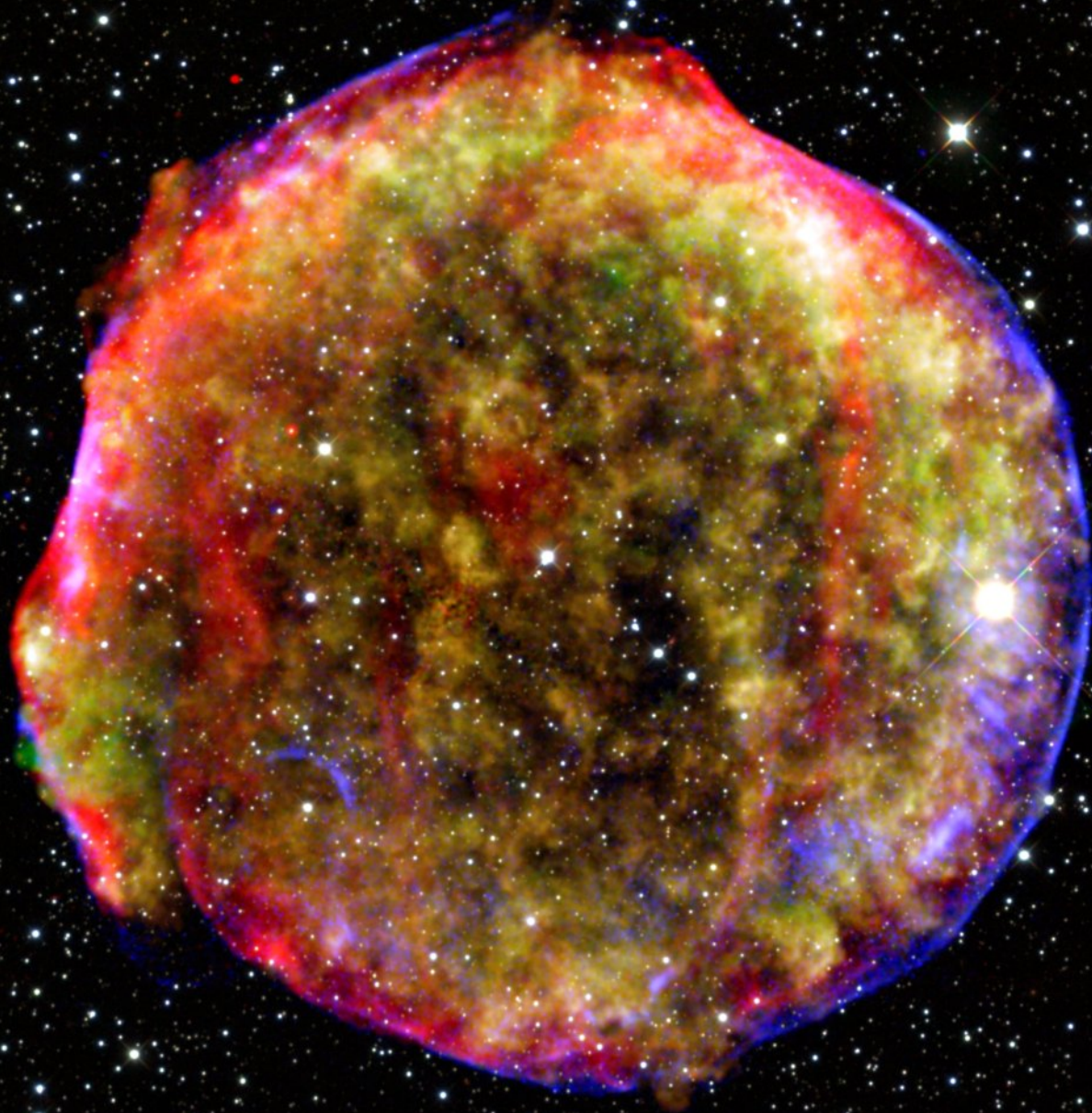


fizikai szemle



2010/2

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, Czitrovsky 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:

Az 1572-ben Tycho Brahe által is megfigyelt
szupernóva-robbanás maradványa. A tőlünk 7500
fényév távolságban bekövetkezett robbanás
során kibodózott csillaganyag hatalmas
sebességgel távolra mostanra 25 fényév átmérőjű
buborékká nőtt. A hamisszines képen a kék a
röntgentartományban sugárzó legnagyobb
energiájú elektronokat jelzi, sárga és zöld
szinben láthatók a forró felhők, a vörös pedig a
felhőben levő porszemcsék infravörös
sugárzására utal. (röntgen: NASA/CXC/SAO;
infravörös: NASA/JPL-Caltech; optikai: MPIA,
Calar Alto, O. Krause et al.)

A bátsó borítón:

A La Palma szigetén épített, 2009-ben átadott
Gran Telescopio Canarias (GTC). 10,4 m átmérőjű
főtükörnek fénygyűjtő felülete 6 m²-rel haladja
meg az eddigi csúcstartó Keck-távcsöveket.
(Fűrész Gábor felvétele.)

TARTALOM

<i>Gyürky György:</i> Az asztrofizikai p-folyamat – a nehéz elemek protongazdag izotópjainak keletkezése	37
<i>Horváth Gábor, Egri Ádám, Horváth Ákos, Kriska György:</i> Beégethetik-e napsütésben a leveleket a rájuk tapadt vízecseppek? Egy tévhitekkel terhes biooptikai probléma tisztázása – II. rész	41
Emlékezés Paál Györgyre (<i>Lukács Béla, Illés Erzsébet</i>)	49

A FIZIKA TANÍTÁSA

Tudósítás az Eötvös-verseny eredményhirdetéséről (<i>Zagyva Tiborné</i>)	52
<i>Sükösd Csaba:</i> XII. Szilárd Leó Nukleáris Tanulmányi Verseny – beszámoló, II. rész	56
XVII. Newton-kupa (<i>Farkas László</i>)	64
Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat állásfoglalása a természettudományos közoktatásról és a tanárok helyzetéről	65

KÖNYVESPOLC

HÍREK – ESEMÉNYEK

G. Gyürky: The astrophysical p-process, origin of heavy element isotopes rich in protons
G. Horváth, A. Egri, Á. Horváth, G. Kriska: Can sunlight focussed by water drops
on leaves burn them? – Part II.

A remembrance of György Paál (*B. Lukács, E. Illés*)

TEACHING PHYSICS

The Eötvös physical contest – report on the publication of results (*T. Zagyva*)

Cs. Sükösd: Report on the XII. Leo Szilárd contest in nuclear physics – Part II.

The XVII. Newton contest (*L. Farkas*)

Position of the Roland Eötvös Physical Society concerning the teaching of science
and the situation of its teachers

BOOKS, EVENTS

G. Gyürky: Der astrophysikalische p-Prozess der Entstehung protonenreicher
Isotope schwerer Elemente

G. Horváth, A. Egri, Á. Horváth, G. Kriska: Können Wassertropfen auf Blättern
im Sonnenlicht zur Brandgefahr werden? – Teil II.

Zum Andenken von György Paál (*B. Lukács, E. Illés*)

PHYSIKUNTERRICHT

Der Eötvös-Wettbewerb: Bericht über die Verkündigung der Ergebnisse (*T. Zagyva*)

Cs. Sükösd: Bericht über den XII. Leo-Szilárd-Wettbewerb in Kernphysik. Teil II.

Der XVII. Newton-Wettbewerb (*L. Farkas*)

Stellungnahme der Roland Eötvös Physikalischen Gesellschaft in Sachen Unterricht
der Naturwissenschaften und Lage der zuständigen Lehrer

BÜCHER, EREIGNISSE

Г. Дюрки: Астрофизический р-процесс: возникновение изотопов тяжелых элементов,
богатых протоном

Г. Хорват, А. Эгри, А. Хорват, Г. Кришка: Огнеопасна ли фокусировка света солнца
каплями воды на листьях? Часть вторая

На память Дьердя Паал (*Б. Лукач, Е. Иллес*)

ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

Отчет об итогах физического конкурса им. Р. Этвеша (*Т. Задьва*)

Ч. Шюкэнд: Отчет о XII. студенческом конкурсе им. Л. Силарда по ядерной физике.
Часть вторая

XVII. конкурс им. Ньютона (*Л. Фаркаш*)

Позиция Физического Общества им. Роланда Этвеша по обучению естественным
наукам и положению их учителей

КНИГИ, ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ

Fizikai Szemle
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:



nka
Nemzeti Kulturális Alap

mym
paksi atomerőmű

NCA
Nemzeti Civil Alaprogram



Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

LX. évfolyam

2. szám

2010. február

AZ ASZTROFIZIKAI P-FOLYAMAT

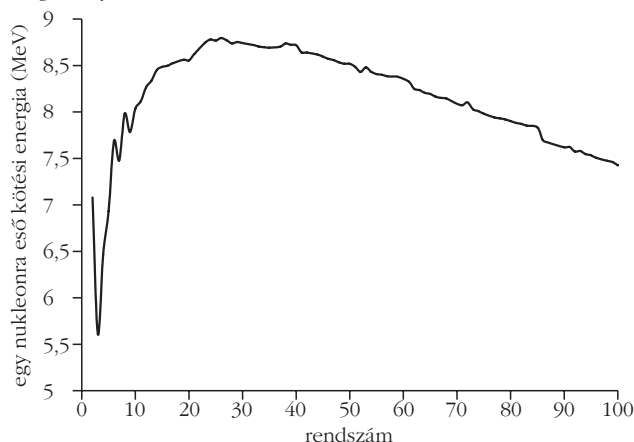
– A nehéz elemek protongazdag izotópjainak keletkezése

Gyürky György
MTA ATOMKI, Debrecen

A nehéz elemek szintézise

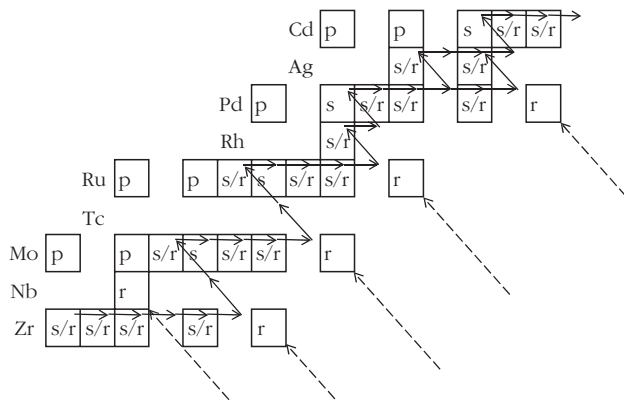
A Világegyetemet felépítő kémiai elemek – a legkönnyebbeket kivéve – csillagok belsejében keletkeznek a csillagfejlődés különböző szakaszaiban [1]. A kémiai elemek mintegy kétharmada, a vasnál nehezebb elemek, az elemszintézis szempontjából külön kategóriát képviselnek, keletkezésük ugyanis nem mehet végbe a könnyű elemekre jellemző, töltött részecskék részvételével zajló fúziós reakciókban. Az 1. ábra mutatja a rendszám függvényében az adott elem legstabilabb izotópjában az egy nukleonra eső kötési energiát. Jól látható, hogy a rendszám növekedésével a kötési energia erősen növekszik, majd a vas környékén ($Z = 26$) eléri maximumát és lassan csökkenni kezd. Ennek következtében a könnyű elemek fúziós reakciói során energia szabadul fel, biztosítva a csilla-

1. ábra. Az atommagok egy nukleonra eső kötési energiája a rendszám függvényében. A függvény a maximumát a legstabilabb atommag környékén, a vas közelében éri el.



gok számára az energiaforrást, miközben – egy nagy tömegű csillag esetén – lépésről lépésre benépesül a periódusos rendszer a vas környéki elemekig.

