszerű (egyenletes) volt. Ez azt mutatja, hogy a vízszintesen poláros fény mellett más vizuális jeleknek (a gazdaállat színének, fényességének és testformájának) is fontos szerepe van a gazdaállat megtalálásában és kiválasztásában. Habár csak a bögölyök és a lovak vizuális kölcsönhatását vizsgáltuk, a kapott eredmények más gazdaállatokra is érvényesek lehetnek, mivel a szóban forgó vonzás alapja, a pozitív polarotaxis, általánosnak tűnik a bögölyöknél [11], továbbá az azonos világosságú, színű és felületi érdekességű, de különböző fajú gazdaállatok polarizációs mintázatai gyakorlatilag egyformák.

A sötét színű, kényes lovakat tartó gazdának végezgetül azt tudjuk javasolni, hogy azon fekete vagy barna lovakat, melyeket nagyon zaklatják a vérszívó bögölyök, takarják le valahogyan egy vékony, matt fehér vászonnal, ami csak gyengén poláros vagy polarizálatlan fényt ver vissza, miáltal kevésbé vonzza a bögölyöket.

Kutatásainkat az Európai Unió (Eu-FP7, TabaNoid-232366: Trap for the novel control of horse-flies on open-air fields) és az OTKA (K-6846: Közvetlen és közvetett polarotaxis vizsgálata tegzeseknél és kétszárnyúaknál) is támogatja.

Irodalom

1. W. D. Hamilton, M. Zuk: Heritable true fitness and bright birds: a role for parasites? *Science* 218 (1982) 384–387.
2. D. H. Clayton: The influence of parasites on host sexual selection. *Parasitology Today* 7 (1991) 329–334.
3. T. Clutton-Brock: Sexual selection in males and females. *Science* 318 (2007) 1882–1885
4. M. J. Thornton, N. A. Hibberts, T. Street, B. R. Brinklow, A. S. I. Loudon, V. A. Randall: Androgen receptors are only present in mesenchyme-derived dermal papilla cells of red deer (*Cervus elaphus*) neck follicles when raised androgens induce a mane in the breeding season. *Journal of Endocrinology* 168 (2001) 401–408.
5. M. J. Wilson: Inhibition of development of both androgen-dependent and androgen-independent pigment cells in scrotal skin dermis of the rat by antiandrogen treatment during fetal growth. *Endocrinology* 112 (1983) 321–325.
6. C. A. Marler, M. C. Moore: Evolutionary costs of aggression revealed by testosterone manipulations in free-living male lizards. *Behavioural Ecology and Sociobiology* 23 (1988) 21–26.
7. M. Zuk, K. A. McKean: Sex differences in parasite infections: patterns and processes. *International Journal of Parasitology* 26 (1996) 1009–1024.
8. S. L. Moore, K. Wilson: Parasites as a viability cost of sexual selection in natural populations of mammals. *Science* 297 (2002) 2015–2018.
9. G. R. Pielberg, A. Golovko, E. Sundström, I. Curik, J. Lennartsson, M. H. Selténhammer, T. Druml, M. Binns, C. Fitzsimmons, G. Lindgren, K. Sandberg, R. Baumung, M. Vetterlein, S. Strömberg, M. Grabherr, C. Wade, K. Lindblad-Toh, F. Pontén, C.-H. Heldin, J. Sölkner, L. Andersson: A cis-acting regulatory mutation causes premature hair graying and susceptibility to melanoma in the horse. *Nature Genetics* 40 (2008) 1004–1009.
10. J. Tresidder: *The Complete Dictionary of Symbols*. Chronicle Books, San Francisco, California, USA, 2005, p. 544.
11. G. Horváth, J. Majer, L. Horváth, I. Szivák, G. Kriska: Ventral polarization vision in tabanids: horseflies and deerflies (Diptera: Tabanidae) are attracted to horizontally polarized light. *Naturwissenschaften* 95 (2008) 1093–1100.
12. L. D. Foil: Tabanids as vectors of disease agents. *Parasitology Today* 5 (1989) 88–96.
13. M. J. Lehane: *The Biology of Blood-Sucking in Insects*. 2nd edition, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2005.
14. G. Horváth, M. Blahó, G. Kriska, R. Hegedüs, B. Gerics, R. Farkas, S. Ákesson: An unexpected advantage of whiteness in horses: the most horsefly-proof horse has a depolarizing white coat. *Proceedings of the Royal Society of London B* 277 (2010) 1643–1650.
15. *Nature*: Research Highlights – Ecology: Why horses wear white vol. 463, no. 7283, p. 852, doi:10.1038/463852b, <http://www.nature.com/nature/journal/v463/n7283/>
16. *Science*: Bug repellent, <http://sciencenow.sciencemag.org/science-shots/>
17. *Discover Magazine*: White horses are less attractive to horseflies, <http://blogs.discovermagazine.com/notrocketscience/2010/02/03/white-horses-are-less-attractive-to-horseflies/>
18. G. Horváth, D. Varjú: *Polarized Light in Animal Vision – Polarization Patterns in Nature*. Springer-Verlag, Heidelberg – Berlin – New York, 2004, p. 447.
19. A. J. Thorsteinson: The orientation behavior of horseflies and deerflies (Tabanidae: Diptera). I. The attractance of heat to tabanids. *Entomologia experimentalis et applicata* 1 (1958) 191–196.
20. G. Kriska, B. Bernáth, R. Farkas, G. Horváth: Degrees of polarization of reflected light eliciting polarotaxis in dragonflies (Odonata), mayflies (Ephemeroptera) and tabanid flies (Tabanidae). *Journal of Insect Physiology* 55 (2009) 1167–1173.
21. R. Schwind: Polarization vision in water insects and insects living on a moist substrate. *Journal of Comparative Physiology A* 169 (1991) 531–540.
22. H. Wildermuth: Dragonflies recognize the water of rendezvous and oviposition sites by horizontally polarized light: a behavioural field test. *Naturwissenschaften* 85 (1998) 297–302.
23. Z. Csabai, P. Boda, B. Bernáth, G. Kriska, G. Horváth: A 'polarisation sun-dial' dictates the optimal time of day for dispersal by flying aquatic insects. *Freshwater Biology* 51 (2006) 1341–1350.
24. S. A. Allan, J. G. Stoffolano: The effects of hue and intensity on visual attraction of adult *Tabanus nigrovittatus* (Diptera: Tabanidae). *Journal of Medical Entomology* 23 (1986) 83–91.
25. M. J. R. Hall, R. Farkas, J. E. Chainey: Use of odour-baited sticky boards to trap tabanid flies and investigate repellents. *Medical and Veterinary Entomology* 12 (1998) 241–245.
26. S. Mihok: The development of a multipurpose trap (the Nzi) for tsetse and other biting flies. *Bulletin of Entomological Research* 92 (2002) 385–403.



NUKLEÁRIS ENERGIA: VELE VAGY NÉLKÜLE?

Bajsz József
MVM Paksi Atomerőmű Zrt.

A pénzügyi-gazdasági válság jelentősen mérsékelte az energiafelhasználást. Bekövetkezett az, amire a világháború óta nem volt példa Európában: 2009-ben a villamosenergia-fogyasztás is csökkent. Ebben a helyzetben azt hihetnénk, hogy az energiagazdálkodás gondjai mérséklődtek, a problémák, amelyekkel pár éve folyamatosan szembesültünk, talán nem is léteznek. Nem így van. A mostani válság még élesebben rávilágított arra, hogy energiagazdálkodásunk nem fenntartható, nem költséghatékony, s egyúttal megbízhatósága sérülékeny. A gazdaság fejlődésének ismételt beindulásával az könnyen a fejlődés gátjává válhat.

Általánosan elfogadott, hogy az energiagazdálkodás megfelelőségét a *fenntarthatóság* – *versenyképesség* – *ellátásbiztonság* hármas követelményével minősítik. Mit is jelentenek ezek a kritériumok?

Fenntarthatóság: az energiagazdálkodás ne jelent sen a környezetre nézve visszafordíthatatlan, kezelhetetlen károkozást. Más szavakkal: unokáink életfeltételei se legyenek rosszabbak a mieinknél. Ide tartozik továbbá, hogy az energiaforrások felhasználásánál – kiértékelésénél – is tartsuk be ugyanezt a követelményt.

Versenyképesség: az energia álljon rendelkezésre transzparens, megfizethető áron, amellyel biztosítható a gazdaság harmonikus fejlődése, a társadalom tagjainak boldogulása.

Ellátásbiztonság: az energiaellátás mind rövid, mind hosszú távon legyen kiszámítható és zavarmentes.

Minden energiatermelési mód, energiaforrás rendelkezik bizonyos hátrányokkal, egyik sem képes 100%-ban a fenti hármas követelménynek megfelelni.

A közvélemény – sok esetben a politikai döntéshozók is – figyelme hullámszerűen, hol az egyik, hol a másik követelmény teljesülésére, pontosabban nem teljesülésére irányul. Az orosz–ukrán gázmizéria után az ellátásbiztonság kérdései uralták a közbeszédet. Az áremelések okozta reakciókat felesleges itt részletezni. Amikor a klímaváltozás kerül szóba, akkor szinte mindenki a megújuló források használatát szorgalmazza anélkül, hogy a költségvonzatokkal, a megbízhatóság kérdéseivel számot vetne. A probléma sokkal összetettebb annál, semhogy komplex, mindenre kiterjedő értékelés nélkül tudjunk érdemi megoldásokat adni rá.

A komplex értékelést nehezíti, hogy az energia fogalmának megítélése és használata még Európában sem tekinthető egységesnek. Hazánkban a közvélemény az energia alatt többnyire a villamos energiát és legfeljebb a földgázt érti, vannak országok, ahol csak a villamos energiát. Jellemző, hogy a kormány 2008-

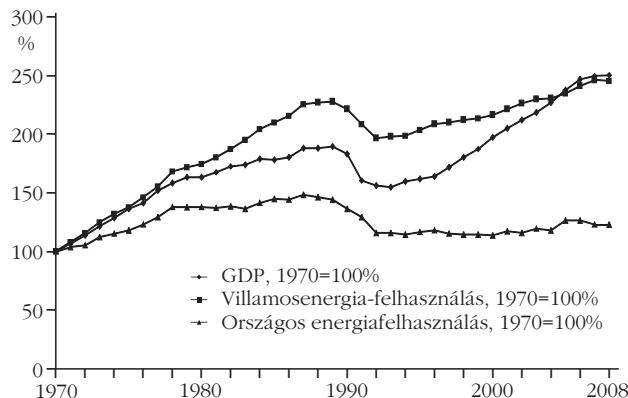
as energiapolitikai előterjesztésében [1] is csak egy vészegény bekezdésre futotta a közlekedés ügyében, miközben a közlekedés használja a teljes energiafogyasztásunk 15–18%-át, s ezen belül a folyékony szénhidrogén felhasználásának közel kétharmadát.

Mit tehetünk a harmonikus energiagazdálkodás érdekében? Hogyan tehetünk eleget a fenti hármas követelménynek?

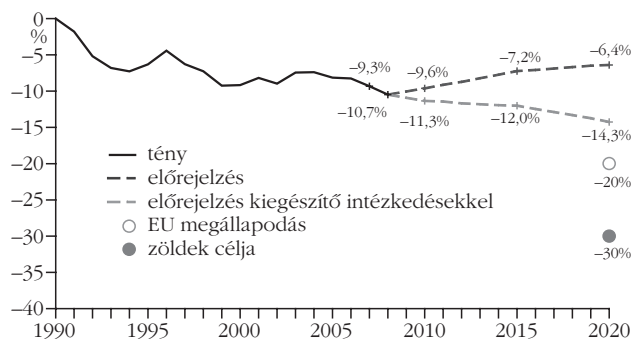
Az EU vezető testületei is felismerték, hogy csak a követelmények egyidejű teljesítésével lehet a problémát orvosolni. A 2008 novemberében publikált *Stratégiai Energia Áttekintés* már ezen szempontok alapján határozta meg a közép és hosszú távú teendőket. Az úgynevezett 20–20–20%-os célok közül kettőt hamarosan az EU jogszabályai szintjére emeltek: 2020-ra a CO₂-kibocsátást 20%-kal kell csökkenteni [2], a megújuló forrásokból származó energia termelését 20%-ra kell növelni [3]. Nem öntötték kötelező érvényű jogszabályba, de politikai egyetértés van az energiahatékonyság növelését illetően: 2020-ra 20%-kal kell csökkenteni az EU energiafogyasztását a 2005-ben előrejelzetthez képest.

Magyarország a célok lebontásakor a megújuló arányának növelésére 13%-ot vállalt, ami 21%-ot jelent a villamosenergia-termelésben. Az Európai Bizottságnak 2009 végén benyújtott Nemzeti Előrejelzési Dokumentum [4] szerint ez lehetséges, bár a szakmai előrejelzések ebben kételkednek a jelzett 380 milliárd forintos támogatás ellenére is. A CO₂-kibocsátás 20%-os csökkenése teljesíthetőnek tűnik a mai folyamatokkal. Azonban megfelelő intézkedések meghozatala nélkül 2020 után a kibocsátás újra növekedésnek indul. Az energiahatékonyság dolgában nem állunk rosszul. Mint az 1. ábrából látható 1993-tól kezdve az ország teljes energiafelhasználása gyakorlatilag szinten maradt, miközben a GDP 70%-kal nőtt. Minden bizonnyal a 2020-as célkitűzés teljesítése nem fog nagy gondot okozni, tekintettel a gazdasági visszaesés okozta energiafelhasználás csökkenésére.

1. ábra. Magyarország energiafelhasználása [5]



A 2010. február 28-i hetedik Budapesti Szkeptikus Konferencián elhangzott előadás szerkesztett változata.



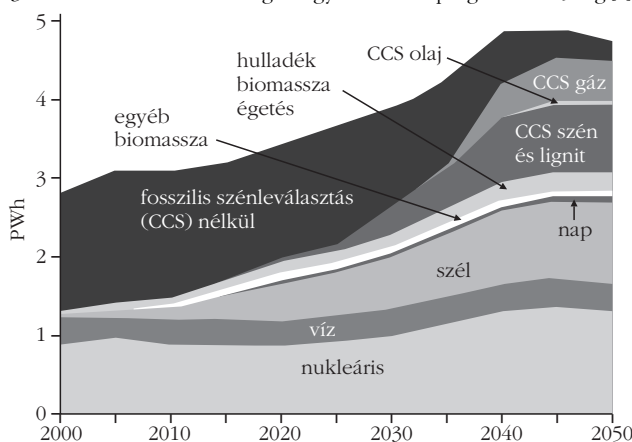
2. ábra. Az EU CO₂-kibocsátásának alakulása az EU Környezetvédelmi Ügynöksége szerint [7]

A célok EU-szintű teljesítése valamivel problémásabbnak látszik. Diadalittas jelentések láttak a közel-múltban napvilágot, miszerint 2009-ben 11%-kal csökkent az EU CO₂-kibocsátása. (Valójában az Emisszió Kereskedelmi Rendszer alá tartozó ipari létesítmények kibocsátása csökkent. [6]) Ha ezt komplexen, a körülményeket figyelembe véve próbáljuk értékelni, nem feledkezhetünk el arról, hogy a 11%-os csökkenés az ipari termelés jelentős – egyes országokban 20–21%-os – mérséklésével párosult. Az sem zárható ki, hogy a fajlagos változás valójában növekedés.

A 2. ábrából látható, hogy a CO₂-kibocsátás 20%-os csökkentése dolgában nem állunk valami jól. Ha az országok megteszik a szükséges kiegészítő intézkedéseket, amelyek ma még nincsenek napirenden, 2020-ban akkor is közel 6%-os elmaradásban leszünk a céltól. A helyzet és a körülmények kritikai elemzése várat magára, de egyes politikusok – különösen az Európa Parlament zöld frakciójának tagjai – azt szorgalmazzák, hogy a 20%-os célkitűzést 30%-ra kell növelni.

A 20–20–20%-os követelmények megfogalmazását követően 2009 júliusában az EU és a G8 vezetői egy nyilatkozatban célul tűzték ki a CO₂-kibocsátás 80%-os csökkentését 2050-re. A szakértők számításai szerint ez szükséges ahhoz, hogy a globális felmelegedés mértékét +2 °C-nál megállítsuk, majd a tendenciát visszafordítsuk. A 80%-os kibocsátáscsökkenéshez az energia-termelésnek gyakorlatilag CO₂-kibocsátás mentesnek kell lennie. A célkitűzés megvalósíthatóságának vizsgá-

3. ábra. Az EU villamosenergia-fogyasztásának prognóza 2050-ig [8]



1. táblázat					
EU27 villamosenergia-termelése TWh-ban kifejezve					
	2000	2006	2007	2010	2020
nukleáris	895,8	939,2	884,6	917,0	861,5
fosszilis	1527,3	1714,4	1779,1	1745,4	2019,8
víz	379,9	338,3	335,4	374,2	400,7
megújuló (víz nélkül)	66,9	164,5	197,6	258,2	528,1
egyéb	16,9	37,8	19,2	28,6	34,2
összesen	2878,0	3194,3	3213,1	3325,8	3821,0

2. táblázat					
Az összes megújuló energiaforrás részarányának alakulása					
	2000	2006	2007	2010	2020
összes megújuló (%)	15,52	15,74	16,58	19,01	24,31

3. táblázat					
A CO ₂ -mentes termelés (összes megújuló + nukleáris) részarányának alakulása					
	2000	2006	2007	2010	2020
CO ₂ -mentes (%)	46,65	45,14	44,12	46,59	46,85

latára számos tanulmány készült. Köztük az Eurelectric,¹ amelyikből a 3. ábra származik. Az ábrából látható, hogy ehhez 2050-ben 27% nukleáris, 38% megújuló, 30% szénlevéltással² ellátott fosszilis (szén + földgáz) forrású energiatermelés szükséges.

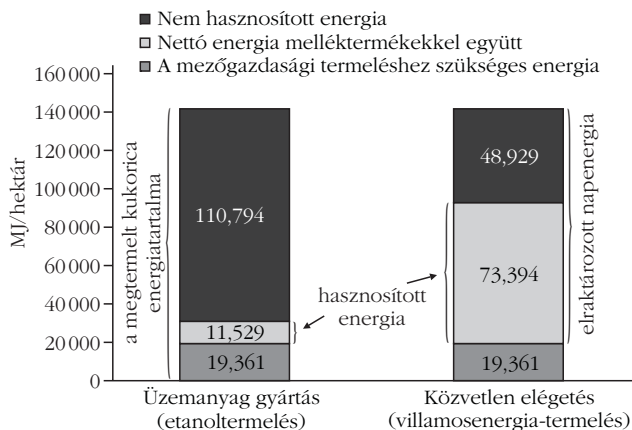
2009 végén jelent meg az Eurelectric EUPROG jelentése [9] a villamosenergia-termelésről.³ E tanulmány adatai – lásd az 1. táblázatot – néhány fontos dolgot tükröznek: jelentősen, 2000 és 2007 között több mint háromszorosára nőtt a megújuló forrásokból (vízi energia nélkül) származó termelés. Jelentősen csökkent (11,8%) a vízerőművek termelése, kisebb mértékben (1,3%) az atomerőművéké. Viszont ez idő alatt 11,5%-kal bővült a fosszilis forrásból nyert villamos energia a teljes villamosenergia-fogyasztás 15,8%-os növekedése mellett.

Ha a táblázat adatait érthetőbb kategóriába rendezzük, akkor a következő tendenciát láthatjuk (2. és 3. táblázat). Látható, hogy a megújulók arányának növekedése mindössze 1%-os. Ennél súlyosabb gond, hogy mindennemű erőfeszítés ellenére 2000 és 2007

¹ Eurelectric a villamosenergia-ipari társaságok ágazati egyesülése, amely a tagtársaságok közös érdekeit képviseli összeurópai szinten.

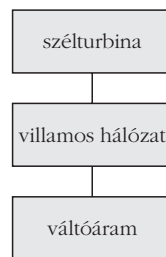
² Szénlevéltás, CCS (Carbon Capture & Storage) egy olyan technológia, amellyel a szén- és gáztüzelésű erőművek kibocsátásából a szén-dioxidot leválasztják és azt megfelelő helyen – többnyire geológiai formációkban – véglegesen eltárolják. Az első ipari méretű pilot projektek megvalósítása most van folyamatban.