A vas, illetve a nehezebb elemek fúziója azonban nem termel, hanem felemészt energiát, így a nehezebb elemek szintézise nem lehet a csillag működését fenntartó folyamat, eredetüket valamely mellékfolyamatban kell keresnünk. Nem meglepő tehát, hogy például a Naprendszer anyagának felépítésében ezek az elemek csak csekély mértékben veszik ki a részüket. Hozzávetőlegesen minden húszmillió atomból csak egy tartozik ebbe a kategóriába. Kialakulásukért azért sem lehetnek felelősek töltött részecskék közötti magreakciók, mert a magasabb rendszámú elemek irányába haladva a magok nagy pozitív töltése miatt megnövekvő Coulomb-gát megakadályozza az ilyen reakciók lezajlását. A csillagfejlődés különböző szakaszaiban azonban nagy mennyiségben keletkeznek neutronok, amelyekre nem hat a Coulomb-taszítás, így könnyen befogódhatnak a nehezebb magokon is. A nehéz elemek stabil izotópjainak döntő többségét valóban neutronbefogási reakciók hozzák létre, két elkülönülő folyamat révén. Az úgynevezett s-folyamatban (slow, lassú) egymást követő neutronbefogások zajlanak le, de olyan lassú időskálán, hogy az esetlegesen keletkező radioaktív magnak mindig van ideje β -bomlással elbomlani, mielőtt a következő neutronbefogás bekövetkezne. Az r-folyamatban (rapid, gyors) ezzel szemben a neutronbefogások olyan gyorsan követik egymást, hogy a β -bomlásokra „nincs idő”, így ez a folyamat az erősen neutrongazdag radioaktív magok tartományában, a neutronelhullatási vonal közelében zajlik. Miután a neutronfluxus megszűnik, a keletkezett magok sorozatos β -bomlásokkal jutnak el a stabilitási sávba. A két folyamatot a nehéz



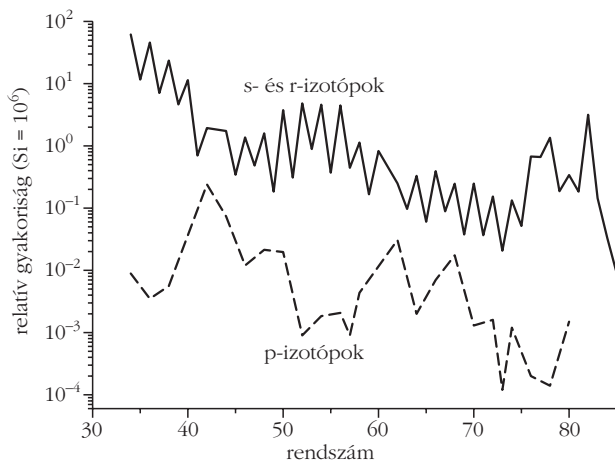
2. ábra. Az s- és r-folyamat útja a nehéz elemek egy szűk tartományában. Folytonos nyílak jelzik az s-folyamat útját, míg szaggatott nyíl mutatja az r-folyamatban keletkező, erősen neutrongazdag magok bomlását a stabil magok irányába. A stabil magokat jelölő négyzetekbe írt betűjel az őket létrehozó folyamatra utal.

elemek egy szűk tartományában a 2. ábra szemlélteti. Folytonos nyíl jelzi az s-folyamat útját, míg a szaggatott nyíl azt mutatja, hogy az r-folyamat erősen neutrongazdag izotópjai hogyan bomlanak vissza stabil atommagokba. A stabil izotópokba írt betű jelzi, hogy az adott izotópot mely folyamat (vagy folyamatok) hozzák létre.

A 2. ábra bal oldalán a protongazdag magok tartományában található néhány, p betűvel jelzett izotóp, amelyeket sem az s-, sem az r-folyamat nem érint, tehát nem jöhetnek létre neutronbefogási reakciók révén. Ezek az úgynevezett p-izotópok, amelyek keletkezési mechanizmusa – összefoglaló néven az asztrofizikai p-folyamat – a tárgy a e cikknek.

A nehéz elemek teljes tartományában összesen 35 p-izotóp található a legkönnyebb ^{74}Se -től egészen a ^{196}Hg -ig. Az 1. táblázat tartalmazza az összes p-izotópot, valamint az adott kémiai elemre vonatkoztatott természetbeni gyakoriságukat (százalékos előfordulásukat). Mint látható, kevés kivételtől eltekintve páros-páros (azaz páros proton és neutronszámú) magokról van szó, továbbá szembevetendő, hogy gyakoriságuk

3. ábra. A nehéz elemek Naprendszerben megfigyelt relatív gyakorisága külön a p-, illetve az s+r folyamat által létrehozott izotópokra. A konvencionálnak megfelelően a függőleges tengely úgy lett skálázva, hogy a szilícium gyakorisága 10^6 . Jól látható a p-izotópok alacsony gyakorisága.



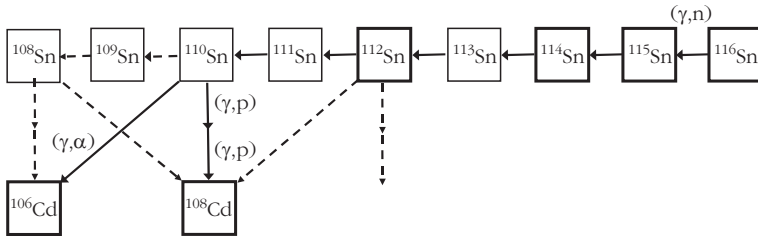
^{74}Se 0,89%	^{114}Sn 0,66%	^{156}Dy 0,06%
^{78}Kr 0,35%	^{115}Sn 0,34%	^{158}Dy 0,10%
^{84}Sr 0,56%	^{120}Te 0,09%	^{162}Er 0,139%
^{92}Mo 14,84%	^{124}Xe 0,095%	^{164}Er 1,601%
^{94}Mo 9,25%	^{126}Xe 0,089%	^{186}Yb 0,13%
^{96}Ru 5,54%	^{130}Ba 0,106%	^{174}Hf 0,16%
^{98}Ru 1,87%	^{132}Ba 0,101%	^{180}Ta 0,012%
^{102}Pd 1,02%	^{138}La 0,09%	^{180}W 0,12%
^{106}Cd 1,25%	^{136}Ce 0,185%	^{184}Os 0,02%
^{108}Cd 0,89%	^{138}Ce 0,251%	^{190}Pt 0,014%
^{113}In 4,29%	^{144}Sm 3,07%	^{196}Hg 0,15%
^{112}Sn 0,97%	^{152}Gd 0,20%	

általában igen alacsony. Előfordulási arányuk gyakran nem éri el az adott elem nehezebb izotópjainak az 1 vagy akár csak 0,1%-át sem. Ezt szemlélteti a 3. ábra is, ahol a nehéz elemek relatív gyakorisága látható külön az s+r, illetve a p-izotópokra. Az alacsony gyakoriság azt sugallja, hogy a p-izotópok szintéziséért valamilyen másodlagos folyamat a felelős. A p-izotópok alacsony gyakorisága miatt létezésüket mindaddig csak a Naprendszerből származó mintákon sikerült kimutatni, más csillagok spektrumában egyelőre nem bukkantak nyomukra.

Az asztrofizikai p-folyamat

Talán a p-izotópok igen alacsony gyakorisága az oka annak, hogy a stabil izotópok e csoportjának szintézise a nukleáris asztrofizika egyfajta mostohagyermeké. 1957-ben jelent meg *E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, Fowler és Hoyle* korszakalkotó cikke [2], amelyben sorra veszik és részletesen tárgyalják – az akkori ismereteknek megfelelően – az elemszintézis összes folyamatát. A nehéz elemek szintézisének tárgyalásakor megemlítik a p-izotópok problémáját, de az őket létrehozó lehetséges folyamatokkal nem foglalkoznak kellő részletességgel. Egészen 1978-ig kellett várni az első olyan, a p-izotópok szintézisével foglalkozó átfogó elméleti munkára [3], amely legalább nagyságrendileg képes volt reprodukálni a legtöbb p-izotóp természetben megfigyelt gyakoriságát. Az abban a munkában javasolt folyamatot ma is a p-magok szintéziséért felelős fő mechanizmusnak tartjuk, és az alábbiakban ennek részleteit tárgyaljuk.

Protongazdag izotópok létrehozásának egy természetesen adódó módja lenne protonok befogása nehéz, az s- és r-folyamatok által korábban létrehozott atommagokon. Azonban még magas hőmérsékleten is, ahol a részecskék termikus energiája elég nagy – a nehéz magok felé haladva a proton és a mag között fellépő



4. ábra. A p-folyamat menete az Sn izotóplánc esetében. Folytonos vonal mutatja a fő reakciósorozatát, míg szaggatott vonal a kevésbé jelentős elágazásokat. A vastag négyzetek a stabil magokat jelölik.

Coulomb-gát miatt – a protonbefogási reakciók csak igen kis hatáskeresztmetszettel tudnak lejátszódni. A számítások azt mutatják, hogy a nagyobb tömegszámú p-magok szintéziséért semmiképpen sem lehetnek protonbefogási reakciók a felelősek. Ráadásul nehéz olyan csillagkörnyezetet találni, ahol magas hőmérsékleten elegendően nagy számban állnának rendelkezésre szabad protonok. Így tehát a p-izotópok protonbefogási reakcióiban való keletkezését (legalábbis mint fő folyamatot) el kell vetni. Protongazdag magokat úgy is létre lehet hozni, ha nehéz magokból neutronokat távolítunk el. Ha a csillagbelső plazmában elegendően nagy energiájú γ -fotonok állnak rendelkezésre, akkor ezek kiválthatnak neutronkibocsátással járó reakciót, miáltal a mag protonban viszonylag gazdagabbá válik. Sorozatos ilyen (γ, n) reakciókkal létrejöhetnek a p-izotópok. Mai ismereteink szerint főként ez a γ -folyamat néven is emlegetett mechanizmus felelős a p-magok szintéziséért [4]. A folyamatot egy kiválasztott izotóplánc esetén a 4. ábra szemlélteti. Tételezzük fel, hogy a csillag anyagában jelen van az s-folyamat által korábban előállított ^{116}Sn izotóp. Az ezen az izotópon lejátszódó (γ, n) reakció a ^{115}Sn magot eredményezi, ami egy p-izotóp. Természetesen, ha a megfelelő energiájú γ -fotonok elég hosszú ideig rendelkezésre állnak, további (γ, n) reakciók lejátszódására is lehetőség van, amelyek részben radioaktív izotópokon keresztül létrehozhatják az ön izotóplánc másik két p-izotópját, a ^{114}Sn -t és a ^{112}Sn -t. A sorozatos (γ, n) reakciók hatására azonban az atommag neutronban egyre inkább szegényebbé válik, aminek következtében neutronszerparációs energiája megnő, így a további (γ, n) reakciók valószínűsége – azaz hogy egy már viszonylag neutronszegény mag újabb neutron bocsásson ki – lecsökken. Ekkor a folyamat lelassul, és lehetővé válnak töltött részecskék kibocsátásával járó (γ, α) és (γ, p) reakciók. Az ábrán látható izotóplánc esetén e reakciók létrehozhatják egy másik elem, a kadmium p-izotópjait.

A p-folyamat lehetséges helyszínei és körülményei

A nehéz elemek tartományában, a stabilitási völgy közelében a magok jellemző neutronszerparációs energiája általában az 5 és 10 MeV közötti tartományba esik. Minimum ennyi energiával kell rendelkeznie tehát egy γ -fotonnak, hogy kiszakíthasson egy neutron az atommagból. A csillagplazmában a fotonok ener-

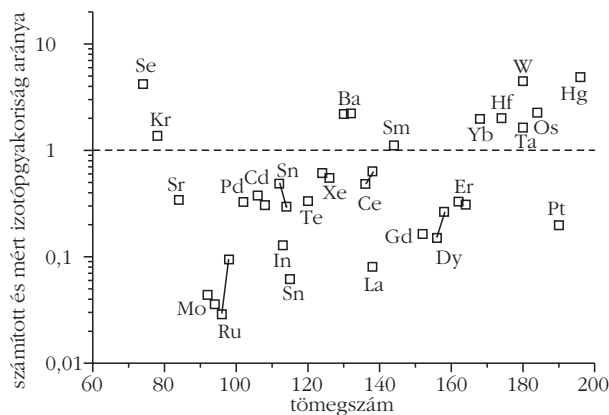
giaeloszlása a Planck-eloszlást követi, ami a hőmérséklet függvénye. A fenti tartományba eső energiájú fotonok csak akkor vannak jelen jelentős arányban a Planck-spektrumban, ha a plazma hőmérséklete igen magas, eléri a milliárd kelvin nagyságrendet. Ilyen hőmérsékletek nagy tömegű csillagokban fordulnak elő a csillagfejlődés igen előrehaladott állapotában, például szupernóva-robbanás folyamán. A szupernóva-robbanás mechanizmusa egyike a

természet legösszetettebb jelenségeinek, még leegyszerűsített tárgyalása is túlmutat jelen cikk keretein. A *Fizikai Szemle* olvasói azonban már olvashattak a jelenségről [5]. A számítások azt mutatják, hogy a p-folyamat lejátszódásának egyik legvalószínűbb színtere nagy tömegű csillagok oxigénben és neonban gazdag rétege közvetlenül a szupernóva-robbanást megelőző fázisban, vagy magában a robbanásban. Ilyenkor az anyag mintegy 3 milliárd K hőmérsékletre melegszik fel és ez a nagy hőmérsékletű állapot nagyságrendileg 1 másodperc időtartamig áll fenn.¹ Ha a csillag anyaga tartalmaz korábbi folyamatokból származó nehéz elemeket, akkor ezeken kiindulva lejátszódhat a γ -folyamat. A robbanás során a keletkezett p-magok kijuthatnak a csillagközi térbe, és a később keletkező újabb csillagok – valamint a körülötte keringő bolygók – már tartalmazni fogják a p-izotópokat.

P-folyamat modellszámítások

A p-folyamat modellszámítások célja – mint az elem-szintézis más folyamatai esetén is – a természetben található izotópok mért gyakoriságának reprodukálása. A p-folyamat modellek ehhez hatalmas reakcióhálózatot használnak. A fő szerepet játszó γ -indukált reakciókon kívül β -bomlások, részecskebefogási és egyéb reakciók figyelembevétele is szükséges. Egy korszerű p-folyamat modellszámítás mintegy 2000 magon lejátszódó akár 20 000 reakciót is tartalmazhat. A modellszámításoknak különböző bemenő paraméterekre van szükségük. Egyrészt fontosak az asztrofizikai körülményeket leíró paraméterek. Ilyenek a kezdeti izotópeloszlások, amelyekből a folyamat kiindul, a hőmérséklet- és sűrűségviszonyok, valamint ezek idő- és térbeli változása egy adott csillagkörnyezetben. Másrészt a modellekben szükség van magfizikai bemenő paraméterekre is, mint a hálózatban szereplő atommagok tömegei, a radioaktív magok bomlási tulajdonságai és legfőképpen a sok ezer magreakció adott hőmérsékletre jellemző sebessége. Amennyiben ezek a paraméterek rendelkezésre állnak, a modellekből kiszámítható a folyamatban

¹ Ilyen rövid időskálán a (γ, n) reakciókban keletkező proton-gazdag radioaktív magok stabilnak tekinthetők (felezési idejük általában jóval hosszabb, mint a folyamat időtartama), így a p-folyamat a stabilitási sávól viszonylag távol, radioaktív magok részvételével is zajlik.



5. ábra. Egy tipikus p-folyamatra a modellszámításban kapott és a Naprendszerben mért izotópgyakoriságok aránya. Forrás: W. Rapp et al., *Astrophys. J.* 653 (2006) 474.

keletkező p-izotópok mennyisége, ami utána összehasonlítható a természetben megfigyelttel. Egy ilyen összehasonlítás eredményét mutatja az 5. ábra. Az ábrán a tömegszám függvényében a számított és mért izotópgyakoriságok arányát láthatjuk. Ha a modell tökéletesen leírná a folyamatot, az arány minden izotóp esetén egységnyi lenne. Ezzel szemben jelentős, esetenként több mint egy nagyságrend eltérést tapasztalunk. Az ábra csak egy kiragadott példa a számos rendelkezésre álló p-folyamat modellszámítás eredményei közül, ám az általánosan igaz, hogy a modellek nem tudják az ábrán láthatónál jobban reprodukálni a megfigyelt izotópgyakoriságokat. Ez a tény igazolja azt a kijelentést, hogy az asztrofizikai p-folyamat egyike az elemszintézis legkevésbé ismert folyamatainak.

A modellszámítások kudarcának oka leginkább a modellekben használt bemenő paraméterek nem megfelelő voltában keresendő. Nem ismerjük még kellő részletességgel azokat az asztrofizikai körülményeket, amelyek között a p-folyamat lezajlik. Más kiinduló izotópösszetételen, más hőmérséklet- és időskálán eltérő végeredményt szolgáltatnak a modellek. Fontos tehát a csillagfejlődés további vizsgálata a p-folyamat modellek pontosabbá tétele érdekében. Az is valószínűnek tűnik, hogy az eddig tárgyalt γ -folyamat nem az egyetlen lehetséges mechanizmus, amely p-izotópok szintéziséhez vezet. Elképzelhető, hogy a Naprendszer felépítésében részt vevő p-izotópok több különböző folyamat révén jöttek létre, s a megfigyelt gyakoriságok e folyamatok eredőjeként adódnak. Néhány könnyű p-izotóp (például a Mo és Ru izotópok) szokatlanul nagy gyakorisága valószínűleg nem magyarázható egyedül a γ -folyamattal. Több különböző, a γ -folyamatot kiegészítő folyamatot javasolnak a problémák orvoslására. Ezek közül a legfontosabbak a gyors protonbefogási rp-folyamat, vagy a neutrínók által indukált magreakciók. E folyamatok tárgyalása túlmutat e cikk keretein.

A p-folyamat modellszámítások kudarcának egy, eddig nem említett lehetséges oka a modellekben használt magfizikai bemenő paraméterek nem megfelelő volta lehet. Ha például a reakcióhálózatban szereplő

magreakciók sebessége nem helyes, akkor a modellek hibás izotópgyakoriságokat eredményezhetnek. Az írás hátralévő részében a reakciósebességek pontosítására irányuló kísérleti vizsgálatokról lesz szó.