³ Az adatok a villamosenergia-termelőktől származnak, a jelentés 2007-ig a tényadatokat, az azt követő évekre a cégek előrejelzéseit tartalmazza.



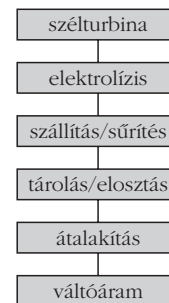
4. ábra. Az etanolgyártás energetikai hozama [10]

villamos gazdaság



hatékonyság = 95%

hidrogéngazdaság



hatékonyság = 25–30%

5. ábra. A villamos és hidrogéngazdaság hatásfoka [11]

között a CO₂-kibocsátás mentes termelés részaránya 2,5%-kal csökkent! Ez nem a fenntartható fejlődés irányába mutat. Hiába nőtt a megújuló forrásokból származó villamosenergia-termelés, a fosszilis forrásoké nem csökkent! Lehetünk büszkéek a megújuló arányának bővülésére – emlékeztetnék, hogy az „igazi” zöldnek a vízen energiát sem sorolnák ide –, de be kell látnunk, hogy ezen arány növelésének önmagában való erőltetése kontraproduktív: a szeszélyesen rendelkezésre álló szélenergia termelése a vízen energia termelését veti vissza. Ugyanis a rendszer szabályozásában mindenekelőtt a vízerőművek vesznek részt. Ez tükröződik abban, hogy a vízerőművek termelése csökkent, mérsékelve ezzel a megújulókból származó energiatermelés bővülésének ütemét. Az 1. táblázat adatsora azt mutatja, hogy az EU-ban az utóbbi években csökkent a nukleáris erőművek termelése. Ez független a megújuló részarányának bővülésétől, de egyben demonstrálja, hogy ábránd az atomerőművek nélkül érdemi CO₂-kibocsátás csökkenést elérni.

Az EU szintjén gondot jelent az egységes energia-politika hiánya. Ennek megteremtése ma nem reális. Az azonban elvárható lenne, hogy a döntéshozók a célok és eszközök tekintetében világosan lássanak, azokat ne keverjék össze egymással. Ha célnak tekintjük a CO₂-kibocsátás csökkentését, akkor eme cél elérésének egyik – de nem egyedüli – eszköze a megújuló bővülő használata. Semmiképp sem szabadott volna azonban azt célként megfogalmazni és törvénybe iktatni. Voltaképp a gazdaság szereplőire kellene bízni, hogy a költség-haszon elv alapján milyen eszközökkel érik el az előírt kibocsátáscsökkentést.

A legcélszerűbb megoldás az energiahatékonyság javítása (épületek szigetelése, energiatakarékos eszközök, gépjárművek elterjesztése stb.). Ebben széleskörű egyetértés van. Azonban az energiahatékonyság értelmezése nem egyszerű feladat. Sok esetben kiszakítottan, az energiatermelés – átalakítás – fogyasztási lánc egyik elemére koncentrálnak vizsgálják a kérdést. Következzen két példa a tetszetős, de félrevezető interpretációkra.

Ha a megtermelt kukoricát erőműben elégetjük és a keletkezett hővel villamos energiát termelünk, akkor energiatartalmának 60%-át hasznosíthatjuk. Ha

ugyanabból a kukoricából etanolt gyártunk, akkor az energiatartalom 9,4%-át hasznosítjuk (4. ábra). Sarkítva úgy jellemezhetjük a mai helyzetet, hogy milliárdokért építünk etanolvermelő üzemeket, amelyekkel az energiát pazaroljuk. A vállalkozók számára ez nyilván üzlet – mert különben nem vágnának bele –, de energiagazdálkodás szempontjából a „király meztelen”.

A másik, ma divatos téma a hidrogéngazdaság igénye. Újra és újra felmerül a javaslat, hogy a megtermelt villamosenergiával hidrogént termeljünk, majd azt tetszőleges helyen és időben (szállítás és tárolás után) üzemanyagcellákban villamos energiává alakíthatjuk vissza. Az 5. ábra azt mutatja, hogy mekkora e folyamat hatásfoka.

Az ábrából látható,⁴ hogy az energiahatékonyság és a CO₂-kibocsátás csökkentésének szempontjait is figyelembe véve, az üzemanyagcellás meghajtás nem jelent megoldást. A közgondolkodásban az ezzel ellentétes ítéletek elterjedésének az az alapja, hogy önmagában az üzemanyagcella – villamos motoros hajtás hatásfoka 2–2,5-szerese a modern belső égésű motoros hajtásokénak. Azonban mind az üzemanyag-termelési, mind a meghajtási mód hatékonysága meghatározó a CO₂-kibocsátásban és az energiafogyasztásban. A mai modern elektrolizáló berendezések hatásfoka 50% körüli [12]. Vegyük hozzá a keletkező hidrogén 40–60 bar nyomásra sűrítését, ami további 10%-nyi energiaigényt jelent. Így a folyamat bemenő oldala csak 40%-os hatékonysággal rendelkezik. A visszaalakítás sem 100%-os, így a teljes villamos energia – hidrogén – villamos energia folyamat hatásfoka 30% körüli. Ez a szivattyús-tárolós erőmű 75–80%-ával szemben versenyképtelen.

Az energiahatékonyság értelmezéséhez következzen itt egy másik, ellenkező előjelű körülmény. Sokan, köztük a zöld szervezetek többsége, az energiafogyasztás és villamosenergia-fogyasztás közé egyenlőségjelet tesz. Az Energia Klub tanulmányában [13] szerepel, hogy az EU-s energiatakarékosági döntés miatt 2020-tól nem lesz szükség a paksi atomerőműre. Valójában a helyzet fordított: az energiahatékonyság növelésének egyik fő eszköze a villamosenergia-fel-

⁴ Szélturbina helyett természetesen bármilyen más CO₂-mentes energiatermelési mód – nukleáris, vízen energia – alkalmazható.

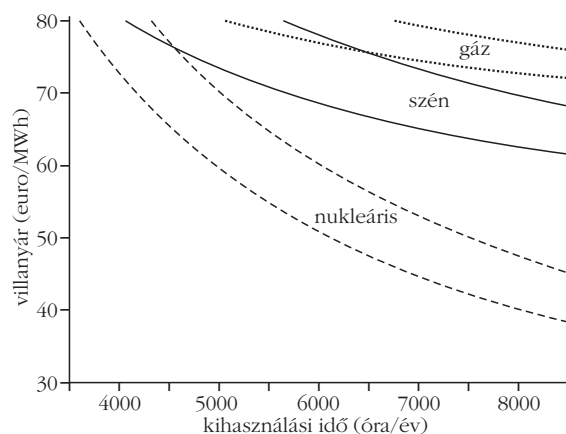
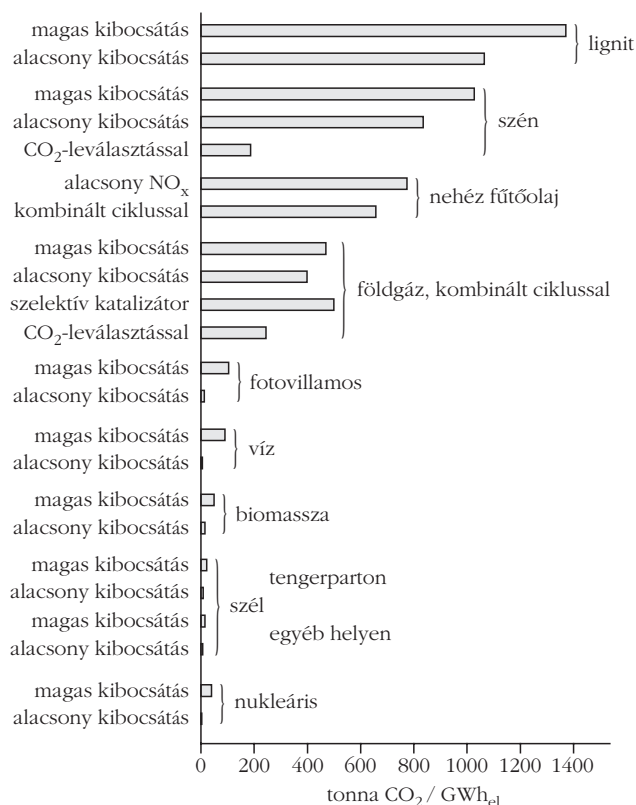
4. táblázat Villamosenergia-termelési módok költségösszetevői (%)				
	nukleáris	kombinált ciklusú földgáz	szén	szél
beruházás	50–60	15–20	40–50	80–85
üzemeltetés és karbantartás	30–35	5–10	15–20	10–15
üzemanyag	15–20	70–80	35–40	0

használás bővítése. A fejlett országok mindegyikében magasabb a teljes energiafelhasználáson belül a villamosenergia-fogyasztás aránya, mint Magyarorszáé, s eközben a fajlagos energiafelhasználási mutatóik is jobbakké a miénkénél.

Hatékony hőszivattyús rendszerekkel a környezetből nyert hővel oldható meg az épületek fűtése/hűtése. A mai rendszerek egységnyi villamosenergia-befektetéssel 4–5 egységnyi hőenergia előállítására képesek. Fontos lépés lenne a közúti közlekedés „villamosítása”. A feltölthető hibrid, majd a tisztán villamos hajtású gépjárművek és a szükséges infrastruktúra fejlesztése ígéretesen halad. A „villamosítás” nagyobb hatásfokot jelent a hajtásoknál és alacsony CO₂-kibocsátást, amennyiben a villamos energetika CO₂-mentesítése az elképzeléseknek megfelelően halad előre.

Az energiahatékonyság javítása mellett a hármas követelmény egyidejű teljesítésére a másik célszerű megoldás az atomenergetika bővülő használata.

7. ábra. Villamosenergia-termelési módok fajlagos CO₂-kibocsátása tCO₂/GWh-ban [15]



6. ábra. A különböző erőművekben előállított villamos energia önköltsége [14]

A nukleáris energetika előnyei az ellátásbiztonság terén abban jelentkeznek, hogy az uránlelőhelyek geopolitikai értelemben szélesen elosztottak, szemben az olajéval, ahol a néhány régióra koncentrált források „jóvoltából” nem egy esetben történt kísérlet politikai vagy gazdasági zsarolásra. Hasonlóképp diverzifikált az üzemanyaggyártás valamennyi fázisa, emiatt monopol helyzet nem alakulhat ki.

A nukleáris üzemanyag egyszerűen tárolható. Magas energiatartalmának köszönhetően az erőművekben néhány évnnyi mennyiség folyamatosan raktározható. Pakson két évnnyi üzemanyagot tárolnak. Egy ilyen időtartam alatt bármilyen, a nukleáris üzemanyag gyártásában, vagy szállításában bekövetkező zavar felszámolható.

A nukleáris energetika versenyképességét az alacsony önköltség mellett az is jelenti, hogy az előállított energia költsége csak nagyon kis mértékben függ az üzemanyag árának változásától. Az atomerőművekben előállított energia költségében az üzemanyag-összetevő 15–20%-ot képvisel szemben a gáz- és széntüzelésű blokkok 40–70%-ával (4. táblázat).

A 6. ábrán az egyes erőműtípusokra vonatkozó önköltségi görbék láthatók. 4500 óra/év kihasználás felett az atomerőműves önköltség mindig kisebb a szén és a gáztüzelésű blokkokénál. Emlékeztetnék, hogy a világban ma üzemelő nukleáris blokkok 25%-a – beleértve a paksi egységeket is – 90%-os kihasználtsággal üzemel, ami 7800 óra/év kihasználást jelent. Az ábra görbéinek számításakor nem vették figyelembe a CO₂-kibocsátás árát, ami előbb-utóbb kényszer lesz, ugyanis az EU-ban 2013-tól a teljes kibocsátásra vonatkozó jogokat árverés formájában kell megvásárolni. (Magyarország a többi, később csatlakozott EU10 tagállammal együtt 2020-ig haladékot kapott.)

Működésük során az atomerőművek nem bocsátanak ki CO₂-ot. Ha a folyamat egész életciklusát tekintjük, a fajlagos kibocsátásuk a megújuló források szintjén vannak (7. ábra). Ha valaki azzal indokolja a szélturbinák és a fotovillamos rendszerek létesítésének szükségességét, hogy azzal a nukleáris erőművek kiválthatók, a fentiek tükrében annak véleménye nem lehet helytálló.

Jogosan vetődik fel a kérdés, hogy ha az atomerőművek ilyen előnyökkel rendelkeznek a hármas követelmény kielégítése terén, akkor miért nem épül ezer reaktor szerte a világon?

Sok erőmű épül, és még több országban fontolgatják a létesítést. A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség kiadványa [16] szerint jelenleg 54 blokk van létesítés alatt. Ennek duplájára tehető azon egységek száma, amelyek építését fontolgatják, köztük olyan országok is, amelyek még nem rendelkeznek nukleáris létesítménnyel.

Az atomerőművek fejlesztői és gyártói az utóbbi években a fajlagos költségek javítása érdekében az egység teljesítménynövelésére törekedtek. Az 1000–1500 MW-os teljesítményű blokkok illesztése az energiarendszerekbe kiegészítő intézkedéseket igényel a hálózat statikus és dinamikus stabilitása megőrzése érdekében. Ennél is komolyabb gond, hogy a jó fajlagos mutatók mellett a nagy egységteljesítmény a létesítés 5–6 éve alatt hatalmas tőke lekötését igényli. Ma egy 1000 MW-os blokk 3–4 milliárd euróba kerül. A finanszírozás megteremtése nem egyszerű feladat, de nem is lehetetlen. A nemzetközi pénzpiacon található olyan befektetők, amelyek a hosszú távú, biztos hozamban érdekeltek. Amennyiben a létesítés során jelentkező kockázatokat – tervproblémák, késések stb. – megfelelően kezelik, a finanszírozás a későbbi versenyképességet veszélyeztető extra felárak nélkül biztosítható.

Befejezésül mit javasolhat a gondolkodó? Korunk kihívásaira csak akkor adhatók korrekt válaszok, ha azok a problémák komplex értékelésén, a politikai divatoktól és partikuláris érdekektől mentes gondolkodáson alapulnak. Az árakat rövidebb-hosszabb időre – adókkal, támogatásokkal – el lehet téríteni a reaktásoktól, a fizika törvényei – szerencsénkre – akkor is működnek, ha éppen nem tetszenek nekünk.

Irodalom

1. 40/2009 (IV.17.) OGY határozat
2. 2009/29/EK
3. 2009/28/EK
4. *Előjelzési Dokumentum*. KHEM, 2009. december
5. *Tájékoztató a Magyar Energia Hivatal 2008. évi tevékenységéről*. www.eh.gov.hu
6. *EurActiv*, 2010.04.02. www.euractiv.com
7. *Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2009*. EEA Report, No 9/2009
8. *Power Choices. Pathways to Carbon-Neutral Electricity in Europe*. www.eurelectric.org
9. *Statistics and Prospects for the European Electricity Sector*. 37th Edition EURPROG 2009, A Eurelectric statistics report, www.eurelectric.org
10. Rácz László (MOL Nyrt.): *Megújuló energiaforrások a közlekedésben*. www.enpol2000.hu
11. *The Role of Electricity*. A Euroelectric Report, March 2007, www.eurelectric.org
12. *Prospects for Hydrogen and Fuel Cells*. OECD/IEA, 2005.
13. *Magyarországnak nincs szüksége a paksi atomerőműre*. Energia Klub, 2007.
14. Gerse Károly (MVM Zrt.): *Atomerőmű építés finanszírozása*.
15. *Mitigation of Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.
16. *Nuclear Power Reactors in the World*. IAEA, April 2010.

IMPULZUSOK NÉLKÜL MŰKÖDŐ, FOLYAMATOS ÜZEMŰ REPÜLÉSI IDŐ TÖMEGSPEKTROMÉTER

Hárs György
BME Atomfizika Tanszék

A repülési idő tömegspektrometria (Time of Flight spectrometry) a továbbiakban röviden TOF-spektrometria, a tömegspektrométeres módszerek azon fajtája, amikor az ionok tömegére vonatkozó információt valamely meghatározott úthossz befutásának idejéből nyerjük. A többi tömegspektrométeres módszer esetében elektromos vagy mágneses erőtereket alkalmazunk és ez által a különböző tömegű ionfajtákat más és más pályagörbére (trajektóriára) irányítjuk. A TOF-spektrométer esetében azonban minden ionfajta lényegében ugyanazt a trajektóriát futja be, csupán a befutás ideje eltérő. A különböző ionfajtákból álló ionnyalábot egy néhány kilovoltos gyorsító feszültséggel felgyorsítjuk. Így a nyalábban levő összes egyszeres töltésű ionnak elvben azonos kinetikus energiája lesz. A nyalábot vákuumtérben egy erőmentes térrészbe vezetjük, ahol a nyaláb befutja a néhány méter hosszúságú futási távot. Mivel azonos kinetikus energia esetében a könnyebb ion a gyorsabb, így a futási idő a könnyebb ionoknál rövidebb, nehezebb-

nél hosszabb lesz. A futási idő meghatározása a hagyományos impulzus üzemű TOF-spektrométernél (Pulsed TOF = PTOF) az érkezési időpont és az indítási időpont különbségeként adódik. Az ionok indítására egy határozott, startpisztolylövésre emlékeztető indító impulzus (ideálisan Dirac-delta) szükséges. Az ionok detektorba érkezésének sorrendje az ion tömegének monoton függvénye lesz, vagyis előbb a könnyebb, később pedig a nehezebb ionok érkeznek meg a detektorba. A repülés idejéből a paraméterek ismeretében az ion tömegszáma ($AMU = Da = Dalton$) meghatározható.

Az indító impulzus időtartama rövid kell legyen, mert ha két szomszédos tömegszámú ion repülési idejének különbsége eléri az indító impulzus időtartamát, akkor a két ion ilyen módon már nem különböztethető meg. Ezért az indító impulzus szélessége 10 nanoszekundum nagyságrendű. A maximális futási idő mintegy 100 mikroszekundum időtartamú, ugyanis meg kell várni amíg a legnehezebb ion is beérkezik

a detektorba. Ebből a két időadattól adódik a PTOF módszer egyik nehézsége, nevezetesen, hogy a gerjesztés kitöltési tényezője 10^{-4} nagyságrendű, amelynek következtében a mérés jel-zaj viszonya nem túl jó, ez végső soron az érzékenységet korlátozza. Az egy adott indító impulzusból származó azonos tömegű ionok a sodródási térben egymáshoz közel egy csomóban (bunch) helyezkednek el, emiatt a közöttük fellépő Coulomb-taszítás a jel csökkenését és a felbontás romlását okozza. További nehézség a nagy sebességű detektálás megvalósítása. Ilyen gyors impulzusok széles frekvenciasávban történő erősítésére a szekunderelektron-sokszorozó elvén működő eszközök alkalmasak. Ezek az eszközök (multiplier) azonban azzal a hátrányos tulajdonsággal rendelkeznek, hogy a könnyebb ionokat nagyobb erősítéssel sokszorozzák, mint a nehezebbeket. A felsorolt nehézségeket alapvetően megoldja a folyamatos működésű TOF (Continuous TOF = CTOF) spektrométer koncepciója, megvalósítása azonban másfajta problémákat vet fel, amelyeket a továbbiakban tárgyalunk.