Magfizikai kísérletek a p-folyamat jobb leírása érdekében

A p-folyamat reakcióhálózatban a döntő szerepet a γ -indukált reakciók játsszák. Mivel sok ezer reakcióról van szó, amelyek döntő többsége radioaktív magok részvételével zajlik a protongazdag magok tartományában, a reakciósebességek mindegyikének kísérleti meghatározására nincs esély. A modellekben ezért elméleti úton nyert reakciósebességeket használnak. A p-folyamatra jellemző tömegszám- és energiatarományban a reakciók hatáskeresztmetszeteit (amelyekből a reakciósebességek származtathatók) legtöbbször Hauser–Feshbach-típusú statisztikus modellekből nyerik [6]. A p-folyamat modellek egy lehetséges hibaforrásának kiküszöbölése érdekében fontos a statisztikusmodell-számítások kísérleti ellenőrzése. A γ -indukált reakciók közvetlen kísérleti vizsgálata azonban technikailag igen nehéz. Csak az utóbbi néhány évben váltak elérhetővé olyan nagy intenzitású, változtatható energiájú γ -források, amelyekkel jó eséllyel lehet a p-folyamat szempontjából lényeges reakciók hatáskeresztmetszeteit mérni. Bár a közeljövőben jelentős fejlődés várható ezen a területen, arra azonban nem számíthatunk, hogy γ -indukált reakciók hatáskeresztmetszetének rutinszerű mérésére nyílna lehetőség. Megoldást jelenthet a γ -indukált reakciók mérését akadályozó kísérleti nehézségek elkerülésére az inverz, befogási reakciók hatáskeresztmetszetének mérése és az így kapott eredményekből a γ -indukált reakciók sebességének meghatározása elméleti megfontolások alapján. Neutronbefogási reakciók hatáskeresztmetszeteire viszonylag sok kísérleti adat áll rendelkezésre az irodalomban. Ezzel szemben töltött-részecske-befogási reakciók esetén a p-folyamatra jellemző tömegszám- és energiatarományban alig található kísérleti adat, így a p-folyamat reakcióhálózatokban használt és elméleti úton nyert reakciósebességek ellenőrzésére csak nagyon szűkös a lehetőség.

A debreceni Atommagkutató Intézet nukleáris asztrofizikai csoportjának egyik legfőbb kutatási területe éppen a p-folyamat szempontjából fontos töltött-részecske-befogási reakciók kísérleti vizsgálata. Az utóbbi években számos proton- és alfa-indukált magreakció hatáskeresztmetszetét mértük meg az ATOMKI ciklotron és Van de Graaff gyorsítóinak a felhasználásával. A 2. táblázatban a vizsgált izotópok láthatók. Méréseink eredményeit minden esetben összehasonlítottuk a p-folyamat modellekben használt statisztikusmodell-számítások jóslataival (lásd például [7]). Eredményeink segítségével ki tudtuk választani a statisztikus modellek azon magfizikai paramétereit, amelyek segítségével a modellek a kísérleti eredmények legjobb leírását adják. Ezek az eredmények hozzásegíthetnek a p-folyamat halózsámítások pontosabbá tételéhez. A kutatások

2. táblázat

Azon izotópok, amelyeken az ATOMKI-ban proton-, illetve alfa-indukált reakciók hatáskeresztmetszeteit mértük

proton-indukált reakciók	alfa-indukált reakciók
^{70}Ge , ^{76}Ge , ^{74}Se , ^{76}Se , ^{77}Se , ^{85}Rb , ^{84}Sr , ^{86}Sr , ^{87}Sr , ^{106}Cd , ^{108}Cd	^{70}Ge , ^{106}Cd , ^{113}In , ^{144}Sm , ^{151}Eu , ^{169}Tm

jelentőségét mutatja, hogy az Európai Kutatási Tanács Starting Grant programja a kísérleti nukleáris asztrofizikai kutatások közül Európában jelenleg egyedülként a mi p-folyamattal kapcsolatos munkánkat támogatja (ERC StG No. 203175) [8].

Összefoglalás

A vasnál nehezebb elemek protongazdag izotópjainak szintézise az asztrofizikai p-folyamat, amely egyike az elemszintézis legkevésbé ismert folyamatainak. A p-folyamat modellszámítások nem képesek kellő pontossággal reprodukálni a p-izotópok természetben megfigyelt gyakoriságát, így a modellek jelentős pontosítás-

ra szorulnak. Jobban meg kell értenünk azokat az asztrofizikai körülményeket, amelyek között a folyamat lezajlik, valamint pontosítanunk kell a folyamatban részt vevő magreakciókra vonatkozó ismereteinket. Az ATOMKI kutatói ez utóbbi területen, konkrétan töltött részecskék által kiváltott magreakciók tanulmányozásával próbálnak hozzájárulni a folyamat részleteinek a tisztázásához.

Irodalom

1. Fülöp Zs., Gyürky Gy.: *Az elemek születése. Szemelvények a nukleáris tudomány történetéből*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2009.
2. E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, W. A. Fowler, F. Hoyle: Synthesis of the elements in stars. *Reviews of Modern Physics* 29 (1957) 547.
3. S. E. Woosley, W. M. Howard: The p-process in supernovae. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 36 (1978) 285.
4. M. Arnould, S. Goriely: The p-process of stellar nucleosynthesis: astrophysics and nuclear physics status. *Physics Reports* 384 (2003) 1.
5. Németh J.: Szupernóva-robbanás. *Fizikai Szemle* 47/5 (1997) 167.
6. Fényes T.: *Atommagfizika*. Debreceni Egyetem, Kossuth Egyetemi Kiadó, 2005.
7. G. Gyürky et al.: α -induced cross sections of ^{106}Cd for the astrophysical p-process. *Physical Review C* 74 (2006) 025805.
8. a projekt honlapja: <http://namafia.atomki.hu/~gyurky/ERC/>

BEÉGETHETIK-E NAPSÜTÉSBN A LEVELEKET A RÁJUK TAPADT VÍZCSEPPEK? EGY TÉVHITEKKEL TERHES BIOOPTIKAI PROBLÉMA TISZTÁZÁSA

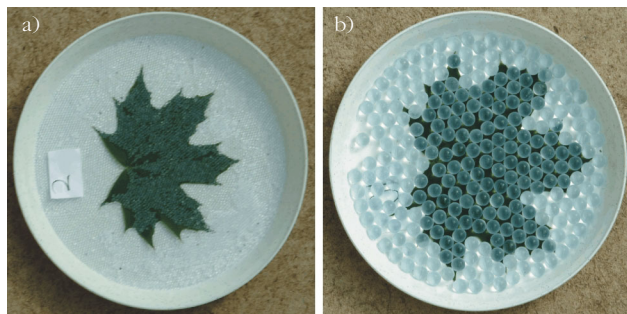
II. rész: Napfényes besugárzási kísérletek sima és szőrös leveleken ülő vízcseppekkel

Horváth Gábor, Egri Ádám – ELTE, Fizikai Intézet, Biológiai Fizika Tanszék
Horváth Ákos – Max Planck Meteorológiai Intézet, Hamburg
Kriska György – ELTE, Biológiai Intézet, Biológiai Szakmódszertani Csoport

A napsütötte növényi levelekhez tapadt vízcseppek által fókuszált napfény miatti levélégés mélyebb megértésének céljából kísérleteket végeztünk. Először demonstráltuk, hogy vízszintes juharleveleken (Acer platanoides) elhelyezkedő, 1,5 törésmutatójú, 2 és 10 mm közti átmérőjű üveggolyók napsütésben súlyos égési sérüléseket (barnulást) okoznak a levélszövetben. Utána megmutattuk, hogy páfrányfenyő (Ginkgo biloba) és juhar (Acer platanoides) vízszintes sima, többé-kevésbé víztaszító levelein ülő napsütötte vízcseppek nem képesek beégetni a levélszövetet. Ezáltal megcáfoltuk azt a régi közhiedelmet, miszerint eső vagy öntözés után mindig napégést szenvednek a növények a rájuk tapadt vízcseppek napfényfókuszáló hatása miatt. Ugyanakkor azt is megmutattuk, hogy napsütésben a rucaöröm (Salvinia natans) erősen víztaszító viaszszőrei által tartott vízcseppek megégethetik a levélszövetet. Vizsgálataink alapján azt a végkövetkeztetést vontuk le, hogy az az általános vélekedés, miszerint a növényekhez tapadt vízcseppek apró nagyítólecsékként összegyűjtve a napfényt mindig megégetik a leveleket, nem más, mint egy közkeletű tévhit.

Cikkünk I. részében [1] számítógépes sugárkövetéssel határoztuk meg a különféle vízszintes leveleken nyugvó forgásszimmetrikus vízcseppek által kialakított fényintenzitás eloszlását a levél síkjában a cseppalak és a napfény θ beesési szögének függvényében. Annak a kérdésnek a megválaszolása érdekében mo-

delleztük a vízszintes levélfelületen nyugvó vízcseppek napfényfókuszálását, hogy: szenvedhetnek-e a növények napégést eső vagy öntözés után, ha kisüt a nap? A téma szakirodalmának áttanulmányozásával megmutattuk, hogy a leggyakoribb válasz az „igen”, ami egy széles körben elterjedt hit, vélekedés. A víz-

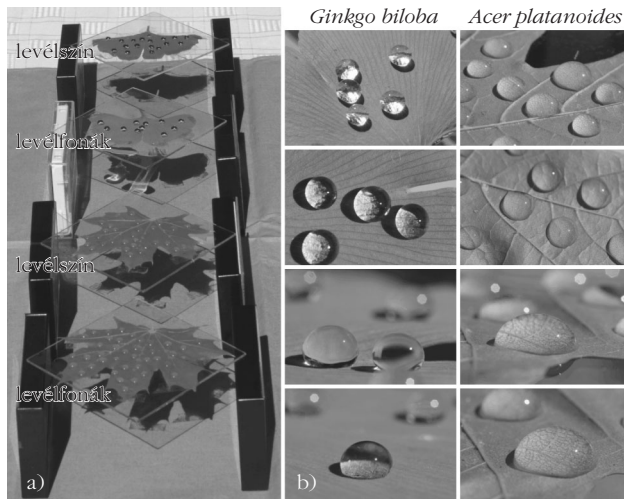


1. ábra. Az 1. kísérletben használt tálcák közül kettő, amelyekben 2 mm (a), illetve 10 mm (b) átmérőjű üveggolyók fedték a juharlevelet (*Acer platanoides*).

szintes levélen ülő vízcseppek által fókuszált napfény intenzitásmaximumát kiszámítva meghatároztuk azt a cseppalakot és azt a beesési szöget is, aminél a napégés veszélye a legvalószínűbb. Mivel az a legkisebb fényintenzitás, ami már sérülést okoz a levélszövetben, egyelőre ismeretlen, a főnti kérdés nem válaszolható meg csak számítógépes modellezéssel. Ezért kísérleteket végeztünk üveggolyókkal és vízcseppekkel borított, napsütésnek kitett, sima, illetve szőrös (különböző nedvesítőképességű) vízszintes levelekkel [2]. Cikkünk jelen, II. részében írjuk le a kísérleteket, mutatjuk be az eredményeinket, és vonjuk le a végkövetkeztetést.