Alapvető összefüggések

Egy U feszültséggel felgyorsított ion kinetikus energiája:

$$\frac{1}{2} m v^2 = q U, \quad (1)$$

ahol m és q az ion tömege és töltése, v a sebessége. Innen a sebességet könnyen kifejezhetjük:

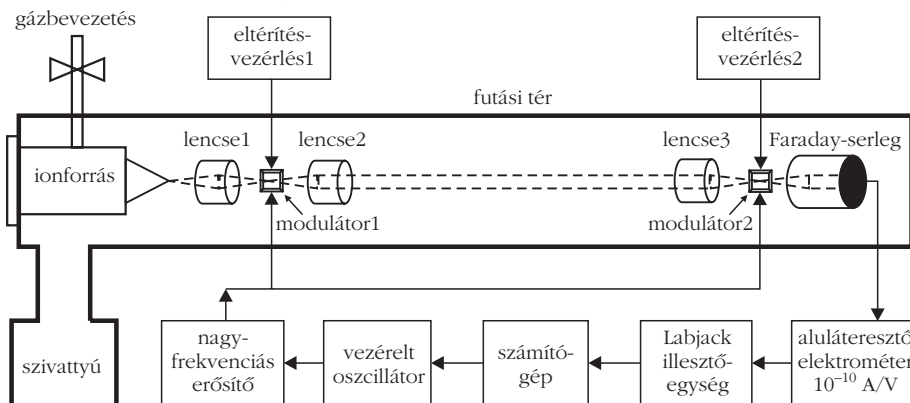
$$v = \sqrt{\frac{2 q U}{m}}. \quad (2)$$

A repülés ideje τ , a sodródási tér hossza pedig L :

$$\tau = \frac{L}{v} = L \sqrt{\frac{m}{2 q U}}. \quad (3)$$

Bevezetjük az atomi tömeg egységet (AMU) M :

1. ábra. Az elkészült berendezés a következő részekből áll: vákuumkamra a szivattyúval, ionforrás x,y eltérítőkkal, három darab elektrosztatikus lencse, Faraday serlegdetektor, kettő darab eltérítésvézelő, nagyfrekvenciás meghajtó erősítő, vezérelt oszcillátor (Tabor WW 2571), sáváteresztő elektrométer, Labjack panel, számítógép.



$$M = \frac{m}{m_0}, \quad (4)$$

ahol $m_0 = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg. A (3) képlet így alakul:

$$\tau = \frac{L}{v} = L \sqrt{\frac{m_0}{2 q U}} \sqrt{M}. \quad (5)$$

Vezessük be a proton repülési idejének jelölésére a A paramétert.

$$A = L \sqrt{\frac{m_0}{2 q U}}, \quad (6)$$

vagyis:

$$\tau = A \sqrt{M}. \quad (7)$$

Fontos tudni két szomszédos tömeg futási idejének különbségét. Differenciáljuk a fenti függvényt.

$$\frac{d\tau}{dM} = \frac{A}{2} \frac{1}{\sqrt{M}}. \quad (8)$$

Mivel az atomszámértékek egészek, így a határátmenet csupán $dM = 1$ értékig hajtható végre, vagyis a δ repülési idő-különbség a két szomszédos tömegcsúcs között a következő lesz:

$$\delta = \frac{A}{2} \frac{1}{\sqrt{M}}. \quad (9)$$

Az új CTOF mérési módszer vázlatos elmélete

A mérés megvalósításához az ionnyalábot intenzitásában modulálni kell. Ezt úgy érjük el, hogy a nyaláb elé egy apertúrát helyezünk és a nyalábot egy eltérítő elektródapár segítségével oldalirányban kissé eltérítjük. Ekkor az eltérítés mértékének változtatásával az apertúrán áthaladó ionok mennyisége változtatható.

Nagyobb eltérítés esetén több ion akad fenn az apertúrában, így az átmenő áram csökken. A moduláció frekvenciáját az eltérítő elektródára adott feszültség frekvenciája adja. Az eltérítő elektródoknak a nyaláb irányával párhuzamos kiterjedése kicsi kell, hogy legyen (néhány tízed milliméter), mert ha az eltérítő elektródán való áthaladás ideje egyenlővé válik a meghajtó jel periódusidejével, akkor nem fog eltérülni az ion, ugyanis a két ellentétes irányba azonos mértékű erőlkést kap.

A mérés elve a következő (1. ábra): az ionnyalábot két helyen vetjük alá intenzitásmodulációnak. Elsőként a futási tér elején, másodszor pedig a futási tér végén, a detektor előtt. Mind a két modulátor azonos frekvenciájú vezérlést kap. A moduláció frekvenciája az idő függvényében lineárisan növekszik, például 1 MHz-ről 50 MHz-re 49 másodperc alatt, így a frekvenciaváltozás sebessége 1 MHz/s. Most tételezzük fel, hogy csak egy ionfajta vesz részt a nyalábban egyszeres töltéssel, és ennek a futási ideje 10^{-4} s. Amikor az ionnyaláb áthalad az 1. modulátoron, kap egy bizonyos modulációs frekvenciát. A nyaláb így modulált része 10^{-4} s múlva érkezik a 2. modulátorhoz, ahol most már az eltelt idő miatt egy magasabb frekvenciás modulációt szenved el. A két moduláció eredményeképpen a különbségi frekvencia megjelenik a jelben, amely az említett numerikus példa esetében $1 \text{ MHz/s} \times 10^{-4} \text{ s}$, azaz 100 Hz. Természetesen a heterodin jelben az összegfrekvencia is megjelenik, de azt az elektrométer kiszűri. Egy adott futási időhöz tehát egy különbségi (heterodin) frekvencia tartozik. Ha több ionfajta van a nyalábban, akkor a jel több különböző frekvenciájú heterodin jel összege lesz. Ezt az összegjelet gyors Fourier-transzformáció (FFT) segítségével összetevőire bontjuk, és így a futási idő spektrumot nyerjük.

A továbbiakban matematikailag vezessük végig az imént leírt mérési eljárást.

Az I intenzitású ionnyaláb áthalad az 1. modulátoron, amelynek körfrekvenciája ω_1 . Az 1. modulátort elhagyó nyaláb intenzitása I_1 .

$$I_1 = \frac{1}{2} I [1 + \cos(\omega_1 t)]. \quad (10)$$

A modulált nyaláb ezután befutja a futási teret és megérkezik a 2. modulátorba, ahol újfent modulálásra kerül. Itt a moduláló körfrekvencia azonban már ω_2 .

$$I_2 = \frac{1}{2} I_1 [1 + \cos(\omega_2 t)]. \quad (11)$$

Az ω_2 magasabb frekvencia, mivel a futási idő közben a moduláló frekvencia megnövekedett:

$$\omega_2 = \omega_1 + \beta \tau. \quad (12)$$

Ahol $\beta = d\omega/dt$, a körfrekvencia változási sebessége, τ pedig a futási idő, amelyek a fenti numerikus példában rendre $2\pi \text{ 1 MHz/s}$ és 10^{-4} s voltak.

A (11) formulát a (10)-be helyettesítve, majd a szorzást elvégezve (13) és (14) formulákat nyerjük.

$$I_2 = \frac{1}{4} I [1 + \cos(\omega_1 t)] [1 + \cos(\omega_2 t)], \quad (13)$$

$$I_2 = \frac{1}{4} I [1 + \cos(\omega_1 t) + \cos(\omega_2 t) + \cos(\omega_1 t) \cos(\omega_2 t)]. \quad (14)$$

Ekkor alkalmazzuk a koszinuszok szorzatára vonatkozó trigonometriai összefüggést:

$$\cos\alpha \cos\beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)], \quad (15)$$

$$I_2 = \frac{1}{4} I \left\{ 1 + \cos(\omega_1 t) + \cos(\omega_2 t) + \frac{1}{2} \cos[(\omega_1 + \omega_2) t] + \frac{1}{2} \cos[(\omega_1 - \omega_2) t] \right\}. \quad (16)$$

Az ω_1 és ω_2 körfrekvenciákhoz tartozó frekvenciák néhányszor 10 MHz tartományba esnek. Ezért a (16) formula zárójelében levő második, harmadik és negyedik tagok az aluláteresztő elektrométerrel történő detektálás következtében kiszűrődnek a jelből.

$$I_2 = \frac{1}{4} I \left\{ 1 + \frac{1}{2} \cos[(\omega_1 - \omega_2) t] \right\}. \quad (17)$$

Figyelembe véve a (12) összefüggést a következő alakhoz jutunk.

$$I_2 = \frac{1}{4} I \left[1 + \frac{1}{2} \cos(\beta \tau t) \right]. \quad (18)$$

A heterodin körfrekvenciára bevezetjük az Ω jelölést.

$$\Omega = \beta \tau, \quad (19)$$

ennek felhasználásával a kétszeresen modulált és aluláteresztő módon detektált jel időfüggvénye a következő:

$$I_2 = \frac{1}{4} I \left[1 + \frac{1}{2} \cos(\Omega t) \right] = \frac{I}{4} + \frac{I}{8} \cos(\Omega t). \quad (20)$$

Ez a jel – láthatóan – egy adott heterodin frekvenciát tartalmaz, amely frekvencia a (19) összefüggéssel kapcsolódik a futási időhöz.

Általános érvényű műszerfejlesztési megfontolások

A mérésnél alkalmazott maximális frekvencia periódusideje az „időkvantum”, amely meghatározza a tömegfelbontást:

$$\frac{1}{f_{\max}} = \tau_0. \quad (21)$$

Elosztva a repülés (7) idejét az időkvantummal megkapjuk, hogy az adott repülési idő a diszkrét Fourier-transzformáció elvégzése után hányas csatornaszámnál jelentkezik. A csatornaszám értékét k jelöli.

$$\frac{\tau}{\tau_0} = k, \quad (22)$$

$$k = A f_{\max} \sqrt{M}. \quad (23)$$

A mintavételes rendszerek egyik korlátja egy speciális jelenség. Ennek részletes tárgyalására itt nincsen mód, csupán utalunk a „mintavételi tételre”, amely kimondja, hogy egy sávkorlátozott jel információvesztés nélkül helyreállítható, ha a mintavételezés frekvenciája a sávkorlát frekvenciájának legalább a kétszerese. Az említett korlát következtében a Fourier-transzformáció eredményeképpen létrejövő függvénynek csak az első fele használható. Ezek szerint egy n mérési pontból álló adatállomány Fourier-transzformáltjából csak az első $n/2$ adat értékes.

$$\frac{n}{2} = A f_{\max} \sqrt{M_{\text{range}}}, \quad (24)$$

$$\left(\frac{n}{2 A f_{\max}} \right)^2 = M_{\text{range}}. \quad (25)$$

Itt M_{range} a módszer tömegtartományát jelöli, vagyis azt a maximális AMU értéket, amely a tömeg tengelyen megjelenik. Ez azonban messze nem jelenti azt, hogy az összes tömegszám fel lenne bontva. A felbontás egy külön kérdés, amit alább tárgyalunk.

Egy tömegcsúcsot definíciószerűen akkor tekintünk felbontottnak, ha legalább két időkvantum telik el a szomszéd tömegszámok között. Ez a definíció elvben lehetővé teszi a csúcsok és a völgy megtalálását. Ezek szerint és a (9) formula szerint $2\tau_0 = \delta$.

$$\frac{2}{f_{\max}} = \frac{A}{2} \frac{1}{\sqrt{M_{\text{res}}}}, \quad (26)$$

$$\left(\frac{A f_{\max}}{4} \right)^2 = M_{\text{res}}. \quad (27)$$

Itt M_{res} jelöli a legnagyobb felbontott tömegszámot.

Ha a teljes tömegtartomány felbontásra kerül, akkor $M_{\text{range}} = M_{\text{res}}$. Ebből a feltételből megkapjuk a szükséges maximális modulációs frekvenciát.

$$\left(\frac{n}{2 A f_{\max}} \right)^2 = \left(\frac{A f_{\max}}{4} \right)^2, \quad (28)$$

$$f_{\max} = \frac{\sqrt{2n}}{A}. \quad (29)$$

Visszahelyettesítve ezt a frekvenciát a tömegtartomány és a tömegfelbontás fenti képleteibe az alábbi eredményt kapjuk:

$$M_{\text{range}} = M_{\text{res}} = \frac{n}{8}. \quad (30)$$

Az eltérítő lemezpárok nyaláb irányával párhuzamos kiterjedése igen fontos. Jelölje ezt most L^* . A teljes L repülési úthossz és az L^* arányát jelölje p , amelynek tehát minimum néhány ezer a nagyságrendje:

$$\frac{L}{L^*} = p. \quad (31)$$

Az ionnyaláb eltérülése meredeken csökkenni kezd, ha a moduláló jel félperiódusának ideje egyenlővé válik az ionnak az eltérítő lemezpárok között eltöltött idejével:

$$\frac{A}{p} \sqrt{M_{\text{defl}}} = \frac{1}{2 f_{\max}}. \quad (32)$$

Emiatt szükséges, hogy az eltérítő nyalábbal párhuzamos mérete a lehető legkisebb legyen. A legnagyobb eltéríthető tömegszámot M_{defl} jelöli:

$$M_{\text{defl}} = \left(\frac{p}{2 A f_{\max}} \right)^2. \quad (33)$$

Az $M_{\text{range}} = M_{\text{defl}}$ feltétel következménye az alábbi:

$$\left(\frac{n}{2 A f_{\max}} \right)^2 = \left(\frac{p}{2 A f_{\max}} \right)^2. \quad (34)$$

Innen $n = p$ adódik, tehát az egy mérést alkotó elemi ciklusok n száma ugyanannyi kell legyen, mint a futási hosszának az eltérítő méretéhez viszonyított p aránya.

Az aluláteresztő elektrométer szükséges sáv szélessége a frekvencianövelés elemi lépései között eltelt Δ idő függvénye. A (20) formulából látható, hogy az ion futási idejére vonatkozó információt a második tag hordozza, ezért az egyenáramú összetevő átvitele nem szükséges. Emiatt célszerű sávszűrő elektrométert használni, amely szintén kiszűri a DC-komponenst. A körfrekvencia β átlagos változási sebessége a körfrekvencia-változás és az eltelt idő hányadosa:

$$\beta = 2\pi \frac{f_{\max}}{n \Delta}. \quad (35)$$

A (7) képletet a (19) összefüggésbe helyettesítve a detektált heterodin körfrekvencia a következő:

$$\Omega = \beta A \sqrt{M}. \quad (36)$$

Behelyettesítve a (35) összefüggést:

$$\Omega = 2\pi \frac{A f_{\max}}{n \Delta} \sqrt{M}. \quad (37)$$

Az $F = \Omega/2\pi$ frekvenciát használva a körfrekvencia helyett:

$$F = \frac{A f_{\max}}{n \Delta} \sqrt{M}. \quad (38)$$

$M = 1$ esetben az $F_{\min}$ legkisebb szükséges detektálási frekvencia:

$$F_{\min} = \frac{A f_{\max}}{n \Delta}. \quad (39)$$

$M = M_{range}$ esetben az F_{max} maximális detektálási frekvencia:

$$F_{max} = \frac{A f_{max}}{n \Delta} \sqrt{M_{range}}. \quad (40)$$

A fenti két formula meghatározza az elektrométer szükséges sávhatárait. Látható, hogy DC-átvitel valóban nem szükséges.

A frekvencianövelések közötti minimálisan szükséges idő az, amíg a legnagyobb tömegű ion végighalad a futási téren:

$$\Delta = A \sqrt{M_{range}}. \quad (41)$$

Helyettesítsük be a fenti formulát (39) és (40) összefüggésekbe, és így megkapjuk az elvileg leggyorsabban végrehajtott méréshez szükséges sávhatárokat.

$$F_{min} = \frac{f_{max}}{n} \frac{1}{\sqrt{M_{range}}}, \quad (42)$$

$$F_{max} = \frac{f_{max}}{n}. \quad (43)$$

Az elvileg végrehajtható T_{min} legrövidebb spektrumfelvételi idő:

$$T_{min} = n A \sqrt{M_{range}}. \quad (44)$$

A megvalósított CTOF spektrométer tényleges mérési paraméterei

A (6) összefüggés alapján az $m_0 = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg tömegű, $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ As töltésű proton az $U = 3$ kV gyorsító térben az $L = 1,4$ m utat a következő A repülési idő alatt teszi meg:

$$A = L \sqrt{\frac{m_0}{2 q U}} = 1,81 \text{ } \mu\text{s}. \quad (45)$$

(23) alapján, ha $A = 1,81 \text{ } \mu\text{s}$, $f_{max} = 50$ MHz, az FFT csatornaszám az AMU függvényében:

$$k = A f_{max} \sqrt{M} = 90,5 \sqrt{M}. \quad (46)$$

A (25) összefüggést felhasználva, $n = 4096$ és $f_{max} = 50$ Hz esetén az M_{range} tömegtartomány:

$$\left(\frac{n}{2 A f_{max}} \right)^2 = M_{range} = 512 \text{ AMU}. \quad (47)$$

A maximális M_{res} felbontott tömeg (27) alapján, a korábbi értékekkel:

$$\left(\frac{A f_{max}}{4} \right)^2 = M_{res} = 512 \text{ AMU}. \quad (48)$$

Az $M_{range} = M_{res}$ feltételhez szükséges maximális frekvencia (29)-et és n , illetve A értékét felhasználva:

$$f_{max} = \frac{\sqrt{2 n}}{A} = 50 \text{ MHz}. \quad (49)$$

A (34) egyenletből $n = p$ következett. Eszerint a sodródási tér hosszának (ami most 1,4 m) és a modulátor nyalábbal párhuzamos méretének aránya 4096 kell legyen. Ez a feltétel a modulátorok méretét 0,3 mm-re korlátozza.

Az elektrométer minimális határfrekvenciája (39)-es összefüggés és A , f_{max} , n korábbi értékeinek, illetve $\Delta = 2$ ms frekvencianövelések közötti idő felhasználásával:

$$F_{min} = \frac{A f_{max}}{n \Delta} = 11 \text{ Hz}. \quad (50)$$

Így a detektált heterodin jel frekvenciájának függése a tömegszámtól, (38) alapján:

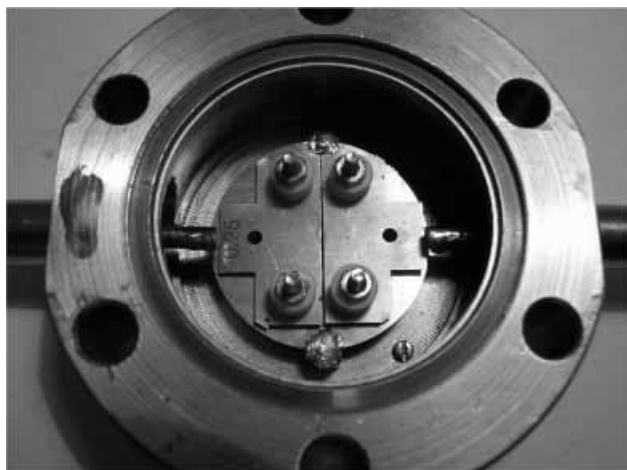
$$F = 11 \sqrt{M} \text{ Hz}. \quad (51)$$

Végül, (40) segítségével, az elektrométer maximális határfrekvenciája a tömegtartomány tetején:

$$F_{max} = 11 \sqrt{512} = 248 \text{ Hz}. \quad (52)$$

A megvalósított CTOF spektrométer működése

Az elkészült berendezést az 1. ábra mutatja. Ez a következő részekből áll: vákuumkamra a szivattyúval, ionforrás x,y eltérítőkkel, három darab elektrosztatikus lencse, Faraday serlegdetektor, kettő darab modulátor, kettő darab eltérítésvezérlő, nagyfrekvenciás meghajtó erősítő, vezérelt oszcillátor (Tabor WW 2571), sávátresztő elektrométer, Labjack panel, számítógép. Mivel a moduláció az eltérítés elvén alapszik, a modulátorok a nyaláb kisszögű DC-eltérítését is elvégzik egy rákapcsolt DC segéd feszültség alkalmazásával. A mérések folyamán a háttérvákuum 10^{-7} mbar nagyságrendű. Az ionforrás 3 keV-es nyalábot biztosít, amelynek nyalábárama 3 mikroamper. A mérés kezdetén még moduláció nélkül, a detektorba jutó DC-ionáramot maximalizáljuk a következők beállításával: x,y eltérítés, lencse1, eltérítő1, lencse2 és eltérítő2. A maximálisan elérhető detektált ionáram 1–10 nA tartományba esik. Amikor a maximum értéke már ismert, a detektorba jutó DC-áramot a felére, majd a negyedre állítjuk, rendre az eltérítő1 és az eltérítő2 alkalmazásával. Ilyen módon a modulátorokat a legnagyobb lejtésű pontra pozicionáljuk, és így a lehető legnagyobb heterodin jelet állítjuk majd elő, amikor bekapcsoljuk a modulációt. Az ionnyaláb trajektóriáit vázlatosan jelöltük az 1. ábrán. Az 1. lencse a nyalábot az 1. modulátor részére fókuszálja. Az itteni ionfolt egy-két milliméter széles. Ezután a 2. len-



2. ábra. Részlegesen szétszerelt modulátor. Az eltérítő lemezek alatt egy 0,25 mm-es résapertúra van. Az eltérítő lemezek a vákuumátvezetőkhez vannak hozzákötve. Az alsó apertúrával azonosat szereplünk fel a látható négy csavarra.

cse a nyalábot újra párhuzamosítja az eddigi kúpos forma helyett. Ennek köszönhetően a sodródási tér jelentősen meghosszabbítható a veszteségek nagymértékű növekedése nélkül. A sodródási tér végén a nyalábot a 3. lencse a 2. modulátor belépő részére fókuszálja, ahol az ionfolt mérete durván megegyezik az 1. modulátoron tapasztalt egy-két milliméterrel. A végén Faraday-serleg alkalmazásával kivezetjük az ionáramot az elektrométerbe.

Miután a berendezést DC-szinten beállítottuk, a nagyfrekvenciás modulációt bekapcsoljuk. Ez azt jelenti, hogy frekvenciában modulált koszinuszfeszültséget juttatunk a modulátorokra. A frekvencia 1 MHz-től 50 MHz-ig terjed, és a feszültség amplitúdója mintegy 50 V.

A modulátor egy eltérítő lemezpárból és ezt követően egy résszerű apertúrából áll, hiszen a nyaláb intenzitása modulálható, ha eltérítjük a nyalábot és egy résszerű apertúrán vezetjük keresztül. Van azonban két alapvető korlát. A moduláció nem lineáris folyamat. Emiatt egy koszinuszfüggvénnyel meghajtott modulátor által modulált ionnyaláb nem lesz koszinusz időfüggvényű. Ez a hatás csökkenthető, ha viszonylag kis modulációs mélységet és résszerű apertúrát alkalmazunk. A másik korlátozó tényező az ionnak a modulátorban eltöltött véges (nem nulla) tartózkodási ideje. Nyilvánvaló, ha a modulátorban levő tartózkodási idő egyenlővé válik a moduláló jel periódusidejével, akkor nem jön létre semmiféle moduláció. Emiatt a modulátorok nyalábbal párhuzamos irányú méretének minimálisnak kell lennie. A gyakorlatban a modulátor egy azonos síkban fekvő vékony fémlapokból áll, amelyek között néhány tized milliméteres rés van (2. ábra). Előtte és utána – megközelítőleg 5 mm távolságban – két leföldelt, résszerű apertúra van. Szintén fontos, hogy a modulátorlemezek földhöz viszonyított kapacitását alacsony értéken (néhány pF) tartsuk. Nagyobb értékű kapacitás, különösen a magasabb frekvenciákon, jelentősen csökkentené a modulációs feszültséget.

1. táblázat

A kripton izotópgyakoriságai

AMU	78	80	82	83	84	86
%	0,35	2,25	11,6	11,5	57	17,3

2. táblázat

A xenon izotópgyakoriságai

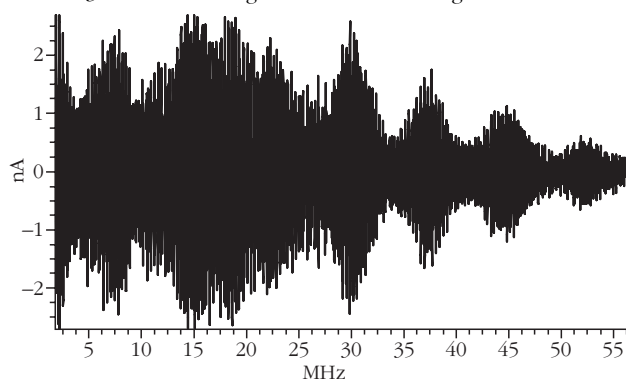
AMU	124	126	128	129	130	131	132	134	136
%	0,1	0,09	1,92	26,44	4,08	21,18	26,88	10,44	8,87

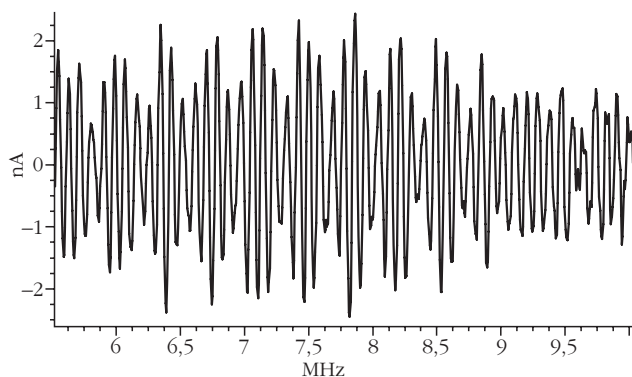
A tényleges mérés során a moduláló frekvenciát 1 MHz értékről 50 MHz értékre növeljük 4096 azonos lépésben, miközben a moduláló feszültség amplitúdóját mintegy 50 V feszültségen tartjuk. A sáváteresztő elektrométer kimenetét minden frekvencián regisztráljuk. Egy ilyen mérés 8 másodpercig tart. A felvett jelet a frekvencia függvényében kijelzi a szoftver. A mérést végző személy meghatározza a Fourier-transzformáció kezdő és végponti frekvenciáit. A számítógép néhány tized másodperc alatt elvégzi a transzformációt, valamint a vízszintes tengelyt futási időről atomi tömegegységre konvertálja. Az eredményként létrejövő tömegspektrum azonnal feltűnik a monitoron.

Egy végrehajtott mérés és kiértékelése

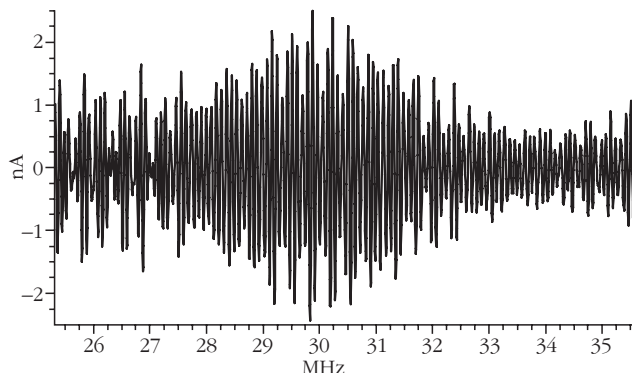
A berendezés működését egy nemesgáz keveréken mutatjuk be, amelynek összetétele a következő: 69% kripton, 30% xenon és 1% argon. A háttérnyomás 10^{-7} mbar, a bevezetett gázkeverék össznyomása $3 \cdot 10^{-6}$ mbar. A kripton és xenon izotópgyakoriságait az 1. és 2. táblázatban foglaltuk össze. A 3. ábra tartalmazza a mérés során regisztrált ionáramot a frekvencia függvényében. Ez egyáltalán nem hasonlít egy szokásos spektrumra, inkább sok szinuszfüggvény összegére. A 4. és 5. ábrákon a frekvenciatengelyt széthúztuk, hogy jobban láthatóvá tegyük a görbe finomszerkezetét. Ha végrehajtottuk a Fourier-transzformációt, feltűnik az általában elvart szerkezetű tömegspektrum, amely már csúcsokat tartalmaz, ez a 6. ábrán látható. A gázkeverék fő komponensei (Kr, Xe) és néhány

3. ábra. A nemesgáz keverék eredeti regisztrátuma





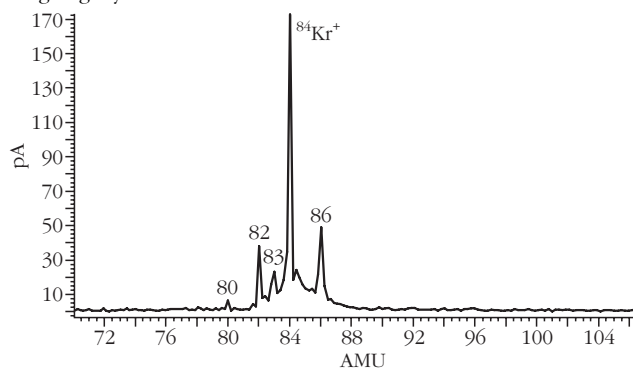
4. ábra. Az eredeti regisztrátum széthúzott tömeg tengellyel



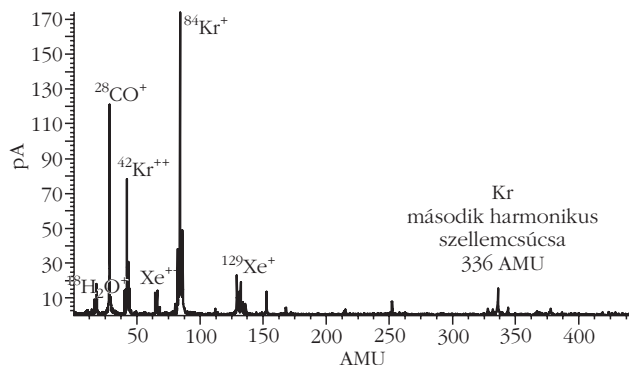
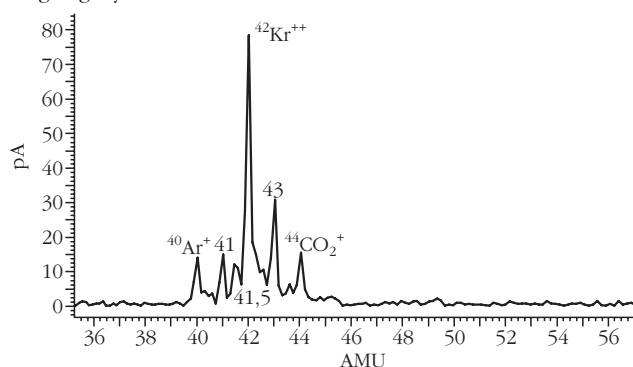
5. ábra. Az eredeti regisztrátum széthúzott tömeg tengellyel

szennyezés (CO , H_2O) is megjelennek. A kétszeresen ionizált tömegcsúcsok szintén feltűnnek a felezett tömegszámértékeknél. A kripton második harmoni-

7. ábra. Az egyszeresen ionizált kripton környezete széthúzott tömeg tengellyel



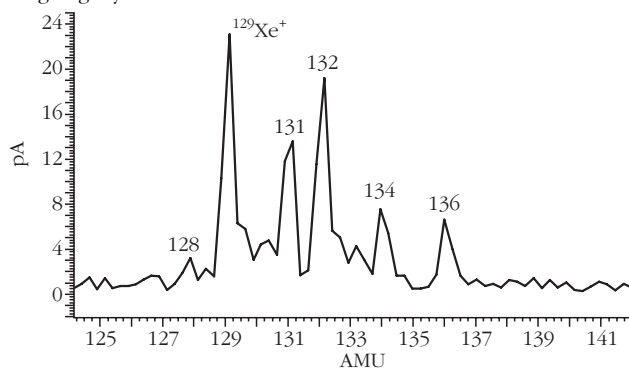
8. ábra. A kétszeresen ionizált kripton környezete széthúzott tömeg tengellyel



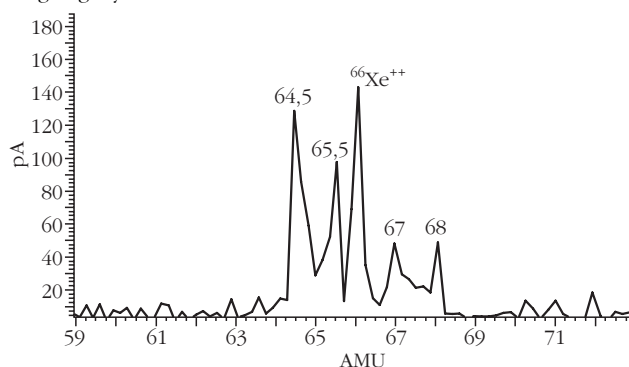
6. ábra. A nemesgázkeverék teljes tömegspektruma

kus szellemcsúcsa 336 AMU értéknél látható. A szellemcsúcs a nemlineáris moduláció következménye. Általában igaz, hogy a második harmonikus szellemcsúcs, a (7) összefüggés következtében, négyszeres tömegszámánál jelentkezik. A 7. ábra az egyszeresen ionizált kripton környezetét mutatja. Ezt összehasonlítva az 1. táblázat adataival megállapíthatjuk, hogy minden lényeges csúcsot detektáltunk, kivéve az igen kis izotópgyakoriságú (0,35%) csúcsot, amely 78 AMU tömegszámánál jelenne meg. A 8. ábra a kétszeresen ionizált kripton környezetét mutatja. A kripton izotópjainak minden csúcsa a fele tömegszámánál látható. Emellett a 40 AMU tömegszámánál az argon csúcsa is megjelenik, mivel az argon 1%-ban összetevője a gázkeveréknek. A 44 tömegszámánál mért szén-dioxid rendszerint megjelenik a maradékgáz-spektrumokban mint szennyező. A 9. ábra az egyszeresen ionizált

9. ábra. Az egyszeresen ionizált xenon környezete széthúzott tömeg tengellyel



10. ábra. A kétszeresen ionizált xenon környezete széthúzott tömeg tengellyel



xenon környezetét mutatja. A 2. táblázat adataival összehasonlítva elmondhatjuk, hogy a fő izotópkomponensek mind megjelentek a spektrumban, kivéve az első kettőt, amelyek izotópgyakorisága igen csekély. A kétszeresen ionizált xenon környezetét szétváltott tömegskálával megjelenítve a 10. ábrán, az öt legfontosabb tömegcsúcs mind megjelent a feles tömegszámoknál, ahogy ezt már korábban leírtuk. A kétszeresen ionizált csúcsok megjelenítése a spektrumban szándékosan történt. Ezek a tömegcsúcsok a tömegskála linearitásának ideális ellenőrzési pontjai. A kétszeresen ionizált csúcsok könnyen eltüntethetők, ha 70 V ionizáló feszültséget használunk az ionforrásban a jelenleg alkalmazott 200 V helyett.

Az itt bemutatott mérés bizonyítja a matematikai számítások helyességét, és igazolja azt, hogy a módszer a jövőben ígéretes alternatíva lehet a gázkeverékek kémiai analízisében.

Konklúzió és további tervek

A hagyományos impulzus üzemű TOF-spektrométerek érzékenységét a gerjesztés alacsony kitöltési tényezője korlátozza. Jelen cikkben az új mérési koncepció került bemutatásra e probléma megoldására. Más megoldásokkal összehasonlítva megállapítható, hogy az új módszerben nincsen szükség nagy sebességű adatgyűjtésre, ezért egyszerű Faraday serlegdetektort használhatunk az elektronsokszorozó helyett. Ez megoldja azt a problémát is, amit az elektronsok-

szorozó nemkívánatos tulajdonsága okoz, nevezetesen: a nagyobb tömegű ionokat kevésbé erősíti, mint a könnyebbeket.

A fejlesztés további iránya a maximális modulációs frekvencia növelése a tömegfelbontás javítása céljából. Ennek nehézsége abban rejlik, hogy a modulációs frekvencia növelésekor mintegy 70 MHz felett erősen csökken a heterodin jel nagysága, amely szoftver segítségével csak egy ideig kompenzálható. A másik fejlesztési irány célja az, hogy a spektrum felvételének idejét az elvi minimum közelébe – (44) képlet –, de legalább is egy másodperc alá csökkentsük. A jelenlegi nyolc másodperces mérési időt az adatgyűjtő panel sebessége korlátozza. A berendezés analitikában való alkalmazásának feltétele egy megfelelő kémiai interfész kialakítása, amely lehetővé teszi a folyadékminták vizsgálatát is, azok gázzá alakítása útján.

A fejlesztési projektet az Európai Unió és a Magyar Köztársaság kormánya támogatta a Közép-Magyarországi Operatív Program keretében.

Irodalom

- Hárs György: *Folyamatos ionkibocsátású repülési idő tömegspektrométer, és eljárás különböző tömeg/töltés viszonyú ionok áramának szelektív meghatározására*. Magyar szabadalom, benyújtva 2002, megadva 2006, Lajstromszám 224 767
- G. Hárs: *Time of Flight Mass Spectrometer with an Ion Source Emitting Continuously*. Patent Cooperation Treaty (PCT) közzététel, 2003. november 20.
- Hárs György: *New Special Methods in Mass Spectrometry*. DSc tézis 2005.
- G. Hárs, G. Dobos: Development of analytically capable time-of-flight mass spectrometer with continuous ion introduction. *Review of Scientific Instruments* 81 (2010) 033101.

HENRY CAVENDISH, A KÍSÉRLETEZŐ EMBER

Kovács László

Nyugat-Magyarországi Egyetem, Szombathely

J. G. Crowther 1962-ben megjelentetett egy könyvet [1] Londonban az ipari forradalom tudósairól. Ebben bemutatja *Cavendish* tudós kortársait. *Joseph Black* (1728–1799) bevezette a látens hő, a fajhő fogalmát, felfedezte a szén-dioxidot. *James Watt* (1736–1819) 1769-ben adta be szabadalmát az első gőzgépre. Gőzgépe tökéletesítését bemutató előadására Cavendish is elutazott Manchesterbe. A kémikus *Joseph Priestley* (1733–1804) 1767-ben megjelentette *Az elektromosság története* című könyvét, és osztozott *Lavoisier*-vel az oxigén felfedezésén. Végül Henry Cavendish (1731–1810) legfőbb érdemének a hidrogén 1766-os felfedezését tartja. Mind a négyükről azt állítja, hogy az ipari forradalom adott lehetőséget tehetségük kibontakoztatására. Mindebben van igazság. Nézzük csupán Wattot, ő azért tudta gőzgépét tökéletesíteni, mert Wilkinson feltalált egy új fűrő-

gépet, amellyel nemcsak az ágyúk csövét, hanem a gőzgép hengerét is finomabban tudták megmunkálni.

Cavendish nem szolgálta közvetlenül az ipart, Londonban maradt, és 200 ezer szavas igen értékes kéziratából mindössze 17 tanulmányt tett közzé. Ezeket felsoroljuk a cikk végén, és az elkövetkezőkben így hivatkozunk rájuk: Bibl. 1., 2. stb.

Ha minden elért eredményét publikálta volna, akkor akár úgy is képzelhetnénk, hogy a diákok nem tanulnának ma Ohm-törvényről, *Coulomb* törvényéről, nem *Faraday* nevéhez kötnék a relatív dielektromos állandó fogalmát, sőt, még tovább menve nem *Helmholtz*, *Joule* és *Robert Mayer* lennének az energiamegmaradás törvényének felfedezői. A tudománytörténet tanulása szerint persze az ilyen *volnák* aligha érvényesülhetnek közvetlenül és mellékhatások nélkül – ami biztos, az annyi, hogy minderről 1879-ben szerezhetett tudomást a világ. A kísérleti fizika első Cavendish-professzora, az 1874-ben megnyílt cambridge-i Cavendish Laborató-

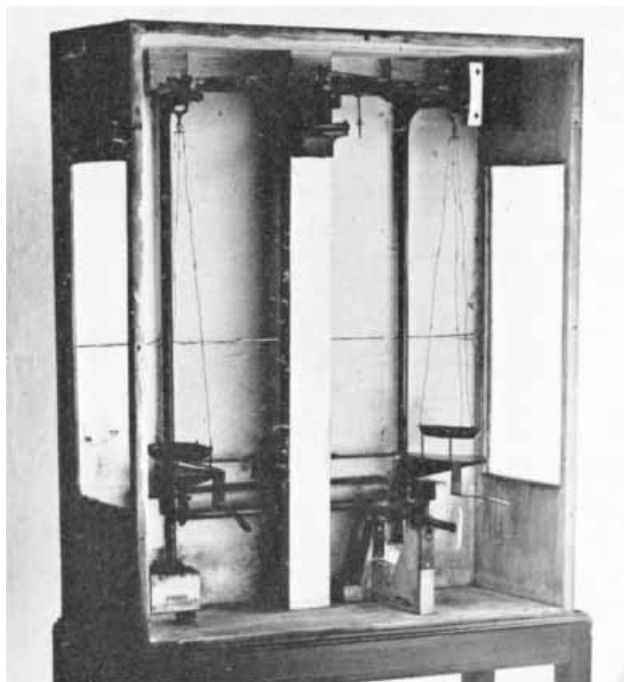
Henry Cavendish (1731. október 10. – 1810. február 24.) halálának 200. évfordulója alkalmából.

rium első igazgatója, *James Clerk Maxwell* (1831–1879) a Cavendish-utódok kikötésének megfelelően hozzáállott, hogy feldolgozza nagy elődjének munkásságát. Élete utolsó öt évét szinte teljesen erre a munkára szánta. Kiadta a hozzá *W. Snow Harris* és *William Thomson* (*Lord Kelvin*) közvetítésével eljutott kéziratokból az elektromosságra vonatkozó részeket. (*The Electrical Researches of the Honourable Henry Cavendish*, F. R. S. ed.: J. Clerk Maxwell, Cambridge, 1879). Az újabb kiadásra 1921-ig kellett várni, ekkor *The Scientific Papers of the Honourable Henry Cavendish*, F. R. S. címen kétkötetes mű jelent meg; az 1. kötet (*Sir Joseph Larmor* gondozásában) az elektromos kutatásokat tartalmazza, ez lényegében a Maxwell-féle könyv. A 2. kötet (*Sir Thomas Edward Thorpe* és munkatársai jegyzeteivel) pedig a kémiai és dinamikai munkákból ad ízelítőt. Így is csak a kéziratok negyede látott napvilágot.