Kísérleti módszerek

Az első kísérletet három napig végeztük felhőtlen, meleg, napos időben Gödön (47° 43' N, 19° 09' E) egy kertben. Tíz műanyag tálcát tettünk egy asztalra, mindegyikbe egy-egy frissen levágott, sima felszínű juharlevelet (*Acer platanoides*) helyeztünk. Az 1., 2., 3., ..., 9. tálcákban a leveleket teljesen lefedtük $n_{\text{üveg}} = 1,5$ törésmutatójú, 2, 3, 4, ..., 10 mm átmérőjű üveggolyókkal (1. ábra). A 10. tálcán a levél szabadon maradt, nem kerültek rá üveggolyók; ez volt a kontroll. Az asztalt a tálcákbeli, üveggolyókkal fedett levelekkel együtt közvetlen napsütésnek tettük ki három eltérő időtartamig: hosszú (2007. július 8., 8:00 – 17:00 óra között = helyi nyári idő = UTC + 2h), közepes (2007. július 14., 10:30 – 13:30) és rövid (2007. július 17., 16:00 – 17:00) ideig. A besugárzási idő alatt egyszer sem esett árnyék a levelekre. A kísérlet után a leveleket a laborató-



2. ábra. a) A 2. kísérlet elrendezése, melyben két juhar (*Acer platanoides*, lent) és két páfrányfenyő (*Ginkgo biloba*, fönt) levél volt vízszintesen kiterítve egy-egy üveglapon. Mindkét levélfaj leveleinek fonákját, illetve színét vízcseppek borították. b) A páfrányfenyő (bal oszlop) és juhar (jobb oszlop) levelein nyugvó vízcseppek fényképei közelről. (Az ábra színes változatát a hátsó belső borítón közöljük.)

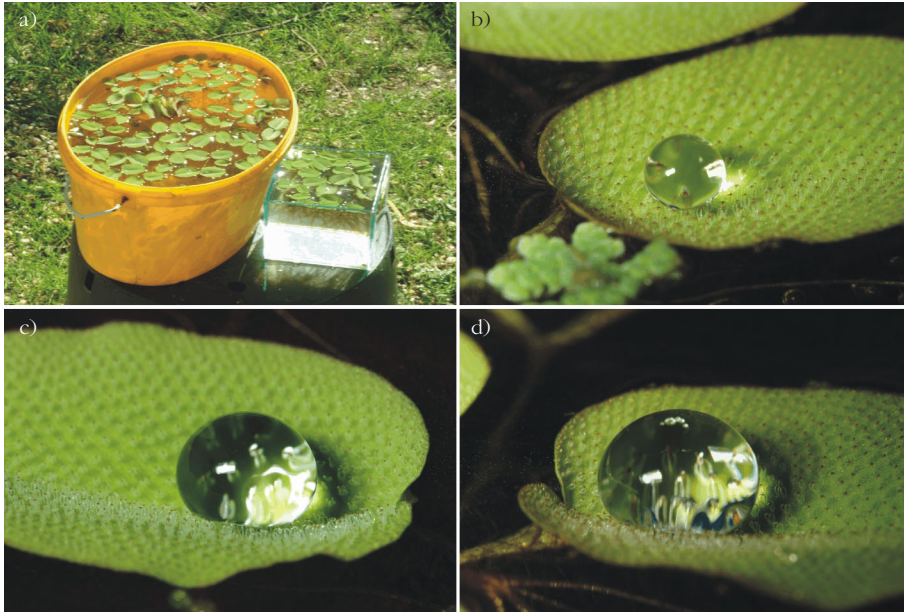
riumban egy Canon Arcus 1200 típusú szkennerral vittük számítógépre az esetleges napégés elemzése céljából (4. ábra).

A második kísérletet 2007. július 26-án végeztük ugyanazon kertben, ahol az elsőt. Meleg, napos, szélmentes idő volt, tiszta égbolttal. Két pár, frissen levágott, sima felszínű (szőrtelen) páfrányfenyő (*Ginkgo biloba*) és juhar (*Acer platanoides*) levelet négyzet (10×10 cm) alakú üveglapokra rögzítettünk átlátszó, szintelen ragasztószalagokkal, mindkét pár levélből az egyiket a színével, a másikat pedig a fonákjával fölfelé. A leveleket hordozó üveglapokat 10 cm magasságban

1. táblázat

A 2. kísérlet három eltérő besugárzási időtartamának kezdete és vége ($t = \text{UTC} + 2\text{h}$), a Nap horizont fölötti θ szögmagassága, és a léghőmérséklet a besugárzás kezdetén és végén. N a vízcseppek száma a juhar (*Acer platanoides*) és páfrányfenyő (*Ginkgo biloba*) leveleinek színén, illetve fonákján.

besugárzás	levél (besugárzott oldal)	kezdet		vég		$T(^{\circ}\text{C})$		N
		t	θ	t	θ	kezdet	vég	
1.	<i>Acer</i> (fonák)	7:55	27,5°	9:40	44,9°	24,0	27,0	25
	<i>Acer</i> (szín)	7:55	27,5°	9:35	44,1°	24,0	27,0	21
	<i>Ginkgo</i> (fonák)	7:55	27,5°	10:30	52,6°	24,0	29,0	8
	<i>Ginkgo</i> (szín)	7:55	27,5°	10:00	48,1°	24,0	28,0	11
2.	<i>Acer</i> (fonák)	10:30	52,6°	11:28	60,1°	29,0	31,0	24
	<i>Acer</i> (szín)	10:30	52,6°	11:20	59,2°	29,0	30,5	29
	<i>Ginkgo</i> (fonák)	10:30	52,6°	12:00	63,0°	29,0	32,0	18
	<i>Ginkgo</i> (szín)	10:30	52,6°	11:31	60,4°	29,0	31,0	21
3.	<i>Acer</i> (fonák)	12:00	63,0°	13:11	64,4°	32,0	34,0	29
	<i>Acer</i> (szín)	12:00	63,0°	13:01	64,7°	32,0	33,5	31
	<i>Ginkgo</i> (fonák)	12:00	63,0°	13:45	62,3°	32,0	34,5	19
	<i>Ginkgo</i> (szín)	12:00	63,0°	13:17	64,1°	32,0	34,0	21



3. ábra. a) A 3. kísérlet elrendezése, amelyben két vízzel teli edénybe rucaörömöt (*Salvinia natans*) helyeztünk. b–d) A rucaöröm vízszűrő, szőrös levelein nyugvó vízcseppek fényképei.

egy vízszintes asztallap fölé helyeztük távtartók segítségével (2.a ábra). Az asztalt világoszöld vászon borította. Mind a négy levélre néhány csepp tiszta csapvizet csöpöpenttünk egy szemcseppentővel: a levél felszín egy adott helyére négy ugyanakkora vízcseppet csöpöpenttünk, miáltal az összes vízcsepp gyakorlatilag egyforma lett. Az üveglapok vízszintes síkban tartották a leveleket, és lehetővé tették, hogy az asztalt borító zöld vászonzól visszavert fény a levelek fonákját érje. Ezzel a természetes helyzetet utánoztuk, amikor a földről és a környező növényekről visszaverődő fény alulról világítja meg a leveleket.

A számos vízcseppet hordozó leveleket közvetlen napfénynek tettük ki. Az első besugárzás reggel, alacsony napmagasságnál, 7:55 órakor (UTC+2h) kezdődött (1. táblázat), és addig tartott, amíg a vízcseppek teljesen el nem párologtak a levelek felszínéről. A következő besugárzást új, frissen vágott páfrányfenyő- és juharlevelekkel folytattuk, amelyek szintén vízcseppeket hordoztak. Összesen három besugárzást végeztünk, a harmadik kora délután ért véget (1. táblázat). Ekkortájt a kísérletet mindenképpen be kellett fejeznünk az egyre növekvő felhőzet miatt: felhős időben nem lehetett garantálni a vízcseppes levelek napfényvel történő folyamatos besugárzását. A kísérlet végeztével a leveleket a laboratóriumban beszkeneltük, hogy dokumentáljuk az esetleges napégés nyomait. A besugárzások kezdetének és végének időpontjait, az ekkor mért napmagasságokat és léghőmérsékleteket, továbbá a vízcseppek számát az 1. táblázat foglalja össze. Egy adott besugárzás kezdetének időpontja mind a négy levélre azonos volt, viszont a végének időpontja különbözött, mert a vízcseppek párologási sebessége függött a levélfelszín minőségétől, amennyiben ez határozta meg a levél és a vízcsepp közti nedvesítési szöget, így a vízcsepp alakját is, valamint a levél fényvisszaverő-képességét (2.b ábra).

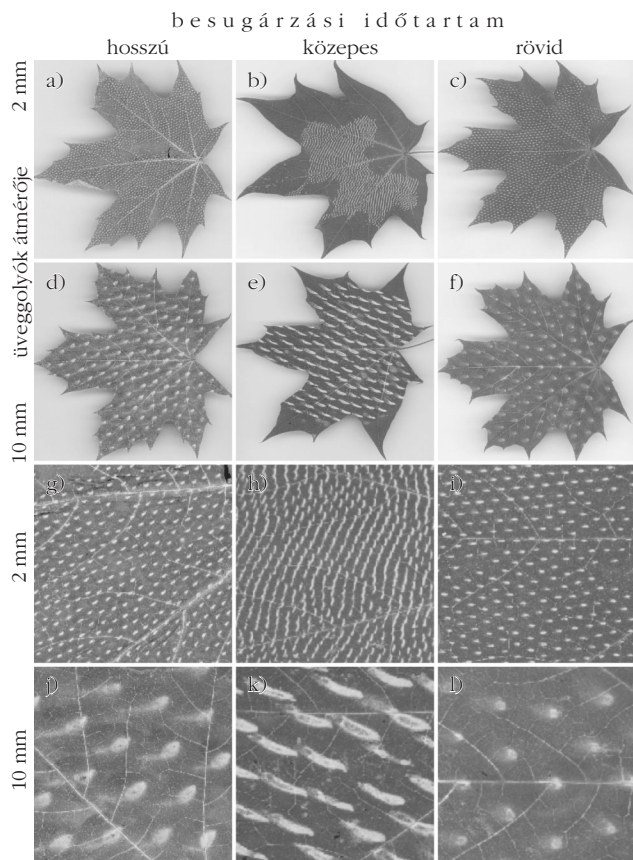
A harmadik kísérletet az ELTE Botanikus Kertjében (47° 28' N, 19° 05' E) végeztük 2007. július 30-án naps, meleg, szélcsendes, felhőtlen időben. Két, vízzel teli edénybe rucaörömöt (*Salvinia natans*) helyeztünk (3.a ábra), amit közvetlen napfénynek tettünk ki 13:00 órától 15:00 óráig (UTC+2h). A besugárzás előtt számos kisebb és nagyobb vízcseppet hoztunk létre a szőrös rucaörömleveleken (3.b–d ábrák) egy szemcseppentővel és kézi permetezővel. A besugárzás alatt a vízfelszínen lebegő rucaörömlevelek helyzete nem változott. A kétórás besugárzás alatt a kisebb vízcseppek elpárologtak, míg a nagyobbak közül némelyik megmaradt.

Azon rucaörömlevelek némelyikét, amelyeken két óra elteltével is volt vízcsepp, a laboratóriumban beszkeneltük, hogy dokumentáljuk az esetleges napégés nyomait.

A negyedik kísérletben (8. ábra) egy vékony (1 mm) falú, $R = 10$ cm sugarú, vízzel töltött műanyag gömböt függesztettünk fel egy drót segítségével. E vízgömböt fehér párhuzamos fénynyalábbal világítottuk meg, amit egy 12 cm átmérőjű gyűjtőlencsével és annak fókuszpontjában elhelyezkedő pontszerű fényforrással állítottunk elő. A fényforrás–lencse–vígömb rendszer optikai tengelyébe helyeztünk egy keretben kifeszített pauszpapír ernyőt. Az ernyő és a vízgömb középpontja közti távolság H , az optikai tengely és az ernyő síkjának szöge pedig $\theta = 60^\circ$ és 90° volt. A vízgömb által az ernyőre fókuszált fény intenzitásminiatúráját besötétített szobában fényképeztük le (9. ábra).

Kísérleti eredmények

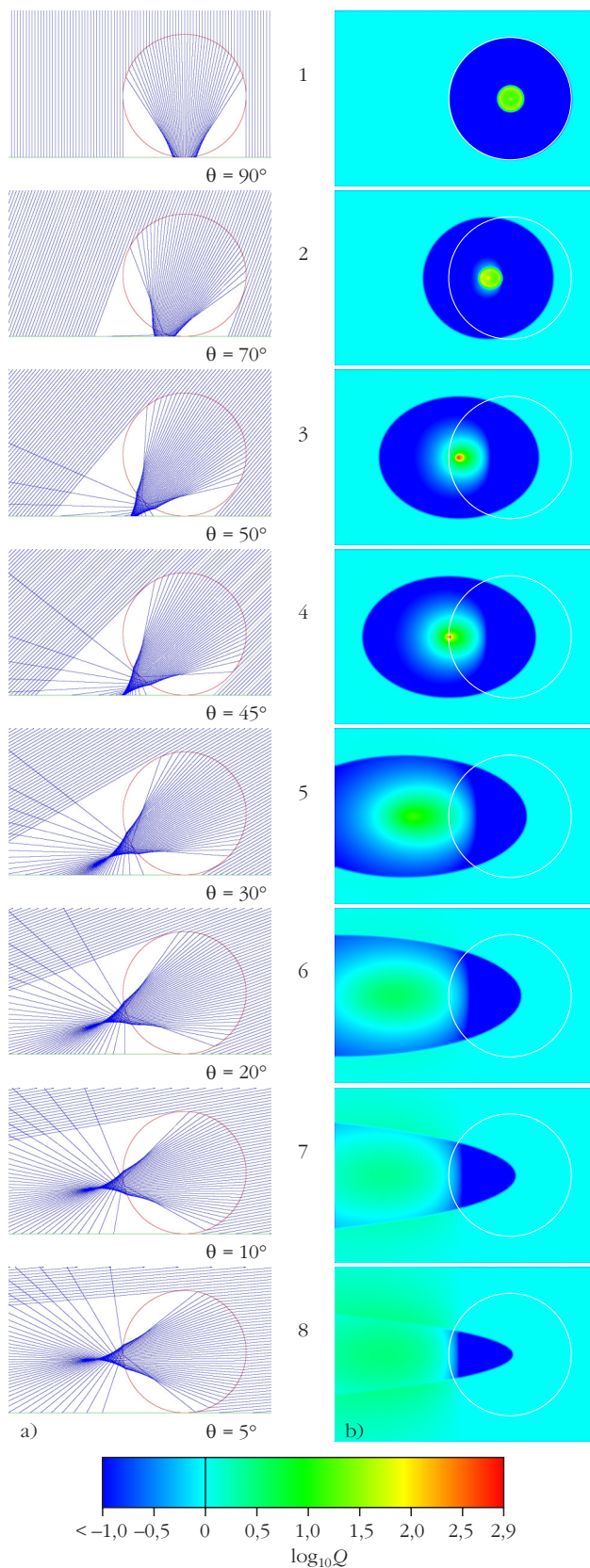
Az 1. kísérlet (1. ábra) mindhárom (rövid, közepes és hosszú) besugárzásakor mindegyik üveggolyóméretnél (2–10 mm) az összes juharlevél (*Acer platanoides*) nagymértékben beégett a golyók által összegyűjtött napfény nagy intenzitása miatt. A napégés következtében a zöld leveleken barna foltok jelentek meg rácsszerű elrendezésben (4. ábra). A hosszú besugárzás 9 óráig tartott (reggel 8 órától délután 17 óráig), mialatt a levelek gyenge, közepes és erős napfénynek voltak kitéve alacsony, közepes és magas napállások mellett. A közepes besugárzás 3 óra hosszúságú volt: 10:30-tól 13:30-ig, vagyis akkor, mikor a Nap a legmagasabban járt, s egyben a legintenzívebben sugárzott. A rövid besugárzás mindössze 1 órás volt késő délután, alacsony napállás mellett. Mindebből az a követ-



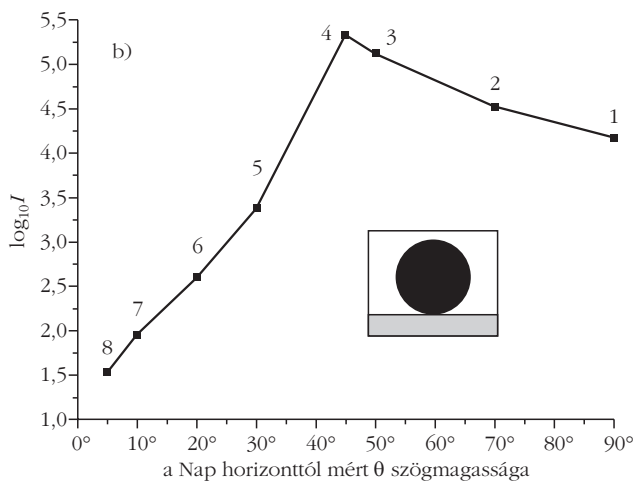
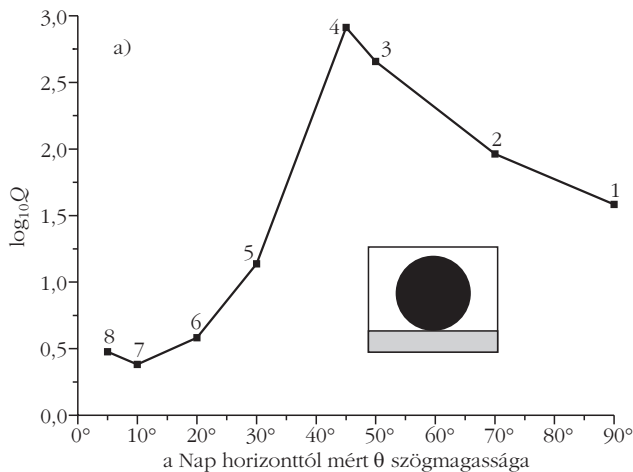
4. ábra. a–f) Az 1. kísérletben napégést szenvedett juharlevelek (*Acer platanoides*), amelyeket 2, illetve 10 mm átmérőjű üveggolyók borítottak a közvetlen napfényel történt hosszú (bal oszlop), közepes (középső oszlop) és rövid (jobb oszlop) besugárzás alatt. Az üveggolyók által fókuszált napfény nagy intenzitása miatt kialakult barna perzselési foltok jól kivehetők a zöld leveleken. g–l) Az a–f ábrák 4-szeres nagyításban. (Az ábra színes változatát a hátsó belső borítón közöljük.)

keztetés vonható le, hogy vízszintes leveleken elhelyezkedő üveggolyók ($n_{\text{üveg}} = 1,5$) reggeltől késő délutánig képesek napégési sérüléseket okozni a levélszövetben.

Az 5.a ábra egy üveggömb függőleges főtengelymetszetében haladó fénysugarak menetét mutatja a bejövő párhuzamos fénynyaláb vízszintestől mért θ szögének függvényében. Az 5.b ábra az üveggömb Q fénygyűjtőképessége 10-es alapú logaritmusának eloszlását szemlélteti a levél vízszintes síkjában. Ezen intenzitásmintázatokat a cikkünk I. részében részletezett módszerrel számítottuk. A levél síkjában a legnagyobb Q -értékekkel jellemzett „fókuszterület” a leginkább veszélyeztetett a napégéssel szemben. Az 5.b ábrán láthatjuk, hogy a fókuszterület megközelítőleg egy ellipszis. A 4. ábrán látható napégésnyomokat ilyen magas fényintenzitású, ellipsziszzerű fókuszterület okozta, amint végighaladt a levél egy szakaszán a Nap mozgása következtében. A 6. ábra a vízszintes levélen nyugvó üveggömbre számított $Q(n_{\text{üveg}}=1,5, \theta)$ fénygyűjtőképesség és a gömb által fókuszált, a levélszövet által elnyelt $I(\theta)$ fényintenzitás 10-es alapú logaritmusát mutatja. Mivel Q és I egyaránt $\theta = 45^\circ$ -nál maximális,



5. ábra: a) Fénysugarak menete egy $n_{\text{üveg}} = 1,5$ törésmutatójú homogén üveggömb függőleges főtengelymetszetén keresztül a vízszintes-hez képest különböző szögben beeső fénynyalábok esetén. b) Az üveggömb Q fénygyűjtőképessége 10-es alapú logaritmusának levél-síkbeli eloszlása színekkel kódolva. Felülről nézve a gölyő kontúrvonalát mindkét ábrán kör jelzi.