Cavendish családi indíttatása

A főúri származású és igen gazdag Cavendish (1. ábra) nagyon különös ember volt: visszahúzó, betegesen félénk. Nem érdekelte a pénz, nem érdekelte a rang, a hírnév. Cambridge-i tanulmányai befejeztével 1753-ban édesapja westminsteri házába költözött, és ott élt az ő haláláig, 1783-ig. Kenyérkereseti gondja nem lévén, úri kedvtelésből a természetet vizsgálta, kezdetben édesapjával közösen. Sokoldalú érdeklődését és szakmai tudásának nagy részét neki köszönheti. *Sir Charles Cavendish* tehetséges kísérleti fizikus volt. A hőjelenségekkel, az elektromossággal és a földmágnességgel foglalkozott behatóbban. A Royal Society már *Newton* halálának évében, 1727-ben tagjává választotta az akkor 23 éves Charlest [2].

2. ábra. Cavendish mérlege a londoni Royal Institutionban.



1. ábra. Henry Cavendish. *William Alexander* festőművész vízfestményét a British Museum grafikai osztályán őrzik.

Cavendish kémiai eredményei

A görögök úgy gondolták, hogy a világot felépítő négy őselem a víz, a tűz, a levegő és a föld. Cavendish ezek közül kettőről, a vízről és a levegőről bebizonyította, hogy azok összetett képződmények. A flogiszon¹ híve volt. Amikor a „gyúlékony levegőt”, azaz a hidrogént felfedezte, azt állította, hogy az maga a flogiszon. Jóllehet már 1760-ban akadémiai tag lett, a gázok vizsgálatáról szóló első nagy művét csak 1766-ban mutatta be (Bibl. 1.). Ennek első része a gyúlé-

¹ A flogiszon nevű anyag, mellyel a 17. században az égés folyamatát próbálták magyarázni, a kémia fejlődésének egyik mérföldköve. A szó eredete a görög „égő” szóból ered (ami rokon a latin flamma, láng szóval).

A *Georg Ernst Stahl* (1659–1734) által kidolgozott elmélet szerint minden éghető anyagban flogiszon található, ami az égést okozza. Az anyagok égésekor azokból eltávozik a flogiszon, és minél többet tartalmaznak ebből, annál hevesebben égnak. Azt a tényt, hogy égéskor az anyagok tömege növekszik, egyesek azzal magyarázták, hogy a flogiszon tömege negatív, azt a gravitáció „taszítja”.

Az elmélet alapját *Joachim Johann Becher* (1635–1682) dolgozta ki, mely szerint az égés során „zsíros föld” (terra pinguis) távozik, és ezt az elméletet fejlesztette tovább Stahl, melyet 1731-ben publikált az *Experimenta* című munkájában.

Az elmélet jelentősége abban volt, hogy szakított a misztifikáló, alkímista felfogással, és a folyamatot megpróbálta tudományos alapokra helyezni, így lehetővé tette az elmélet pontosítását, vagy akár – mint ez esetben is történt – cáfolatát. Munkája nemzetközi elismerést ért el, számos országban ismert és elismert lett az elmélet, köztük Magyarországon is, mint például *Winterl Jakab* (1732–1809), a nagyszombati egyetem kémia professzora esetében.

A flogiszonelméletet végül Antoine Laurent Lavoisier (1734–1794) cáfolta, aki más vegyészek munkáin – Cavendish, *Scheele*, *Priestley* – alapuló elméletével bizonyította az oxigén égési folyamatban való részvételét. Forrás: Wikipedia.

kony levegővel végzett kísérletekről szólt. Cinket, vasat és ónt oldott hígított kénsavban, sósavban és salétromsavban. Úgy gondolta, hogy a hidrogén az oldott fémekből válik ki. Gondos mérésekkel (2. ábra) meghatározta, hogy a hidrogén 8760-szor könnyebb a víznél és 11-szer könnyebb, mint a közönséges levegő. A mai pontos érték 14,4. Tanulmányának második és harmadik része a szén-dioxid vizsgálatával foglalkozik. A negyedik, publikálatlan rész fák és állatok maradványainak desztillálásakor keletkező gyúlékony levegőről szól.

Joseph Black és Joseph Priestley munkáinak hatására Cavendish 1778-ban tért vissza a gázok kémiájához, és 1786-ig ezzel foglalkozott. A korabeli kísérleti eredmények azt mutatták, hogy hidrogénnek levegőben történő „elégetésekor” a végtermékek össz tömege kevesebb, mint a kiindulási anyagoké. 1871-ben Cavendish üveghengerben „égette el” a hidrogént, s az edény falán keletkező vékony, folyékony lecsapódási réteg tömegét is pontosan megmérte, ezzel helyreállt az egyensúly. Kimérte, hogy az elektromos szikrával történő robbantáskor (így történt az „elégetés”) az összes gyúlékony levegő és a közönséges levegőnek az egyötöde alakul nedvességgé. Gondos vizsgálatokkal kimutatta, hogy az üveghenger falán keletkezett folyadék tiszta víz! Az oxigén az ő fogalomrendszerében a flogisztonjától megfosztott víz, tehát a víz oxigénből és hidrogénből összetett anyag.

Sok mindennel foglalkozott még. Nagyon pontosan meghatározta a levegő összetételét, nemcsak a Föld felszínén, hanem léggömbökkel hozatott mintákat különböző magasságokból. Kimérte a salétromsav kémiai összetételét. Kísérletei közben megállapította, hogy a levegőben a nitrogénen és az oxigénen kívül kell lennie igen kis mennyiségben (1%) olyan gáznak, amely nem lép kémiai reakcióba. Azt mondhatjuk, hogy *Rayleigh* és *Ramsey* előtt száz évvel felfedezte az argont.

Frederick Seitz így fogalmazott: „Cavendish nyitotta ki azt a kaput, amelyen át Lavoisier ellovagolhatott a modern kémia atyja” címhez.” [3]

Cavendish „kisebb” fizikai eredményei

A *Remarks Relating to the theory of Motion* című írásában és az *Experiments on Heat* feliratú kéziratában tett megállapításait az energiamegmaradási törvény egyik megfogalmazásának tekinthetjük. Leírta ugyanis, hogy a fizikai folyamatokban a mechanikai munkából lesz a hő. A hőátadás folyamatát atomi szinten értelmezte: amelyik test lehűl, ott lelassul, amelyik test a folyamat során felmelegszik, abban felgyorsul a részecskék mozgása.

A kémiai reakcióhő, a hőmérsékleti alappontok meghatározása, a hőtágulás, a fajhő, a látens hő mind-mind érdeklődési körébe tartozott.²

² „Cavendish megfigyelte, ha tömény salétromsavba havat kever, akkor hőmérsékletük megemelkedik, azonban 1/4 rész vízzel hígított salétromsavhoz adott hó esetén a keverék azonnal lehűl.” – John Murray: *System of Chemistry*. Edinburgh, 1812, 514. oldal.

Henry Cavendish mindössze egy elméleti munkát publikált (Bibl. 3.). Ebben és még inkább azt ezt megelőző, *Gondolatok az elektromosságról* című kéziratában kifejti, hogy az elektromosságot a test részecskéi között rugalmas folyadéknak kell tekintenünk. Világos „potenciál” fogalma volt, bár ő az ekvipotenciális felületet azonos „sűrítettségűnek” nevezte.

Kéziratban maradt az a mérési eredménye is, amely egy gömb és egy vele azonos potenciálra hozott sík körlap töltése, illetve kapacitása közt fennáll. A mért hányados 1,57, a pontos elméleti érték $\pi/2 = 1,571\dots$

Az elektromos töltések közt fennálló, a távolság négyzetével fordítottan arányos erőről szóló törvényt, a Coulomb-törvényt a következőképpen mérte. Abból a kísérleti tényből indult ki, hogy a töltések a vezető felületén helyezkednek el, és üreges vezető belsejében nem érzékelhető elektromos erőhatás. Könyszerűen összehajtható két félgömbhéjat készített kartonpapírból, s ennek belsejébe viasszal bevont üveggömböt tett.

Az egész rendszer elektromos feltöltése, majd a gömbhéjak szétválasztása után a belső gömb felületén a félgömbökön levő töltés 1/60 részénél kevesebb töltés maradt. (Ebből a mérési eredményből arra következtetett, hogy a kölcsönhatási törvényben a nevezőben levő távolság kitevője $2\pm 0,2$ értékű kell, hogy legyen.) Csodálatra méltó a mérés és a pontos fogalmazás: nem azt állítja, hogy a szorosan, egy teljes gömbbé összezárt, külső, töltött gömbhéj belsejében egyáltalán nem marad töltés. Megmondja, hogy ezt az elméleti tényt ő milyen pontosan tudta 1772 decemberében méréseivel igazolni!

Az Ohm-törvény megsejtésekor feltöltött leydeni palackot használt feszültségforrásként, az árammérő pedig a saját teste volt. (Ekkor még nem alakult ki az „elektromos áram” és az „ellenállás” pontos fogalma, és természetesen galvanométer sem létezett.) A különböző mértékben feltöltött leydeni palackokat a saját testén keresztül sütötte ki, s megállapította, hogy a feltöltés mértékével arányos az a hosszúság, ameddig fájdalmat érez karjaiban. Ugyanezzel a módszerrel vizsgálta nagy gondossággal sóoldatok vezetőképességét a koncentráció és a hőmérséklet függvényében (3. ábra) [2].

A Cavendish-kísérlet

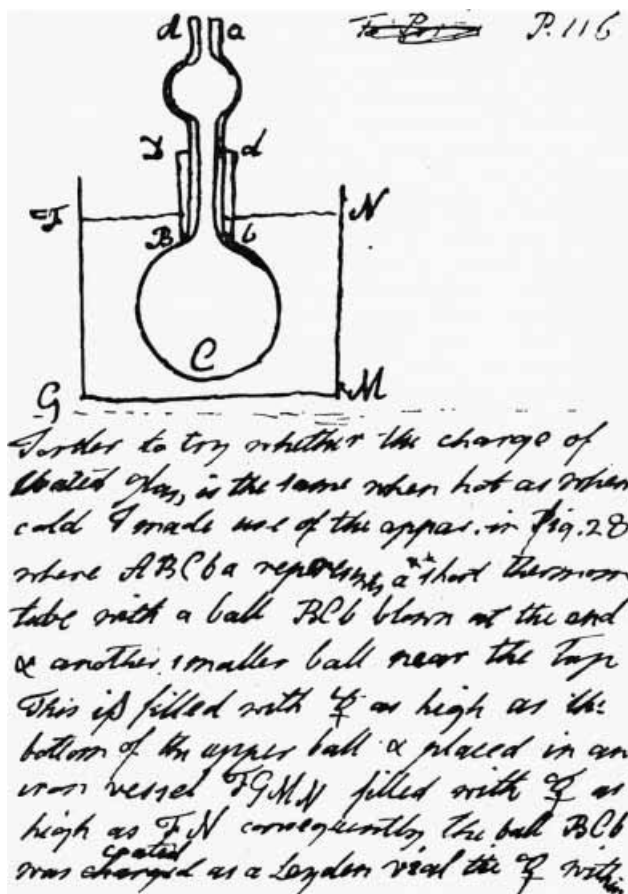
Így nevezzük legismertebb eredményét. Cavendish volt az első, aki kézzelfogható földi tárgyak között ki tudta mutatni azt a kölcsönhatást, amelyet Newton fogalmazott meg: „...azt mondom, hogy ha testeket helyezünk el gömbfelületükön kívül, akkor azok a gömbök középpontjainak irányába a középpontjaik közti távolság négyzetének reciprokával arányos erővel vonzzák egymást.”³

³

Lib.1. Prop. LXXI. Theor. XXXI.

Iisdem positis, dico quod corpusculum extra Sphaericam superficiem constitutum attrahitur ad centrum Sphaerae, vi reciproce proportionali quadrato distantiae suae ab eodem centro

(Philosophiae Naturalis Principia Mathematica, Londini, 1687)



3. ábra. Részlet Cavendish jegyzetfüzetének azon oldalából, ahol a sőoldatok vezetőképeségéről ír.

Érdekes, hogy a törvényben nincs szó a gömbök tömegéről. Newton ezt a kölcsönhatást nemcsak az égitestekre igazolta, hanem feltételezte, hogy igaz az a földi tárgyakra is, ezért ma így nevezzük: az általános tömegvonzás törvénye. Cavendish 67 éves, amikor ezeket a méréseket végzi. A cél nem a törvény igazolása, nem a tömegvonzás univerzális állandójának, az $f = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg}^2$ értéknek a meghatározása volt. „Megmérni a csillagok tömegét!” – ez lebegett a 18. századi tudósok előtt. Ehhez először a Föld tömegét kellett meghatározni. Különös módon végső eredményként nem is a tömeg nagyságát, hanem a Föld átlagos sűrűségét számították ki. Már maga Newton adott erre vonatkozó becslést a *Principiáiban*: a Föld átlagos sűrűsége a víz sűrűségének ötszöröse és hatszorosa közötti érték.⁴

A *Philosophical Transactions of Royal Society London*, 1798. 88. 469–526. szövegoldalainak élén ez a cím áll: XXI. Experiments to determine the Density of the Earth, By Henry Cavendish, Esq. F. R. S. and A. S.

A Föld sűrűségének meghatározását szolgáló kísérleteknek voltak előzményei. Kézenfekvőnek látszik, hogy ha a Föld tömegét akarjuk meghatározni, akkor magából a Földből kell vennünk egy hatalmas darabot, vagy viszonylag messze kell mennünk a Föld

középpontjától. Hatalmas vonzó tömeget kell választanunk, hiszen a tömegvonzási kölcsönhatás igen kis mértékű. Olyan hegyek vonzását kell vizsgálnunk, amelyek tömegét elég pontosan meg tudjuk határozni. Gondoljuk meg: könnyedén felemelünk egy 15 kg tömegű, közel 150 N súlyú kisgyermeket, de ahhoz, hogy erre a gyermekre tömegvonzási erőként az ő teljes súlya, azaz 150 N hasson, ahhoz, itt a Föld felületén, másik vonzó tömegként a teljes Földre van szükség.

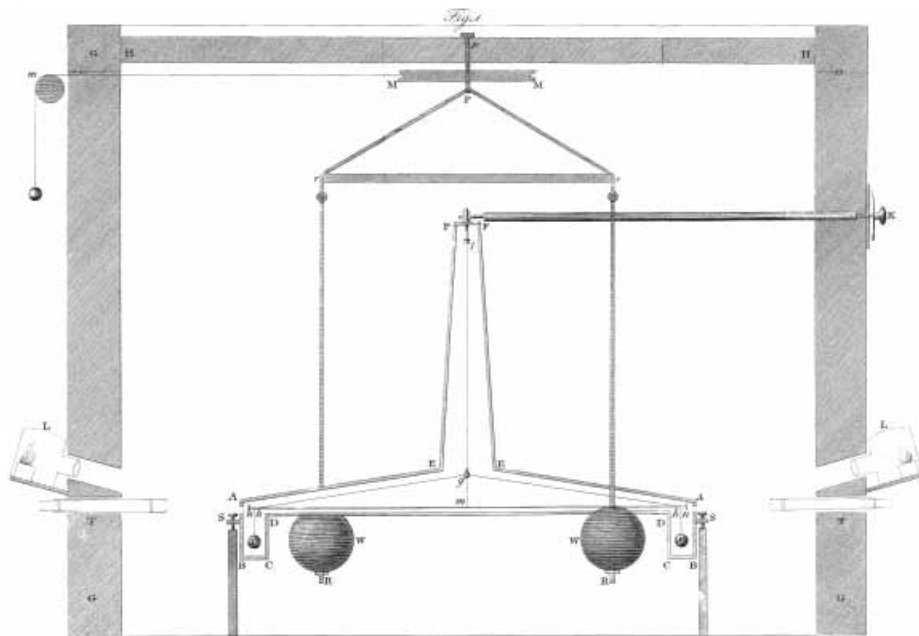
A Francia Akadémia tudósai 1735-ben dél-amerikai hegyeken a másodpercinga hosszának változásából próbálták a távolság négyzetével fordítottan arányos erőre következtetni, s a mérések eredményéből akarták a Föld sűrűségét kiszámítani. Nem jártak sikerrel. Cavendish elemezte ezt a kísérletet, és más módszert javasolt: „A hegy lábánál a függőön elhajlását kell, a fejünk felett levő csillagok segítségével meghatározni.”⁵ – írta publikálatlan kéziratában. A franciák ezzel a módszerrel 1738-ban a Chimborazo lábánál és attól jóval távolabb mértek, ugyancsak eredménytelenül. A függőön helyzetének kísérleti meghatározására 1772-ben a Royal Society is létrehozott egy „Vonzási Bizottságot”, amelynek Cavendish aktív tagja volt. A szabályos alakú skóciai Schiehallion hegyet választották vonzó tömegnek. Maskelyne királyi csillagász 1774-ben a hegy tövében, ugyanazon a szélességi körön, de két ellentétes oldalon mért. A számításokat Hutton végezte Cavendish útmutatásainak megfelelően. A Föld sűrűségére $4,48 \text{ g/cm}^3$ értéket kaptak. Newton ennél többet jósolt! Kaptak is eredményül az angolok később, 1856-ban $5,3 \text{ g/cm}^3$ értéket Edinburgh közelében végzett ilyen jellegű méréssel.

A Cavendish-kísérlet módszere és az eredeti mérő-eszköz John Michell kémikus professzortól származik. Michell a mérés alapötletét – azt, hogy torziós ingát kell használni és a torziómoduluszt a lengésidőből kell meghatározni – már Coulomb ilyen jellegű elektrosztatikus méréseinek publikálása előtt elmondta Cavendishnek. Mérésre azonban már nem maradt ideje. Henry Cavendish felújította, jelentősen átalakította az eredeti ingát. Nagy-nagy körültekintéssel végezte a méréseket. Rendkívül gondosan elemezte a lehetséges hibaforrásokat. Ellenőrző mérésekkel, részletes számításokkal igazolta, hogy mely hatások hanyagolhatóak el. Becslést adott a nem mérhető és pontosan ki sem számítható hatásokra. Isobel Falconer, a cambridge-i Cavendish Laboratórium múzeumának egykori kurátora Cavendish dolgozatát a hibákról szóló értekezésnek („dissertation on errors”) tartja [4].

Ahogy Tycho de Brahe csillagászati megfigyeléseinél, ugyanúgy Cavendish méréseinél is döntő szerep jutott a nagy méreteknél. Az ezüstözött réz torziós szál közel egy méter, az inga teljes lengő karja 186 cm hosszú, a kar végeiről lelógó fonálra függesztett ólomgolyók egyenként 0,75 kg tömegűek voltak.

⁴ quasi quintuplo vel sextuplo major; Lib III. Propositio X, Theorema X.

⁵ by finding the deviation of a plumb line at the bottom of a mountain by taking the meridian altitudes of stars



4. ábra. A Cavendish-kísérlet eredeti rajza.

A vonzó ólomgömbök tömege egyenként 168 kg volt. Eötvös Loránd torziós ingás méréseinél a mindössze 1/25 mm átmérőjű platina torziós szálát szintén jelentősen hosszúra választotta, egy és másfél méter között, a karok hossza azonban csak 30 cm körüli, és rájuk mindössze 30–40 grammos tömegeket tett. Eötvös demonstrációs és hallgatói laborméréseinél egyenként maximum 50 kg tömegű ólomgömböket használt.

Cavendish, dolgozata végén, a szöveges rész után 1:30 arányú ábrát közöl a teljes készülékről (4. ábra).

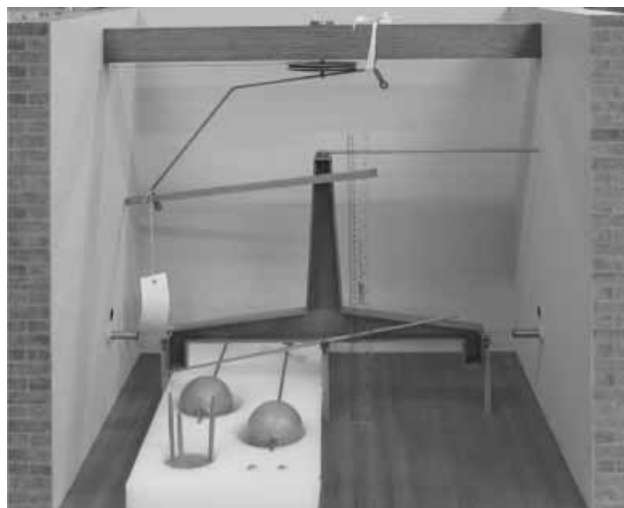
Az alkatrészecskék további igen részletes rajzai segítik hosszú számításainak követését. Nem találtuk nyomát annak, hogy az eredeti mérőberendezést vagy annak részeit valahol őrzik. A londoni Science Museumnak van egy – az ő leírásuk szerint – 1:48 arányú modellje, amely jelenleg a Kis és Közepes Eszközök Raktárában, a Blythe House-ban található. Gyanús volt ez az arány! Ez csupán 3 cm-es lengőkart jelentene. Kértem a raktárból olyan fotót, amelyen valami összehasonlítható tárgy is szerepel az inga mellett. *Graham Wheldon* raktári koordinátor nagyon szolgálatkész volt: kibontotta a 43,5 kg tömegű, közel fél köbméter térfogatú modell dobozát, 18 hüvelyk (= 457 mm) hosszú vonalzót tett az inga mellé, és hat képet küldött.⁶ Ezekből látható, hogy 1:8 a helyes arány (5. ábra).

Cavendish a hosszú lengő kar és a végekről lelógó nagy tömegek miatt külön ezüst feszítőhuzalt is alkalmazott. Az egész ingát mahagóni dobozba zárta. Coulomb és Eötvös is a lengő kar közepére helyezett tükör közvetítésével távcsővel olvasta le a kar elfor-

dulását, illetve Eötvös a demonstrációnál és a fotografikus eljárásánál fénymutatót használt. Érdekes módon Frederick Seitz már említett cikkében azt írja, hogy Cavendish is – Michell nyomán – fénymutatóval dolgozott. Ez azonban tévedés! Seitz valószínűleg nem nézte meg az eredeti írást a *Transactions*-ben. Ha megnézi, akkor biztosan ugyanolyan lelkesen írt volna Cavendish zseniális leolvasási technikájáról, mint ahogyan azt most én teszem. Nem fény, hanem maga a 93 cm hosszú félkar volt a mutató. Cavendish a mahagóni doboz mindkét végébe nyílást vágott, ezt üveglemezzel lezárta. A doboz belsejében a karhoz lehető legközelebbi

helyen elefántcsont *főskálát* helyezett el, egy hüvelyket (2,54 cm) 20 egyenlő *kis* részre osztott. A kar végére ugyancsak elefántcsontból *segédskálát* tett, amelyen egy *kis* osztásrészre további öt egyenlő részre oszt-

5. ábra. Cavendish torziós ingájának modellje.



6. ábra. Cavendish Clapham Common-i kastélyának rajza.



⁶ Elnézést kérek, hogy ismét magyarországi analóg esetet említek. Az elmúlt évben, amikor *Pascal*-ról szóló előadásomhoz az egyetlen még meglevő budapesti omnibusz fényképét kértem, akkor a Közlekedési Múzeumból egy hónapos levelezés után négyezer forintért küldték azt el. Hangsúlyozták, hogy ez nagy szíveség, mert személyesen kellett volna kutatási engedélyt kérnem és a képet kiválasztanom.

tott. Így század hüvelyk, azaz 0,25 mm pontossággal tudta a kar helyzetét meghatározni. Külön szoba közepén állt Clapham Common-i kastélyában (6. ábra) a mahagóni doboz.

Ez az épület ma már nincs meg, park van a helyén, az azt átszelő egyik utcát azonban Cavendishről nevezték el. *James* és *Virginia Marshall* texasi egyetemi tanárok találtak olyan korabeli térképet, amelyen az épülettulajdonosok⁷ nevét is feltüntették (7. ábra).

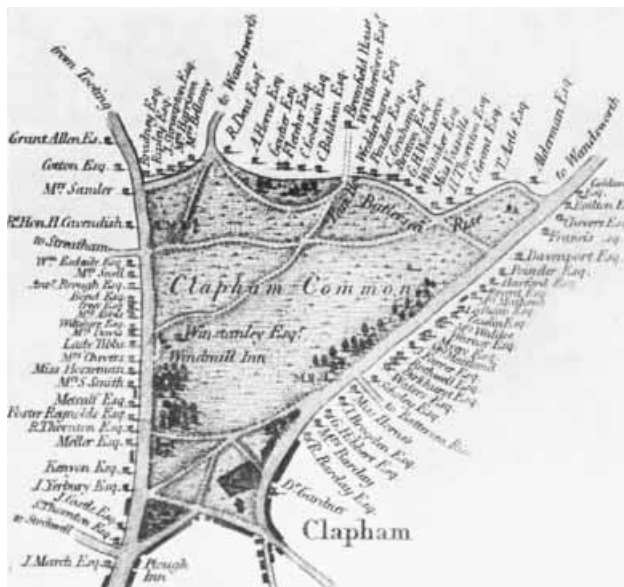
A falba vágott résen át, kondenzor lencsén keresztül vetődött fény a skálákra, és ugyancsak kívülről, távcsővel történt a leolvasás. A vonzó tömegek lefelé fordított, szögletes U alakú, felül fával megerősített vasrúdon lógtak, csiga és fonal segítségével kívülről lehetett azokat „negatív”, „középső” és „pozitív” helyzetbe állítani. A főskála beosztása jobbról balra növekedett, ezért a tömegeknek a bal oldali elhelyezkedését nevezte pozitív helyzetnek. Kívülről lehetett beállítani az inga szálának és ezzel a rúd alaphelyzetét. Mint említettük, az inga lengésidejéből számította ki a torziós szál csavarodási erősségét, a torziómoduluszt. A lengésideő mérését mind a 17 mérősorozatnál újra és újra elvégezte. Azért tette, hogy az esetlegesen fellépő hibákat ezzel is csökkentse. Példaként említi, hogy ha a fatok végébe tett üveg elektrosztatikusan feltöltődik, akkor ez olyan hatású lesz, mintha a torziómodulusz változott volna meg. Ezt mérésével figyelembe tudja venni. Így már csak az a hiba marad, amit a feltöltött üveglap golyókra gyakorolt hatása okoz. Ezt nem tudja mérni vagy számolni. A lengésideőt a nyugalmi helyzeteken történő áthaladások abszolút idejéből határozta meg. A nyugalmi helyzetek értékeit a szélső helyzetek értékeiből igen gondos számítással nyerte. Általában öt-tíz lengés együttes idejének átlagát vette. Három mérősorozatot végzett a kapott, meglevő gyengébb szállal 1797. augusztus 5–7-én. Ekkor közel 15 perces lengésideőket mért. Ezután erősebb szálra váltott, közel 7 perces lengésideőkkel dolgozott az elkövetkező 14 mérősorozatnál augusztus 12-től október 17-ig, majd 1798. április 29-től május 30-ig. A 17 mérősorozatból összesen 29 sűrűségértéket számított ki. Az értékek 4,88 és 5,85 közé estek, az átlag 5,48 g/cm³.

Az utolsó 23 megfigyelésnél „a legszélső eredmény nem különbözik az átlagtól jobban, mint 0,38, vagy az egésznek (az átlagnak) az 1/14 része”. – írja Cavendish. Tehát maximális hibája 7%.

A relatív hiba, azaz az eltérések abszolút értékei átlaga és a mérések átlaga hányadosa azonban csak 1 százaléket ad.

Sokkal lényegesebb ennél, hogy Cavendish sűrűségértéke és az abból meghatározható általános tömegvonzási állandó a mai modern eszközökkel meghatározott értéktől is csak 1%-kal tér el!

Az új nyugalmi helyzet a középső álláshoz képest közelítőleg 8 cm-t, illetve a vonzó gömbök két szélső helyzetét tekintve közel 16 cm-t vándorolt el. A pozitív



7. ábra. Korabeli térkép Clapham Commonról, Cavendish háza bal oldalt, a felső harmadban található (forrás James and Virginia Marshall: *Rediscovery of the Elements*).

és a negatív állásban kissé különböző volt a középső álláshoz viszonyított elmozdulás. Az eltérés mindössze 4 mm, de okát Cavendish lázasan kereste.⁸ Cavendish a fő okot a mahagóni doboz belsejében fellépő levegőáramlásnak tulajdonította. Feltételezte, hogy a vonzó gömbök nincsenek tökéletes hőmérsékleti egyensúlyban a levegővel, a dobozzal. Több napon át kísérletek hosszú sorát végezte ezen hatás mértékének kimutatására. Hőmérőt rögzített a doboz külső felületére, hőmérőt cementezett bele a vonzó ólomgömbbe, és távcsővel olvasta le a hőmérsékleteket. Lámpával 7-8 fokkal melegítette majd jéggel ugyancsak 7-8 fokkal hűtötte a gömböket. Mindkét esetben a nyugalmi helyzet – ellentétes irányú – jelentős, közel 6 cm-es elmozdulását észlelte. A súlyos és a tehetetlen tömeg arányosságának kimutatását szolgáló azon Eötvös Loránd-mérés juthat az eszünkbe, amikor Eötvös radioaktív anyagok vonzó hatását vizsgálta. Először jellegzetes eltérést tapasztalt. Rájött azonban, és ki is mérte, hogy az eltérést a radioaktív anyagok által keltett hő okozza.

Cavendish mágneses hatásokban is kereste a mért értékek nagy szórásának okát. Rézrúdra cserélte a vonzó gömböket tartó vasrudazatot. Nem volt változás. Leszerelte a gömböket a rudazatról, napokig várt, hogy az esetleg bennük levő mágnesezhető anyagok a földmágnesség hatására polarizálódhassanak. Kívülről 180 fokkal átfordította ezután a gömböket, nem volt változás. Permanens kis mágneseket tett a gömbök helyére, azok sem mozdították ki a kart nyugalmi helyzetéből. Vizsgálta a torziós szál lehetséges kifáradását. Ekkor sem talált számottevő eltérést. További hat hibaforrás hatását vizsgálta igen alaposan.

⁷ A kiterjedt Eötvös-irodalomban sehol sem láttam olyan térképet, amelyen József svábhegyi villája vagy Loránd pestlőrinci háza név szerint szerepelt volna.

⁸ Én egyszerűen csak arra gondolok, hogy Cavendish minden igyekezte ellenére a vonzó gömbök két szélső helyzete nem volt geometriailag tökéletesen szimmetrikus, azaz a mérés szempontjából felcserélhető. (a szerző)

A gömbök vonzerejének egy része a kart és a golyókat gyorsítja. Az Eötvös Egyetemen a gravitációs állandó demonstrációs mérésekor éppen ezt a gyorsulást mérik, abból számolnak. Feltételezik, hogy induláskor a torziós szál visszahúzó ereje jó közelítéssel még zérusnak vehető.

Cavendish számításokkal követte a gömbök karra, illetve a távolabbi golyóra gyakorolt hatását. Ez utóbbi esetben így jellemezte a hibát: 0,9983:1.

Megvizsgálta a gömböket felfüggesztő rézrúd hatását, itt a hibára 1,0199:1 arányt talált.

Külön függelékben, négy teljes oldalon közölte a doboz golyókra gyakorolt hatását.

Amint az a számításokból látszik, bár nem elhanyagolhatóak, de nem lényegesek a fenti hatásokból eredő hibák. Az viszont komoly hibaforrás – írja Cavendish –, hogy lengés közben változik a vonzó gömbök golyókra gyakorolt hatása, s ez hatással van a lengésidőre. Az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben Bartha György és munkatársai az 1990-es években úrrá lettek ezen a problémán. A lengő kar számára toroid alakú vonzó tömeg belsejében biztosították a homogén gravitációs teret.

Cavendish igen jelentős kémiai eredményeket ért el, azonban, mint említettük, a tömegvonzási erő gondos kimérését s ezzel a Föld sűrűségének pontos meghatározását tartják legnagyobb érdemének.

Cavendish-bibliográfia

1. Three Papers Containing Experiments on Factitious Air. (I. Containing Experiments on Inflammable Air. II. Experiments on Fixed Air, or that Species of Factitious Air, which is Produced from Alcaline Substances, by Solution in Acids or by Calcination. III. Containing Experiments on the Air, produced by Fermentation and Putrefaction.) *Phil. Trans.* 56 (1766) 141–184.
2. Experiments on Rathbone-Place Water. *Phil. Trans.* 57 (1767) 92.
3. An Attempt to Explain Some of the Principal Phaenomena of Electricity by means of an Elastic Fluid. *Phil. Trans.* 61 (1771) 584–677.
4. An Account of some Attempts to Imitate the Effect of the Torpedo by Electricity. *Phil. Trans.* 66 Part I. (1776) 196–225.

5. An account of the Meteorological Instruments used at the Royal Society's House. *Phil. Trans.* 66 (1776) 375.
6. The Report of the Committee of the Royal Society to Consider of the Best Method of Adjusting the Fixed Points of Thermometers, and of the Precautions Necessary to be used in Making Experiments with these Instruments. *Phil. Trans.* 67 (1777) 816.
7. An Account of the new Eudiometer. *Phil. Trans.* 73 (1783) 106.
8. Observations on Mr Hutchins's Experiments for Determining the Degree of Cold at which Quicksilver Freezes. *Phil. Trans.* 73 (1783) 303.
9. Answer to Mr Kirwan's Remarks upon the Experiments on Air. *Phil. Trans.* 74 (1784)
10. Experiments on Air. *Phil. Trans.* 74 119. (1784)
11. Experiments on Air. *Phil. Trans.* 75 372. (1785)
12. An Account of Experiments made by Mr John McNab at Henley House, Hudson's Bay, relating to Freezing Mixtures. *Phil. Trans.* 76 (1786) 241.
13. An Account of Experiments made by Mr John McNab at Albany Fort, Hudson's Bay, relative to the Freezing of Nitrous and Vitriolic Acids. *Phil. Trans.* 78 (1788) 166.
14. On the conversion of a Mixture of deflogisticated and phlogisticated Air into nitrous Acid by electric Spark. *Phil. Trans.* 78 (1788) 261.
15. On the Height of the Luminous Arch which was seen on Feb. 23. 1784. *Phil. Trans.* 80 (1790) 101.
16. Experiments to determine the Density of the Earth. *Phil. Trans.* 88 (1798) 469–526.
17. On an Improvement in the Manner of dividing astronomical Instruments. *Phil. Trans.* (1809) 221.

Irodalom

1. James Gerald Crowther: *Scientists of the industrial revolution: Joseph Black, James Watt, Joseph Priestley, Henry Cavendish*. Cresset Press, London, 1962.
2. A. J. Berry: *Henry Cavendish, his life and scientific work*. Hutchinson, London, 1960.
3. Frederick Seitz: Henry Cavendish: Catalyst for the Chemical Revolution. *Proc. Am. Philos. Soc.* 148 (2004) 151–176.
4. Isobel Falconer: Henry Cavendish: the man and the measurement. *Measurement Science and Technology* 10 (1999) 470.
5. Cavendish, Henry a KFKI História rovatában (forrás: Britannica Hungarica) <http://www.kfki.hu/physics/historia/localhost/webdok.php?nanev=cavendish>
6. Simon Schaffer: Cavendish, Henry (1731–1810). *Oxford Dictionary of National Biography*. Oxford University Press, Sept. 2004; online edn, Oct 2007. <http://www.oxforddnb.com/view/article/4937>

PÁLYÁZATOK

A 2010. ÉVI ÖVEGES JÓZSEF DÍJ PÁLYÁZATI FELHÍVÁSA

A Magyar Nukleáris Társaság Elnöksége az iskolai fizikaoktatás kísérletes jellegének erősítésére és a kísérletező fizikatanárok elismerésére 2006 márciusában *Öveges József Díjat* alapított. Az Öveges Díj egy bronzból készült kispasztika (*Farkas Pál* szobrászművész munkája), a díj elnyerését tanúsító oklevél, valamint 2010-ben 200 000,- Ft egyszeri tudományos ösztöndíj. A díjat iskolában oktató fizikatanárok nyerhetik el, az általuk benyújtott pályázat alapján. A Díj

Alapító Okirata a következő címen olvasható az Interneten: http://www.reak.bme.hu/mnt/Ovegesdij/Oveges_Alapokirat.htm.

A részletes pályázati kiírás megtekinthető és pdf-ben letölthető a <http://mnt.kfki.hu/index.php?contentid=1499&lag=hu> webhelyen.

Ez úton hívjuk fel a fizikatanárokat, pályázzanak az órákon bemutatott (tanári vagy tanulói) kísérletekkel!
Sükösd Csaba, a Kuratórium elnöke

BOLYAI ZENTÁN

II. Kárpát-medencei tehetséggondozó kémiatábor és konferencia, 2010. március 19–21.

Tömpe Péter

EGIS Gyógyszergyár Nyrt.

Kémikus kortársaimhoz hasonlóan, érdeklődő hallgatóként, előadóként, vagy egyesületi szervezőként, évente 5-10 szakmai előadáson veszek részt. Gyógyszerészi kémiával és gyógyszer-analitikával foglalkozó vegyészmérnökként teljesen tapasztalatlan vagyok a középiskolás kémiaoktatást terén. Ezért (is) ér néhány meglepetés a szaktanárok és diákok gondjainak és örömeinek megismerésekor.

Az Magyar Kémikusok Egyesülete Intéző Bizottsága tagjaként jobbra a *Középiskolás Kémiai Lapok* (KÖKÉL) szerkesztési és kiadási problémáit és az integrált természettudományos, *science típusú* oktatás bevezetésével kapcsolatos polémiákat ismerem és nem kötelességtudatból, hanem aggódó érdeklődéssel olvasom el az e témával foglalkozó publikációkat. Legutóbb Papp Sándor és Szalay Luca cikkét a Magyar Kémikusok Lapjában.¹

A szerzők véleményét osztva, attól némileg befolyásolva indultam a március 19. és 21. között megrendezésre kerülő, II. Kárpát-medencei Kémiatáborba, Zentára, Szórád Endre vegyészmérnök kolléga és kémia-fizika szakos tanár (1. ábra) meghívására.

Egy ilyen táborozástípusú szakmai rendezvényre történő meghívás, különösen, ha az a tehetséggondozással, szűkös anyagiakkal, de bőséges belső értékekkel bíró családok tizenéves gyermekeinek segítségével függ össze, még a profitorientált vállalatok vezetőit is megérinti. Így az EGIS Nyrt. kutatási igazgatója ajándékként a legújabb (és legszínvonalasabb) általános kémiakönyvet is elvihettem a zentai gimnázium kémia szakkörének.²

A „Kárpát-medenceiség” és a tehetséggondozás gondolata különös, talán meghatározó hangulatot kölcsönzött a konferenciának. Ezt egy röpké epizóddal érzékeltethetem: a tábor másnapján, egy előadás közben a mellettem ülő székely iskolaigazgató a következ-

zőket súgta kémiatanár kollégájának: „nézd, azt a gyermeket, a második sor szélén... már többször észrevettem... hogy csillog a szeme, hogy figyel, menyire látszik rajta az érdeklődés... de jó lehet ilyen gyerekeket tanítani...”³

Néhány illúzióvesztett, ideges, pesti pedagógusnak kellett volna hallania ezeket a szavakat, valamint a gimnázium tanári szobájában megtartott bemutatkozó értekezlet gondolatait. A kollégisták által átadott kollégiumi szobák emeletes ágyainak elfoglalása után ugyanis a tanári szobában gyűltek össze a vendéglátók és meghívottak. A közös cél – a tehetséges diákok kiválasztása, oktatásuk módszertani ötletei és a diákversenyek rendszerének szervezése – régi ismerőssé tette a távolról összekerült kartársakat és előadókat. A határon túliság, a nehéz pedagógussors, az elismertség hiánya, a mellőzöttség szoba sem került. A tanárok tanítványaikkal foglalkoztak: a tanulók tudásbővítésének és világtudásának fejlesztésével, a laboratóriumi gyakorlatok témáival, a szemléltető kísérletekkel, a demonstrációs ötletekkel, valamint a tankönyvekkel és a tantervekkel.