6. ábra. a) Az 5. ábra üveggömbjére számított maximális Q fénygyűjtőképesség 10-es alapú logaritmusát a beeső napfény horizonttól mért θ szögének ($\theta = 0^\circ$: horizont, $\theta = 90^\circ$: zenit) függvényében. A fekete kör az üveggömb függőleges főtengelymetszetét ábrázolja. Az 5. ábra 1., 2., ... 7., 8. soraihoz tartozó adatokat fekete négyzetek jelölik. b) Az üveggömb által fókuszált, s a levélszövet által elnyelt $I(\theta) = Q(n_{\text{üveg}}=1,5, \theta) \cdot \sin\theta \cdot a(\theta)$ napfényintenzitás 10-es alapú logaritmusának levélsíkbeli maximumértékei. $a(\theta)$ a levélszövet szoláris elnyelési tényezője (lásd: cikkünk I. részének 7.c ábrája). Az 5. ábra 1., 2., ... 7., 8. soraihoz tartozó adatokat fekete négyzetek jelölik.

ezért a napégés ennél a napállásnál a legvalószínűbb. Cikkünk I. részének számításai alapján egy vízcsepes vízszintes levél $Q(n_{\text{üveg}}=1,5, \theta)$ -szor nagyobb fényintenzitást nyel el ahhoz az esethez képest, amikor vízcsepp nélkül éri közvetlen napfény

ugyanazt a levelet. A 6.a ábráról leolvasható, hogy $\log_{10} Q(\theta=45^\circ) = 2,85$, azaz $Q(\theta=45^\circ) = 707,9$.

Tehát $\theta = 45^\circ$ esetében az üveggömb fókusztartományának levéllemezre eső részén a levél 708-szor nagyobb intenzitású napfényt nyel el, mint amikor nincs üveggömb a levélen. Az 1. kísérletben a fényintenzitás fókusztartománybeli több, mint meghétszázszorozódása okozta tehát a juharlevelek napégését (4. ábra).

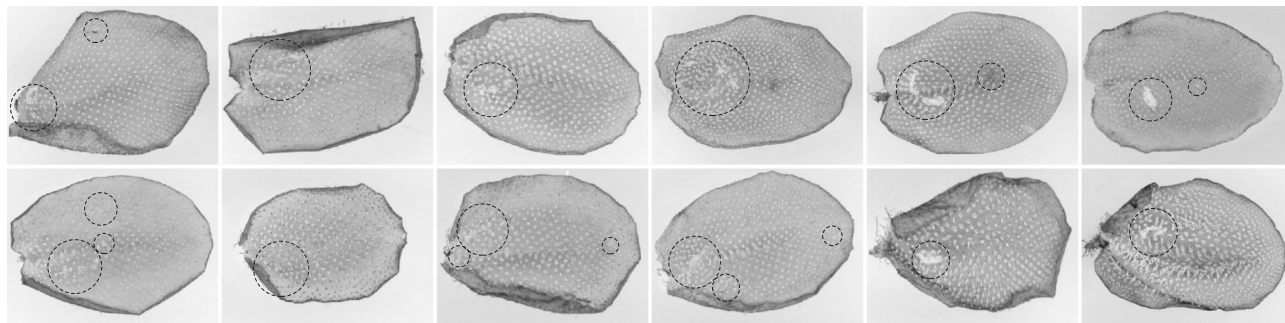
Mivel (i) eső, illetve öntözés után a leveleken megtapadt vízcseppek általában nem gömbölyűek (2.b ábra), (ii) a víz törésmutatója ($n_{\text{víz}} = 1,33$) jóval kisebb, mint az üvegé ($n_{\text{üveg}} = 1,5$), és (iii) a levelekhez tapadt vízcseppek hűtik a levélszövetet, a vízcseppek napfényfókuszálása nagyban különbözik az 1. kísérletbeli üveggolyókéétól. Ezért végeztük el a 2. kísérletet, amelyben vízszintes, sima, vízcseppekkel borított páfrányfenyő- és juharlevelet tettünk ki napfénynek (2. ábra), hogy modellezzük azt az esetet, amikor eső vagy öntözés után közvetlen napfény éri a vízszintes leveleket.

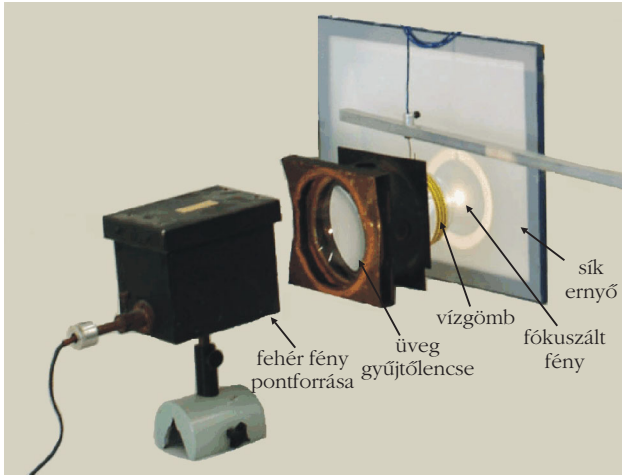
A 2. kísérletben a vízcseppekkel borított vízszintes páfrányfenyő- és juharlevelek nem szenvedtek semmiféle szemmel látható napégést (barnulás). Ebből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy vízszintes páfrányfenyő- és juharleveleken ülő vízcseppek nem képesek kiegészíteni (bebarnítani) a levélszövetet. Figyelembe véve a széles körben elterjedt azon vélekedést, hogy a leveleken megtapadó vízcseppek napsütésben napégést okoznak, ezen eredményünk váratlan volt.

A 2. kísérletben a vízszintes, sima levéllemezhez tapadt vízcseppek fókusztartománya határozottan a levélszövet alá esett, így a cseppek által fókuszált napfény intenzitása a levélen nem volt elég nagy a napégéshez. Ha egy vízcsepp távolabb helyezkedhet el a levél felszínétől, akkor fókusztartománya a levéllemezre eshet, így már okozhat napégést a levélszövetben. E helyzet általában akkor állhat elő, amikor szőrös levelekre kerülnek vízcseppek, s a viaszos, víztaszító szőrök a vízcseppeket a levéllemez fölé tartják.

A 3. kísérletet ilyen helyzet tanulmányozásáért végeztük el. Itt a rucaöröm (*Salvinia natans*) szélsőségesen nagy vízlepergető-képességű, szőrös, vízcsepes leveleit tettük ki közvetlen napfénynek (3. ábra). A rucaörömlevelek szőreit vékony, víztaszító viasz-

7. ábra. Napégési foltok – körökkel jelölve – a rucaöröm (*Salvinia natans*) szőrös, zöld levelein, a 3. kísérlet végén. (Az ábra színes változatát a hátsó belső borítón közöljük.)





8. ábra. A 4. kísérlet elrendezése, amelyben egy vízgömbnek egy sík ernyőre történő fényfokuszálását vizsgáltuk.

szálak kötegei alkotják, amelyek nagyobb vízcseppeket is képesek olyan magasságban tartani, hogy a cseppek nem érnek a levéllemezhez (3.b-d ábrák). A 7. ábrán néhány rucaörömlévről látható a napfényrel való besugárzás után. E leveleken jól kivehetőek a barna napégéses foltok. A 3. kísérlet alapján azt mondhatjuk, hogy eső vagy öntözés után napsütésben a levelek víztaszító viaszszőrei által tartott vízcseppek okozhatnak napégést a levélszövetre fókuszált fény intenzitásának nagy értékei miatt.

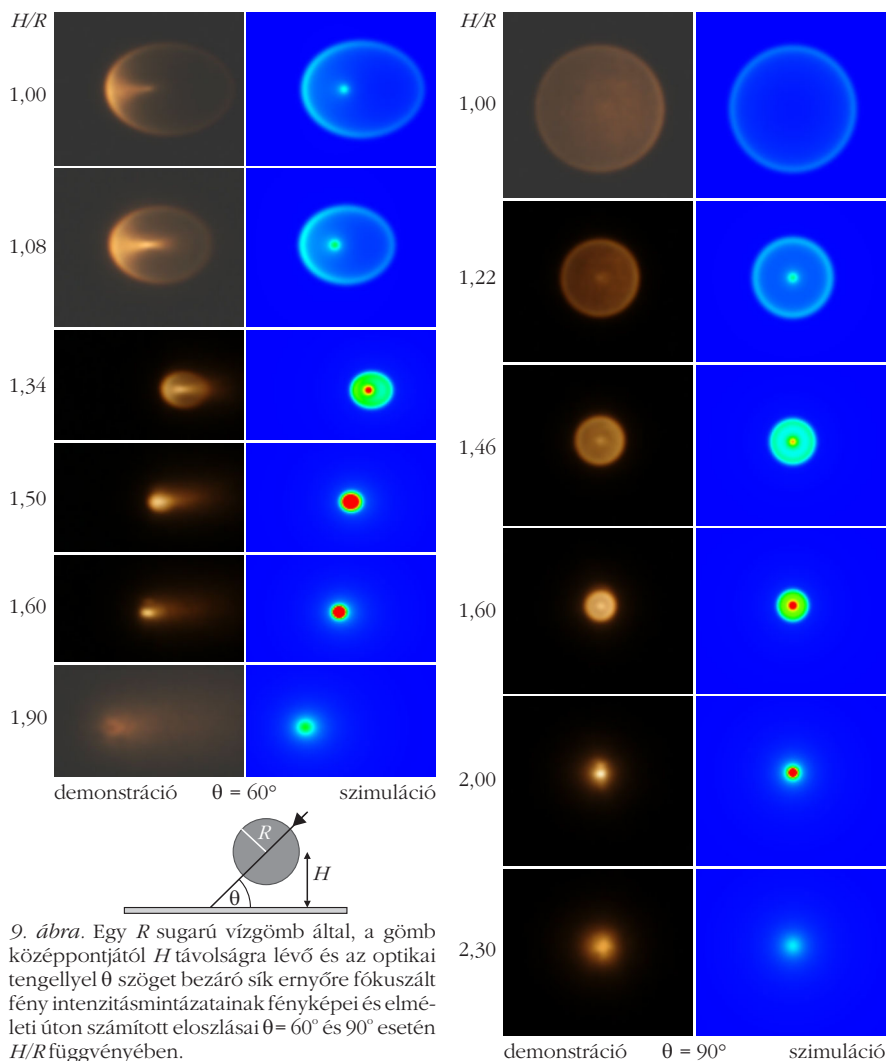
A 9. ábra egy R sugarú vízgömb által, a gömb középpontjától H távolságra lévő és az optikai tengellyel θ szöget bezáró sík ernyőre fókuszált fény intenzitásmintázatát szemlélteti $\theta = 60^\circ$ és 90° irányszögek esetén. Ugyanitt láthatók az adott H/R arányhoz számítógépes modellezéssel számított intenzitásmintázatok is. Jól látszik, hogy a számított intenzitásmintázatok közel állnak a valós (fényképezett) mintázatokhoz. A 10. ábra a vízgömb Q fénygyűjtő-képessége és a levélszövet által elnyelt I intenzitás 10-es alapú logaritmusát mutatja a kísérlet (8., 9. ábra) H/R értékeinek függvényében $\theta = 60^\circ$ és 90° mellett. Q és I akkor maximális, ha az ernyő a vízgömb fókuszstartományát metszi ($H/R = 1,6$ és $2,0$, mikor $\theta = 60^\circ$ és $\theta = 90^\circ$). Ekkor $\log_{10} Q$ és $\log_{10} I$ elérheti a $2,6$ – $2,8$ és $5,2$ – $5,35$ értékeket is a bejövő fénynyaláb irányától függően. Ilyen erős fókuszálás akkor fordulhat elő, ha a vízcseppek egy