Az előadók nem előadni, hanem tanítani akartak, és a gimnazisták közé visszaülve ők is új ismeretet szerezni a következő előadótól. No meg kísérletezni is újra, amire Jarosievitz Zoltán, az Elektrotechnikai Múzeumból kínálta a legjobb lehetőséget. Jarosievitz tanár úr természetesen egy „Van de Graaf”-generátorral érkezett és sok szellemes, meglepő demonstrációs eszközzel. Előadása és a diákokkal közös kísérletezésélménye alól még a BME tanszékvezetője, Sükösd Csaba atomfizikus sem tudta kivonni magát. A megismerés és tudás öröme mindenkit megérintett. Sükösd Csaba a CERN gyorsítóinak világát, majd az anyag- és atomszerkezet, valamint a mikrovilág – csak közvetett módon vizsgálható – izgalmas részleteit ismertette meg a hallgatósággal. A teremtésközelbi fizikai (kozmológiai) események kronológiája már szabad teret adott az ifjú fantáziának is.

Praktizáló szaktanárként és a neveléstudományt művelő szakértőként Jarosievitz Beáta tartott látványos előadást a tehetséges általános és középiskolás tanulók kiválasztásáról és azokról a nemzetközi projektekről, amelyekkel – bevonva a kutatásokba – segít fel a fiatalok érdeklődését.

³ Dimény János, a Kovászna megyei Baróti Szabó Dávid Iskola-központ igazgatója szavai.

¹ Papp Sándor: Kémia és társadalom. *Magyar Kémikusok Lapja* 65/3 (2010) 81–82.

² Simig Gyula, az EGIS Nyrt. kutatási igazgatója és Volk Balázs kutatási főosztályvezető nem csupán szakmai, hanem anyagi segítséget is nyújtanak az átlagon felüli érdeklődésű és tudású diákoknak.



1. ábra. A Kárpát-medencei Kémiatábor alapító tanára, Szórád Endre.



2. ábra. A 2008. évi EGIS Innovációs díjjal jutalmazott, egykori bolyais Gleszer Erik, már mint szegedi egyetemista szervezte meg a vajdasági Óbecsén megtartott Than-napokat. Az ünnepnapra készült plakát és postai levelezőlap.

középiskolást hamarosan a Gyógyszerész Kar növendékei között láthatunk viszont.

Jómagam a gyógyszerkutatásban alkalmazott fizikai-kémiai vizsgáló módszerekről és az elektrokémiai érzékelőkről beszéltem. A tiszta tekintetű, vidám diákok érdeklődő figyelméül először kissé zavarba ejtett, majd megérezttem, hogy ez a legfontosabb dolog, amiért érdemes volt felkészülnöm és eljőnnöm. Ezért érdemes pedagógusnak lenni...

A vendéglelőadókát követően már az igazi táborozás

Csanádi János, az Újvidéki Egyetem szerves kémikus egyetemi docense elméleti szerves kémiai témát mutatott be az átlagon felüli érdeklődésű hallgatóságnak: Oláh György Nobel-díjasunk életművéből a karbonationok képződését és azok reakcióit, valamint szerkezetük igazolását magyarázta el. Az ugyancsak vajdasági születésű Gleszer Erik következett, aki egyúttal házigazdának is számítható, mivel két évvel ezelőtt még maga is a zentai Bolyai Tehetséggondozó Gimnázium és Kollégium diákja volt, ma a Szegedi Tudományegyetem hallgatója. És tanulmányai mellett tudomány- és gyógyszerészet-történettel is foglalkozik. Utóbbi témában a vajdasági Óbecse szülöttéről, Than Mór festőről (az első magyar bélyeg és Kossuth-bankó grafikus tervezőjéről) és Than Károlyról (a magyar nyelvű kémiaoktatás megeremtőjéről és kiemelkedő tudományszervezőről) tartott előadást (2. ábra).

A kémiaszakos diáklányok és tanárnők különös figyelemmel hallgatták a metabolizmus és farmakokinetika területéhez kapcsolódó legutóbbi tudományos eredményeket, amelyek a gyógyszer-étel interakciókról és a tápanyagok hasznosításáról (elméleti fogyasztók módosításáról) is szóltak. Klebovich Imre professzor, a Semmelweis Egyetem tanszékvezetője előadásának hatására bizton állíthatjuk, hogy néhány

következett, közös részvétellel, diákkísérletekkel és vetélkedőkkel: a szomszédos Palics foglalkozásvezető kémiatanára, Hajnal Zsuzsanna a növények savtartalmának vizsgálatáról tartott bemutató kísérletet; a közeli Stevan Sremac – Thurzó Lajos iskola kémiatanára, Urbán Hodik Marianna az elemek periódusos rendszeréről tanított, végül a kémia sava-borsát adó látványos kísérleteket Szórád tanár úr irányításával végezheték a vállalkozó kedvűek.

A háromnapos konferencia levezető elnöke és egyik házigazdája, Szórád Endre volt a legjobb határon túli kutatótanár, a 2009. évi „Év Mentora” díj kiemelt díjazottja, aki (a díjátadás indoklása szerint is) „mágnesként vonzza magához a diákokat korszerű gondolkodásával és végtelen lelkesedésével”. Másik házigazda az ugyancsak kémiatanár Gajda Andrea volt, sok versenygyőztes gimnazista támogatója. A 2003-ban – a Bolyai Alapítvány⁴ segítségével – alapított zentai iskola igazgatója, Gajda Attila kiváló, fiatal tanári kart vezethet, akiknek tanítványairól többen fogunk hallani a jövőben. Mert ez a pedagóguspálya (szomorkás) törvénye: a tanítványok híresebbek lesznek tanítójuknál.

⁴ Bolyai Farkas Alapítvány a Magyarul Tanuló Tehetségekért, 24400 Senta (SCG) Posta utca 18.; www.bolyaigimi.org

AZ EGRI VARÁZSTORONY MISKOLCON DEBÜTÁLT

Vida József
Eszterházy Károly Főiskola, Eger

A Miskolci Egyetem meghívására kísérleti bemutatót tartottunk a borsodi megyeszékhelyen, a tízéves fennállását ünneplő Kocsonyafesztivál alkalmából. Háromfős csapatunk (Vida József, Ujfaludi László és Zoller Gábor) vendégszereplése két napig tartott (február 19. és 20.) az egyetem által szervezett Laborvarázs – Interaktív Természettudományi Játsszóbáz nevű program részeként. A rendezvény helyszíne egy elhagyott, de igen tetszetős, szecessziós stílusban épült banképület belső fogadótere volt Miskolc főutcáján.

A fesztivál óriási tömeget vonzott a városba, a főútcán igazi vásári hangulat uralkodott, rengeteg árus lepte el az egész környéket és éjjel-nappal hömpölygött az emberáradat. A banképületben rajtunk kívül az egyetem interaktív bemutatói és sokféle kézműves program várta a látogatókat. A kísérleti bemutatók mellett erre az alkalomra elhoztuk Fényjelenségek természetfotókon és képzőművészeti alkotásokon című kiállításunk tablóját is, amelyeket a bank előcsarnokában állítottunk ki.



Nahát, ez igazán érdekes! (Newtoni bölcso)

A kezdet nem adott okot bizakodásra, az épület elé helyezett csalogató tábla nem hatott a sétáló tömegre. Épp ott álldogáltam, amikor egy igen elegáns úr érkezett oda néhány (nem kevésbé elegáns) kísérőjével és, mint a társaság szóvivője, hangosan olvasta a tábla feliratát:

„Kézműves játszóház, ajándéktárgy készítés
Érdekségek a kémia, a számítástechnika,
az energetika, az ásványtan és
az egészségtudomány területéről.

Varázstorony – interaktív fizikai kísérleti bemutató.”

Nahát – csapta össze tenyerét emberünk – „Ez igen! Ennyi mindent egy helyen! Ez túl sok nekünk!” Így aztán az egész elegáns társaság elkanyarodott és a közeli zenés utcai bábjáték felé vette az irányt. Nekem is kétségeim támadtak, talán túl sok mindent zsúfoltunk össze egy helyen. A fesztivál közönsége – a bőség zavarában – egyébként is nehezen tud választani a sok program közül; lesz-e közönségünk?

Aggodalmam feleslegesnek bizonyult. Nemsokára áramlani kezdett a tömeg a banképület belsejébe, sok felnőtt és még több gyerek érkezett a mi kísérleti bemutatónkhoz is, végül már-már kevésnek bizonyult háromfős csapatunk. A sláger itt is, mint Egerben, a hőlégballon, a gyertyaoltó légágyú és a Lenz-ágyú volt, de szorgalmasan próbálgatták a gyerekek a többi kísérleti eszközünket is. Közben sok érdekes eszmecsere folyt a látogatókkal. Jött egy vasutas-fotóművész, akit elbűvölt a plazmagömb, szebbnél szebb fotókat készített róla, ketten is segédkeztünk neki, hogy egy esernyővel leányékoljuk a zavaró háttérfényeket, azután beszélgettünk: kiderült, hogy egész



Tessék nekem elmagyarázni, hogyan működik! (Lebegő földgömb)

sok közös ismerősünk van. Jött az operett-énekesnő (mellesleg az egri főiskolára jár – hiába, manapság több lábon kell állni...) gyönyörű kicsi lányával, akit alig lehetett elcsalogatni a hőlégballontól. Azután két fiatalembernek magyaráztam a „gondolkodó” golyósor működését, hogy tudniillik azért ugrik el a túloldalon ugyanannyi golyó, ahányat az innenső oldalon ütköztetünk, mert egyidejűleg csak így teljesülhet az energia- és az impulzus-megmaradás törvénye. Tágra nyílt szemmel figyeltek, majd egyikük szinte szégyellően mondta, hogy ő sajnos „csak” egy mezőgazdász, de tisztában van azzal, hogy a fizika nagyszerű és „valami nagyon alapvető” dolog, sajnálja, hogy nem ért hozzá. Bízattam, hogy mezőgazdászként is sok mindent megtudhat a fizika szépségéről, csak fogjon bele bátran. Mindhármunknak feltűnt, hogy hiányzik egy korosztály a látogatók népes csoportjából: a gimnazisták. Pont azok, akik a szakmai utánpótlás szempontjából a legfontosabbak lennének. Miért? A kérdésre sok tudományos elemzés alapján tudjuk már a választ, mégis nehéz beletörődni.

A kísérleti bemutatók, mint az ünnepek különleges csemegéje? Bizarr és titokzatos színfoltok egy fesztiválon? Igen, talán mind a kettő. De tudjuk, hogy az ilyen bemutatók sikerét nem szabad komolyan venni, hiszen ezek a fizika leginkább populáris oldalát mutatják meg, innen még hosszú, rögös az út az „igazi” fizikához.

Ütközben hazafelé azért mégiscsak reménykedtünk: talán újra eljön az idő, amikor a fizika nemcsak az ünnepek egzotikus mutatványa lesz, hanem sok fiatal hétköznapi hivatása is. Úgy, mint régen.

Biztos, hogy fel fog repülni? (Hőlégballon)



Nincs is olyan messze az Avas. (Földi távcsövezés)



VILÁGHÍRŰ TUDÓSOK JELENRŐL ÉS JÖVŐRŐL

12 TUDÓS A 21. SZÁZADRÓL – főszerkesztő Szemenyei István

Tinta Könyvkiadó, Budapest, 2009. 136 oldal

Tizenkét interjú neves tudósokkal – köztük három Nobel-díjassal – a világ különböző tájairól, akik aktív kutatók, hatalmas kutató intézetek, kutatási programok és az egész világra kiterjedő tudományos szervezetek vezetői. Csaknem minden interjúnak más-más kérdezője volt, általában olyanok, akik legtöbbször maguk is elismert szakemberek, jelentős ismeretekkel a kérdezett tudományterületen. A kérdések minden egyes tudós esetében hasonló jellegűek voltak.

A kérdezett pályájára, szakterületének legutóbbi kiemelkedő eredményeire és megoldatlan problémáira, az emberiség égető kérdéseire, az elmúlt és a jelen század kutatási stílusának és módszereinek különbségére, valamint a tudomány és a társadalom viszonyára irányultak. Az interjúk a 4. World Science Forum alkalmából készültek, amelyet 2003 óta a Magyar Tudományos Akadémia kezdeményezésére kétfévente tartanak Budapesten. A kötet elé *Pálinskás József*, a Magyar Tudományos Akadémia elnöke írt előszót.

Az interjúalanyok közül öt fizikus, illetve asztrofizikus – *Barabási Albert-László*, Northeastern és Harvard Egyetem, USA; *Catherine Bréchnignac*, a CNRS elnöke, Franciaország; *Catherine Cesarsky*, a Nemzetközi Csillagászati Unió volt elnöke, Franciaország; *Mohamed H. A. Hassan*, az Afrikai Tudományos Akadémia elnöke, Kenya és *Rolf-Dieter Heuer*, a CERN főigazgatója, Svájc –, egy matematikus – *Lovász László*, a Nemzetközi Matematikai Unió elnöke, Magyarország –, kettő kémikus, illetve biokémikus – *Werner Arber*, az ICSU volt elnöke, Nobel-díjas, Svájc; *Ahmed H. Zewail*, a California Institute of Technology professzora, USA, Nobel-díjas –, kettő a mérnöki tudományok művelője – *Lu Yongxiang*, a Kínai Tudományos Akadémia elnöke, Kína; *Pavlics Ferenc*, a NASA munkatársa, a holdautó tervezője, USA – és végül egy pszichológus – *Csikszentmihályi Mihály*, a kaliforniai Quality of Life Research Center igazgatója, USA – és egy agykutató – *Erwin Neher*, Max-Planck Biofizikai és Kémiai Intézet, Németország, Nobel-díjas – volt. Közülük tízen a fejlett országokban dolgoznak (tízből viszont egy Egyiptomból származik) és a tizenkettőből kettő a női kutató.

Egyáltalán nem meglepő, hogy a legkülönbözőbb országokban élő és tudományszakokban dolgozó tudósok véleménye számos vonatkozásban mennyire megegyezik a különböző kérdések esetében. Nézzünk e kérdések közül egyet-kettőt.

A *mai világ legégetőbb kérdésének* Werner Arber a túlnépesedést, a szegénységet, Barabási Albert László a szegénységet, az éhséget, az energia- és vízhiányt, Catherine Bréchnignac bolygónk túlnépesedését, Catherine Cesarsky a háborús fenyegetést, a nyomort, az oktatás hiányát, a környezetszennyezést és a klímaváltozást, Mohamed H. A. Hassan a szegénységet, a fertőző betegségeket, a klímaváltozást, a pénzügyi válságot, a víz- és az energiahiányt, valamint a biodiverzitás fenyegetettségét, Lovász László a fejlődő országok támogatását, Lu Yongxiang a fenntartható fejlődést, a globális felmelegedést, az egészségügy fejlesztését, az energiakérdést, a tiszta víz biztosítását, a környezetszennyezést, a természeti katasztrófák elleni védelmet és a közbiztonságot, Erwin Neher a környezetszennyezést, az éghajlatváltozást, a háborús konfliktusok és a terrorizmus kezelését, valamint a gazdasági válságot, Pavlics Ferenc az ésszerű gazdálkodást az erőforrásokkal, a népesedési problémákat, az energia és az élelem biztosítását, a környezet-szennyezést és a globális felmelegedést, Ahmed H. Zewail a békés egymás mellett élést, az oktatás széleskörű biztosítását, a szegénységet, az energia biztosítását, a migrációt, a klímaváltozást, az élelmiszer- és vízhiányt, a járványokat és az atomfegyvereket tartja.

A *20. és 21. század tudománya közötti különbséget* Werner Arber az egyre kisebb és egyre távolibb objektumok vizsgálatában, Catherine Bréchnignac a kollektív jelleg előtérbe kerülésében, a számítógépes szimuláció felhasználásában és irdatlan adattömeg kezelésében, Mohamed H. A. Hassan a számítógép és az internet felhasználását a kutatásban, Lovász László a komputer által kiváltott fejlődést az alkalmazott matematikában, Lu Yongxiang a tudomány és az innováció szorosabb kapcsolatában, továbbá az új kutatási eszközök széles körű alkalmazásában (vákuumtechnológiák, pásztázó alagútmikroszkóp stb.), valamint a számítógép-hálózatok és tudományos kapcsolatok intenzívebb kihasználásában, Pavlics Ferenc az internet és a nagyteljesítményű számítógépek felhasználásában, Ahmed H. Zewail az inter- és multidiszciplináris megközelítés előtérbe kerülésében és az egyre szűkebb területre specializálódásban látja.

Arra a kérdésre, hogy *szakterületén* mit tart a *közel múlt legnagyobb felfedezésének* és mit tart ott és általában is a *legfontosabb tudományos kibívásoknak*, a következő válaszok születtek. Catherine Cesarsky az exobolygók, azaz a Naprendszeren kívüli,

más csillagok körül keringő bolygók felfedezését és az Univerzum gyorsuló tágulását, valamint az ennek megfelelő sötét energia létezésének a felismerését említi és ez utóbbi természetének tisztázását tartja az elkövetkező idő legnagyobb feladatának. A saját tudományterületét tekintve Csíkszentmihályi Mihály szerint „a pozitív pszichológiának fontos szerep jut egy olyan élet felvázolásában, ahol nem az anyagi hatalom és birtoklás, a tulajdonlás körül forog minden, s amely alternatív élet ugyanakkor izgalmas, kreatív és kielégítő”. Mohamed H. A Hassan a következő időszak kihívásának tartja, „hogyan tudományos megoldást találunk a vizet, energiát, egészséget, mezőgazdaságot és biodiverzitást..., valamint klímaváltozást érintő összetett fenntarthatósági problémákra”. Rolf-Dieter Heuer a legnagyobb eredmények között tartja számon a world wide web felfedezését és továbbfejlesztését, gridet, amely messze túlmutat a részecskefizika területén, az „információcsere forradalmát hozta, Gutenberg óta a legnagyobbat”, saját szakterületén pedig a részecskefizika Standard modelljét. A kihívások között említi, hogy a Világmindenség anyag- és energiataralmának csak mintegy 5%-át ismerjük úgyahogy, a sötét anyag és energia esetében csak létezésükről tudunk. Rejtély az anyag és antianyag aránytalansága is az Univerzumban, és a Standard modellnek is komoly hiányosságai vannak. Lovász László a matematika legnagyobb hatású felismerései egyikének tartja az algoritmusok (számítási eljárások) matematikai jellegű vizsgálatát, továbbá a véletlen módszerek előtérbe kerülését. Az egyik legfontosabb kutatási prioritásnak tekinti az élet megértését matematikai eszközökkel. „A rendszer, amelyet szeretnénk megérteni, egymással kölcsönhatásban lévő diszkrét elemekből áll: sejtekből, idegsejtekből, esetleg állatok, növények halmazából. Közöttük a kölcsönhatásokat bonyolult hálózat írja le, amely matematikailag egy óriási nagy gráfnak tekinthető. S akkor újra előttünk a kérdés: ez a hálózat miként működik, milyen a szerkezete?” Egy ennél közelebbi feladat az algoritmuselmélet egyik alapkérdésének eldöntése, éspedig egy

matematikai eljárás jóságának ellenőrizhetősége. Lu Yongxiang mérnök lévén a legnagyobb eredmények között az áramlástan elméletében és a rá vonatkozó mérésekben elért áttöréseket említi, a megoldandó problémák között is gyakorlati jellegűeket sorol fel: a megújuló energiák kifejlesztése, a fenntarthatóság új módjainak felfedezése, a vízhiány és a klímaváltozás kérdéseinek megoldása. Erwin Neher a tudományos felfedezések között elsősorban saját Nobel-díjas eredményéről szól: egy új, úgynevezett „patch-clamp” membrán-fiziológiai technikáról van szó, amely lehetővé teszi az ion-csatornában a kis elektromos áramok tanulmányozását. A kihívások között első helyre az agy működésének megértését teszi és ezen túlmenően önmagunk megértését, azt, hogy „kik vagyunk, mit gondolunk, miként működik az élet, szerveink hogyan funkcionálnak, mi a működési elvük a minket körülvevő organizmusoknak”. Pavlics Ferenc a legnagyobb tudományos eredményeket az űrkutatásban elérték között látja: sikerült műholdakkal, műszerekkel megvizsgálni a Naprendszer minden bolygóját, számos holdját. A kihívások a Föld, a Nap, a Mars jobb megismerését jelentik az űreszközökkel, az emberi tartózkodás feltételének megteremtését a Holdon. Ahmed H. Zewail a komplex rendszerek kialakulásának és viselkedésének megértését emeli ki, továbbá a négydimenziós mikroszkópia megteremtését (az események időbeli követésével), de az Ősrobbanásra, a genomszekvenciák további felderítésére, az agyműködés értelmezésére és a molekuláris orvostudomány megszületésére vonatkozó eredményeket is nagyon fontosnak tartja. A jövő kutatásoknak a fehérjemolekula „jó és rossz” viselkedésére kell választ keresniük (ha „rosszul” gombolyodik, az például Alzheimer-kórhoz vezet), továbbá a gének molekuláris kezelésére, de az is kérdés, hogy a nanoszerkezetek viselkedésének megértéséhez „szükség van-e új fizikára”.

Ha valaki végigolvassa a könyvet bizonyos értelemben új fényben látja nem csak a ma és a jövő tudományát, de mai és jövőbeli életünket, világunkat is.

Berényi Dénes

HÍREK – ESEMÉNYEK

HÍREK ITTHONRÓL

Kitüntetések

2010. március 27-én a *Babeş-Bolyai Tudományegyetem* (BBTE) *díszdoktorává* avatták a Magyar Tudományos Akadémia debreceni Atommagkutató Intézetének professzorát, *Berényi Dénest*.

„A fizikának szüksége van olyan tág látáskörű, az újdonságokra nyitott szakemberre, mint Berényi Dénes, aki szervezési készségével, munkabíráásával, a kolozsvári és debreceni fizika egyetem közötti együtt-

működés elősegítésével, a fejlesztésében játszott jelentős szerepével kiérdemli az egyetem legrangosabb akadémiai kitüntetését” – jelentette ki *Nagy László* az egyetem főépületében tartott díjátadó ünnepségen.

A BBTE Fizika Karának dékánhelyettese szerint az atomfizikus hozzájárult a kolozsvári fizikushallgatók képzéséhez, a fizika szak fejlődéséhez. Berényinek köszönhetően számos közös konferenciát, kutatást szerveztek a Debreceni Egyetem és a Babeş–Bolyai Egyetem, illetve e két egyetem karai.



A finn köztársasági elnök asszony, *Tarja Halonen* által odaítélt *Finn Oroszlán lovagrend parancsnoki érdemrendjét Jari Vilén* nagykövet úr 2010. április 20-án adta át *Kroó Norbert* professzor úrnak.

Kroó professzor kutatási területe többek között a neutronfizika, az optika és a lézerfizika. Ezeken a területeken együttműködést folytatott a Műszaki Főiskolával, a Helsinki Egyetemmel és az Állami Tudományos Kutatóintézettel.

Kroó professzor úr érdemeit korábban a Helsinki Egyetem díszdoktori címével is elismerték.

HÍREK A NAGYVILÁGBÓL

Kvantumos repedés a kriptográfia páncélján

A kvantum-kriptográfia egyáltalán nem legyőzhetetlen, amint azt sok kutató gondolta: egy kereskedelmi forgalomban kapható kvantumkulcsot első ízben sikerült hackereknek feltörni.

Elméletben a kvantum-kriptográfia – kvantumrendszerek felhasználása információk titkosítására – tökéletesen biztonságos. Azt a tényt használja ki, hogy lehetetlen egy kvantumrendszeren mérést végezni anélkül, hogy állapotát megzavarnánk. Vagyis ha két ember egy közös kvantumkulcsot használ az információ titkosítására, egy harmadik személy nem juthat annak birtokába anélkül, hogy észrevehető hibákat keltsen, amelyek

a kulcsok összehasonlításánál azonnal jelzik a próbálkozást. A valóságban azonban nem létezik tökéletes kvantum-kriptográfiai rendszer, mivel a környezet zaja óhatatlanul behatol a rendszerbe. Kvantumfizikusok kiszámították, hogy ha a két felhasználó személy kulcsa közötti különbség 20% alatt marad, akkor a rejtjelezés biztonságos. Ezzel szemben *Hoi-Kwong Lo* kvantumfizikus és kollégái a Toronto Egyetemen, Ontarióban feltörték egy kereskedelmi forgalomban kapható titkosító rendszert – amelynek gyártója a genfi székhelyű ID Quantique – úgy, hogy a bűvös 20% határ alatt maradtak.

(<http://www.americanscientist.org/>)

A Pentagon a kutatási pénzeket átirányítja az alkalmazott kutatásokra

Egy tudományos tanácsadó csoport azt találta, hogy a Védelmi Minisztérium (Department of Defense, DOD) az alap kutatásra szánt pénzek jelentős részét rövidtávú alkalmazott kutatási projektekre fordítja, és ezzel gyengíti az ügynökség tudományos profilját. „Úgy látjuk, hogy a DOD alap kutatási programjának legfontosabb szempontjai megsérültek” – állítja a tanulmány, amelyet a független JASON-csoport adott ki az elmúlt évben, de a Pentagon csak nemrég hozott nyilvánosságra, miután az Amerikai Tudósok Szövetsége (Federation of American Scientists) az információ szabadsága törvényre hivatkozva kérte azt.

Ismerve a hadsereg igényeit, nem meglepő, hogy a DOD 13,5 milliárd dolláros tudományos és műszaki fejlesztési költségvetésének túlnyomó részét alkalmazott

zott kutatásra és műszaki fejlesztésre költi. Csupán 1,9 milliárd dollár, a teljes keret 15%-a jut alap kutatásokra. Amikor azonban a JASON-tanulmány szerzői 258 alap kutatási projekt leírását megvizsgálták, kiderült, hogy sok program nem teljesíti az alap kutatások Pentagon által megszabott feltételeit. Például az egyik projekt „ismeretlen üreszközök jellemzése optikai és radarvizsgálattal” témával foglalkozott, míg egy másikban számítógépes programokat szándékoztak fejleszteni légi fegyverzetekhez.

A tanulmány szerint „az alap kutatásokra fordítható támogatást inkább a közvetlen rövidtávú igények kielégítésére fordították, ez pedig az alap kutatások kárára történt, ellentétben a DOD céljaival és direktívaival”.

(<http://news.sciencemag.org/>)

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

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

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

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

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

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

Megjelenik havonta, egyes szám ára: 780.- Ft + postaköltség.

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

HÍREK AZ UNIVERZUMBÓL

A legtöbb csillag ikerként születik

A Spitzer-távcső segítségével a csillagászok először szereztek bizonyítékot arra, hogy sok – sőt lehet hogy a legtöbb – kettőscsillag azonos porfelhőből jön létre, ugyanúgy, ahogy az egyetűjű ikrek a Földön egyetlen embrióból válnak ketté. Úgy tűnik, hogy egyes protosztelláris ködök gyakran szabálytalan, hosszúka alakot öltenek és nem maradnak gömbszimmetrikusak. Ha ez történik, sokkal egyszerűbb a ködnek két, mint egyetlen csillagba kondenzálódnia. A Spitzer-

teleszkóp segítségével – amelynek infravörös érzékenysége révén be lehet látni a porháló belsejébe és nyomon lehet követni a csillagképződés folyamatát – a csillagászok azt találták, hogy 20 protosztelláris ködből 17 vett fel hosszúka, elnyújtott alakot. A fennmaradó másik három köd sem volt azonban gömb alakú. Ez magyarázatot kínál arra, hogy a Tejútrendszerben a legtöbb csillag miért kettőscsillag.

(<http://news.sciencemag.org>)

Jégrétegek a Hold északi pólusvidékén

Az indiai Chandrayaan-1 holdszonda mini-radar műszerével amerikai és indiai kutatók jelentős mennyiségű vízjelet mutattak ki a Hold északi pólusvidékén mintegy negyven kráter belsejében.

Az Indiai Űrkutatási Szervezet (ISRO) 2008. október 22-én útnak indított Chandrayaan-1 („Holdhajó”) űrszondája fedélzeti műszerei között működött egy Mini-SAR elnevezésű radarberendezés is, amit a NASA tudósai készítettek. A műszer a holdfelszín 99%-át végigpásztázta, a pólusvidékeken pedig a vízjég nyomai után kutatott.

A vízjég radaros kimutatása azon alapul, hogy a kibocsátott radarjelek polarizációját hogyan változtatja meg a jeleket visszaverő felszín. Az átlagos holdi talaj a radarhullámok cirkuláris polarizációját megfordítja, vagyis a felszínre érkező balról cirkulárisan polarizált jelet jobbra cirkulárisan polárossá alakítja. A vízjéggel borított felszín viszont az eredeti polarizációs irányt nagymértékben megtartja. Ez főleg amiatt van, mert a fagyott illóanyagok, így a vízjég átlátszóbb az elektromágneses

hullámok számára, mint például a regolit vagy egy törmelékeny felszín. Van azonban egy nagy nehézség: hasonló radarjelet ver vissza egy nagyon durva felszín is, például a fiatal holdkráterek belseje és környezete. Így tehát a holdkráterek esetében pusztán csak belsejük radarmérései nem adnak egyértelmű eredményt, meg kell vizsgálni a kráterek közvetlen környezetét is. Azoknál a krátereknél, amelyek belseje a radarpolarizáció alapján utal vízjégre, de a pereme nem, a vízjég jelenléte már egyértelmű – különösen igaz ez azokra a kráterekre, amelyekbe soha nem süt be a Nap.

A Hold északi pólusvidékén összesen mintegy negyven kráterben mutatták ki most a vízjelet. E kráterek többségének átmérője 1–15 km közötti, és a körülbelül 42 km átmérőjű Rozhdestvenskiy-kráter környékén fordulnak elő nagyobb számban. A NASA becslése szerint a Hold északi pólusát övező kráterekben akár több százmillió tonna, de legfeljebb 600 millió tonna vízjég lehet.

Tóth Imre

Segítsen Ön is a napviharok előrejelzésében!

A *Solar Stormwatch* program elindítója a nagyközönség segítségét is kéri a NASA napkutató műholdjainak adatalemzésében.

Bő tíz évvel ezelőtt indult útjára az azóta világhírűvé vált SETI@home kezdeményezés, amelynek célkitűzése az volt, hogy a földönkívüli civilizációk üzeneteire vadászó rádiótávcsövek által rögzített, egyre gyorsuló ütemben növekvő adatmennyiség feldolgozásába be lehessen vonni az internetet használó magánemberek számítógépeit is. Az ötlet kiváló volt, hiszen világszerte több millióan csatlakoztak a programhoz, s az így létrejött hálózat nagyobb számítási kapacitást biztosított bármely szuperszámítógépnél – ráadásul kifejezetten költséghatékony módon. A SETI@home (amelynek működtetési elvét később más területeken is alkalmaz-

ták) ugyanakkor csak passzív részvételt tesz lehetővé a felhasználók számára (a program képernyővédőként fut, tehát akkor dolgozik, amikor az illető éppen nem használja a számítógépét), magában az adatfeldolgozásban nem vesznek részt.

2006-ban a kutatói szféra még egy lépéssel közelített az amatőrcsillagászok és laikusok felé. A Stardust űrszonda két évvel korábban a Wild-2 üstökös kómájából gyűjtött mintát a kirepülő poranyagból, s ezt egy kapszulában juttatta vissza a Földre. A tudósok mindössze 1–2 mikrométer átmérőjű bolygóközi porszemcsék kimutatását tűzték ki célul, amit a mintagyűjtésre használt, körülbelül 1000 cm² felületű (azaz nagyjából egy közepes méretű műanyag tálcával egyező) aerogél anyagban kellett véghezvinni. Ráadásul a

feladathoz csak két nagy nagyítású, ám éppen ezért nagyon kicsi látómezejű mikroszkóp állt rendelkezésre, amelyek több millió felvételt készítettek a minta teljes lefedéséhez. Ezek átnézése sziszifuszi munkát jelentett volna a témával foglalkozó, néhány fős kutatócsoportnak, ezért a felvételeket az interneten is közzétették a Stardust@home program keretein belül, több ezer felhasználót bevonva a programba.

Nem sokkal később több hasonló projekt is elindult, elsősorban a nagy digitális égboltfelmérések adatfeldolgozásával kapcsolatban. Ezeket a kezdeményezéseket a Zooniverse nevű program fogja össze, amelyen belül az elmúlt 2–3 évben bárki bekapcsolódhatott például a rengeteg, újonnan felfedezett galaxis osztályozásába, kölcsonható galaxisok megfigyelésébe, vagy szupernóvák keresésébe.

A Zooniverse működtetőinek legújabb kezdeményezése (amelyben több más intézmény és szervezet, így a NASA és a Greenwich-i Királyi Csillagvizsgáló is részt vesz) a Solar Stormwatch (azaz napvihar-figyelő) nevet viseli. Az új alprogramhoz csatlakozó önkéntesek feladata az, hogy segítsék a kutatókat a NASA

2006 óta üzemelő, STEREO napkutató szondáinak adatfeldolgozásában. A szondapáros tagjai egyszerre, de más-más irányból fényképezik a Napot, így háromdimenziós látványt nyújtanak a Napon lejátszódó jelenségekről – például a koronakitörésekről (coronal mass ejection, CME) is. Ezek a hatalmas plazmabuborékok a heves napkitörések alkalmával, igen nagy sebességgel (1–2 millió km/h) hagyják el központi csillagunkat. A ledobódó plazmafelhők alkalomadtán a Föld térségét is elérhetik, s akár komolyabb problémákat is okozhatnak a műholdak, a távközlési rendszerek és az elektromos hálózatok működésében, valamint az űrállomás aktuális legénysége számára is kockázati tényezőt jelentenek.

A STEREO megfigyelései révén a koronakitörés mérete és sebessége a korábbiaknál jóval pontosabban becsülhető, így a Földet veszélyeztető napviharok előrejelzése is megbízhatóbb. A szondapáros felvételeinek folyamatos vizsgálata azonban elég nagy mennyiségű munkát jelent, így a kutatók a nagyközönség segítségét is kéri ebben.

Szalai Tamás

Idegenek a Tejútrendszerben

Egy új kutatási eredmény szerint a Galaxis gömbhalmazainak körülbelül huszonöt százaléka nem a Tejútrendszerben alakult ki, hanem más galaxisokból vándorolt be az utóbbi néhány milliárd évben.

A Tejútrendszer gömbhalmazairól – amelyek közül a kisebbek néhány tízezer, a legnagyobbak azonban több millió csillagot is tartalmaznak – már korábban is sejtették, hogy egy részük nem a Galaxisban alakult ki, hanem máshonnan származik. Az ausztrál *Duncan Forbes* (Swinburne University of Technology) és kanadai munkatársa, *Terry Bridges* alkotta szerzőpárosnak a Hubble-űrteleszkóp adatbázisait felhasználva most sikerült több halmaz korát és kémiai összetételét meghatározni, s ez alapján következtetni származásukra. Forbes szerint a nem a Tejútrendszerből származó gömbhalmazok a hasonló elemgyakoriságú

(fémtartalmú) „bennszülött” társaikkal összehasonlítva egyértelműen fiatalabbnak tűnnek. Az elemzés szerint a kintről jött gömbhalmazok aránya elérheti a 25 százalékot is, azaz a Galaxis pusztán ezekkel a gömbhalmazokkal több tízmillió csillaghoz jutott.

Az eredmény azt is sugallja egyben, hogy a Tejútrendszer története során több törpegalaxist kebelezett be, mint ahogyan azt eddig gondolták. Jelenleg három ilyen beszippantott kísértőt ismerünk, az egyik a SagDEG (Sagittarius Dwarf Elliptical Galaxy), a másik kettő pedig az Ursa Major I és II, ezeket 1994-ben, illetve 2005-ben és 2006-ban azonosították. Azóta csillagaik pozíciói és sebességeloszlása alapján már több gömbhalmazról kiderítették, hogy ezen törpegalaxisokból származhatnak. Forbes ezeket a gömbhalmazokat is megvizsgálta és kimutatta, hogy a rájuk vonatkozó kor-fémesség reláció szintén fiatalabbnak mutatja őket. Becslése szerint a Tejútrendszer 6–8 törpegalaxis befogásával összesen 27–47 gömbhalmazt szerezhetett az utóbbi néhány milliárd évben. Érdekes, hogy bár az akkréciós folyamatok során a törpegalaxisok fölbomlottak, és egyedi csillagaik elkeveredtek a Tejútrendszer többi csillaga között, gömbhalmazaik – nyilván a csillagaik közötti nagyobb gravitációs vonzás okán – túléltek ezt, és egyben maradtak. Forbes és Bridges eredménye egyrészt erősíti azt az elképzelést, hogy a Tejútrendszerhez hasonló óriásgalaxisok kisebbek bekebelezésével növekednek, másrészt a bennük található gömbhalmazok kor-fémesség relációi alapján lehetőség nyílt más galaxisok fejlődési történetének feltárására is.

Forrás: Astronomy Now Online
Kovács József

A Galaxis egyik tipikus gömbhalmaz, az M80 a Skorpió csillagképben. Az új eredmény szerint a Tejútrendszer 160 ismert gömbhalmazának körülbelül negyede más galaxisból származik. [NASA/The Hubble Heritage Team/STScI/AURA]





Természettudomány-tanítási fesztivál Magyarországon

Csodák Palotája – Budapest, Millenáris Park, 2010. október 2.

Fővédnök: Prof. Pálincás József akadémikus, az MTA elnöke

Védnökök: Prof. Falus András akadémikus, egyetemi tanár, SOTE

Prof. Csermely Péter egyetemi tanár, SOTE

Pályázhat minden fizika-, kémia-, biológiaszakos tanár vagy tanító, valamint határon túli, magyar nyelven természettudományt oktató tanár is, ha saját országa nem indít csapatot a 2011-es koppenhágai Science on Stage fesztiválra.

Pályázni lehet innovatív ötletekkel, kísérleti bemutatókkal, sikeresen megvalósított projektekkel, színpadi bemutatókkal, amelyek segítik a természettudományok tanítását, felkeltik a tanulók érdeklődését a téma iránt, motiválják őket ez irányú továbbtanulásra. A pályázati anyagnak a tervezett bemutató rövid – legfeljebb 2 oldalnyi – leírását kell tartalmaznia.

A pályázat beadási határideje 2010. július 15.

A pályázatok postán adhatók be a következő címre:

Eötvös Loránd Fizikai Társulat / Science on Stage Magyarország, 1027 Budapest, Fő utca 68.

A zsűri által kiválasztott pályamunkákat a fesztiválon a Csodák Palotájában 2010. október 2-án 20 perces előadás keretében kell bemutatni. Azokat a szakma elismert szakembereiből álló zsűri értékeli.

Fődíjak: az első kilenc díjazott, mint a magyar delegáció tagja kiutazást nyer Koppenhágába, a 2011. április 16–19-ig tartandó pán-európai Science on Stage fesztiválra. Erről angol nyelven lásd: <http://www.science-on-stage.eu/?p=3>

Különdíjak: a szponzoroknak köszönhetően a zsűri értékes különdíjakat is odaítél.



További információk: A korábbi Science on Stage, illetve az azokat megelőző Physics on Stage fesztiválokon a magyar pedagógusok sikeresen szerepeltek, és több értékes díjat is szereztek.

Lásd pl.: <http://www.kfki.hu/fszemle/archivum/fsz0903/FizSzem200903.pdf> (101. oldal)

<http://www.szinpaddon-a-tudomany.hu>

<http://www.science-on-stage.eu> (angol nyelven)

http://www.esa.int/SPECIALS/Science_on_Stage/ (angol nyelven)

Szervező bizottság: Egyed László, Fodor Erika, Hadházy Tibor, Holzgethán Katalin, Makai Szilvia, Nagy Anett, Nádori Gergely, Sükösd Csaba (sukosd@reak.bme.hu), Ujvári Sándor