szőrös levélen ülnek. Ekkor a szőrök megfelelő távolságban tarthatják a gömbölyded vízcseppeket a levél felszíne fölött ahhoz, hogy súlyos égési sérüléseket okozzanak, ahogyan azt a 3. kísérletben megmutattuk (3., 7. ábra).

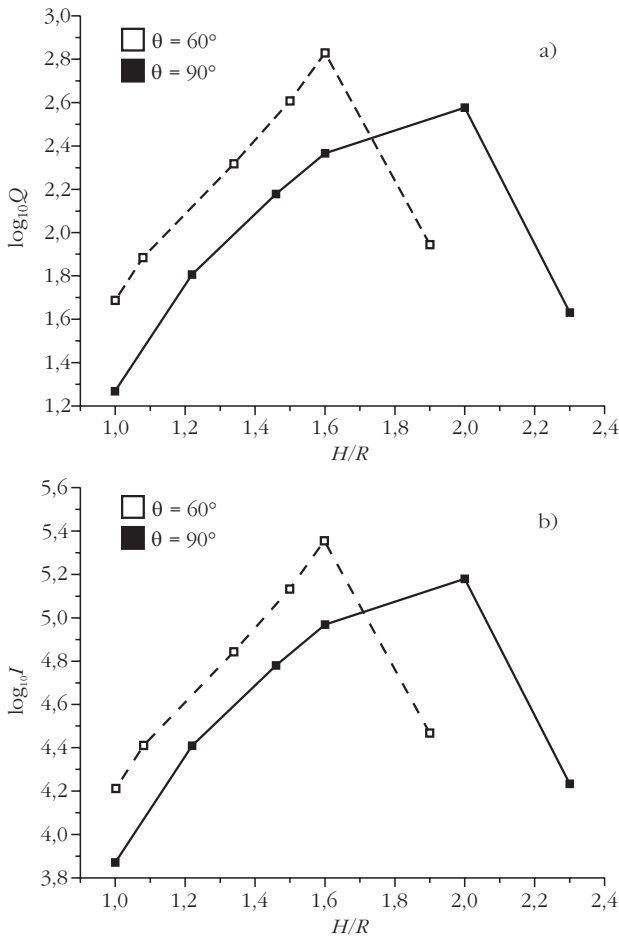
Elemzés és végkövetkeztetés

A növényi levelek nedvesítése jelentősen függ a levélfelület tulajdonságaitól, amelyek fontosak a levélfelület nedvesítő, vízáteresztő és vízmegtartó képességének, valamint a levegő és növény közti gázcsere meghatározásában és szabályozásában [3–6]. A nedvesítéssel kapcsolatban megemlíthetjük az úgynevezett lótuusz-hatást [7]: amikor esőcsepp hullik a lótuusz (*Nelumbo nucifera*) levelére, a vízcsepp egészen gömbölyűvé válik a levéllemezen. Ekkor a nedvesítési szög akár 160° is lehet.

A lótuuszlevélre hullott vízcseppek azonnal legerulnak, és ezáltal meg is tisztítják a levélfelületet a szennyöződésektől. E jelenség a levélfelület fölépítésének két szintjéből, valamint az őket borító viaszréteg jelenlétéből ered. Pásztázó elektronmikroszkóppal



9. ábra. Egy R sugarú vízgömb által, a gömb középpontjától H távolságra lévő és az optikai tengellyel θ szöget bezáró sík ernyőre fókuszált fény intenzitásmintázatainak fényképei és elméleti úton számított eloszlásai $\theta = 60^\circ$ és 90° esetén H/R függvényében.



10. ábra. A 8. és 9. ábrabeli R sugarú vízgömbre számított $\log_{10} Q$ és $\log_{10} I$ értékek H/R függvényében $\theta = 60^\circ$ és 90° -ban beeső párhuzamos fénynyaláb esetén, ahol H az ernyő és a gömb középpontjának távolsága.

megvizsgálva egy lótuuszlevelet azt láthatjuk, hogy mikrométer nagyságrendű egyenetlenségek és azokon belül nanométer nagyságrendű szőrök borítják a levél egész felszínét. E kétskálás egyenetlenség teszi lehetővé, hogy levegő szoruljon a levél és a ráhulló vízcsepp közé. Ekkor a lótuuszlevélnek nagy a nedvesítési szöge, s ez felelős a víz lepergéséért is. A lótuuszlevél viselkedhet víztaszító, illetve nedvesítő felületként is attól függően, hogy a vízcsepp miként kerül a felszínére [7]. A kísérleteinkben vizsgált páfrányfenyő- és rucaörömlevelek szintén erősen víztaszítóak voltak.

A növényi levelek felületi struktúrája nagyban befolyásolja a levélhez tapadt vízcseppek által a levéllemezre fókuszált napfény fiziológiai következményeit. Ha eső után a leveleket vékony vízréteg borítja, akkor a levelek mindaddig csak kevésbé képesek lélegezni, amíg el nem párolog róluk a víz, mivel a gázcserenyílásokat a víz elzárja. Hogy ezt elkerüljék, bizonyos növények hatékony módszereket fejlesztettek ki a víz lepergetésére [8]:

a) Mikroszkopikus méretű vízlepergető képződmények (például víztaszító viaszszőrök, bordák) alakultak ki a levél felszínén, hogy megnehezítsék a víz megtapadását.

b) A levél felszínén különböző makroszkopikus struktúrák vezetnek el a vizet (vízelvezető csatornák, levélcúcs).

Általános szabály, hogy minél nagyobb a levélfelszín nedvesítési szöge (azaz minél víztaszítóbb), annál kevesebb vizet képes megtartani a levél. A vízcseppek könnyen legurulnak például a lótuusz, páfrányfenyő és rucaöröm nagyon víztaszító leveleiről, ha azok kissé dőltek a vízszinteshez képest.

Az 1. kísérletben (1. ábra) megmutattuk, hogy napsütésben vízszintes, sima leveleken nyugvó üveggolyók megégetik a leveleket (4. ábra), mert egy optikailag homogén üveggolyó fókuszterománya a napfény beesési szögének széles tartományában közel kerülhet, illetve pontosan ráeshet az alatta levő levéllemezre. Amíg a napfény beesési szöge ebben a tartományban van, az üveggolyó által a levélfelszínre fókuszált napfény intenzitása igen nagy, ami napégést (barnulás) okoz. Mialatt a Nap az égen halad, a golyó fókuszterománya egy barna (beégett), ívelt vonalat hagy maga után a levélszövetben (4. ábra).

Természetesen az üveggolyós 1. kísérletünk eredményei alapján nem állítható, hogy a leveleken megtapadó vízcseppek is képesek kitétni a levélszövetet napsütésben. A vízcseppek jóval kisebb törésmutatóval ($n_{\text{víz}} = 1,33$) rendelkeznek, mint az üveggolyók ($n_{\text{üveg}} = 1,5$), így kisebb a fénytörőerejük is.¹ Továbbá, a leveleken ülő vízcseppek alakja általában ellipszoidhoz hasonló, azaz egy gömbnél laposabb. Ez még inkább hozzájárul a fénytörőerő csökkenéséhez az üveggolyóhoz képest. Mindebből azt szűrhetjük le, hogy sima, vízszintes leveleken lévő vízcseppek fókuszterománya messze a levél síkja alá esik mind magas, mind közepes vagy alacsony napállásoknál. A vízcseppek fókuszterománya az őket tartó levél síkjára csak nagyon alacsony napállás esetén eshet. Ekkor viszont a lemenő Nap fényének intenzitása már túl kicsi ahhoz, hogy égést okozzon a levélszövetben. Ez a fő oka a 2. kísérlet (2. ábra) eredményének, miszerint vízszintes leveleken nyugvó napsütötte vízcseppek nem okoznak égési sérüléseket a levélszövetben, függetlenül a napmagasságtól és a cseppalaktól. Megjegyezzük, hogy a 2. kísérletben (1. táblázat) a θ napmagasság kicsi (1. besugárzás), közepes (2. besugárzás) és nagy (3. besugárzás) volt, továbbá a levélhez tapadt vízcseppek szinte gömbölyűek voltak a páfrányfenyőleveleken, és lapos lencseszerűek a juharleveleken (2.b ábra).

Van még kettő további, fiziológiailag fontos különbség a levélen nyugvó üveggolyók és vízcseppek között:

- A vízcseppek, főleg a laposak, a levél felszínét nagyobb felületen érintik, mint az üveggolyók.
- A víz hűti a vízcsepp alatti levélfelületet, az üveggolyó viszont nem. Annyi mindenképp mondható, hogy a vízcseppek sokkal hatékonyabban hűtik

¹ Egy optikailag homogén közeg, például üveg vagy víz, fénytörőerején az $(n-1)/R$ mennyiséget értjük, ahol n a közeg törésmutatója és R a felület helyi görbületi sugara.

az alattuk elhelyezkedő levélszövetet, mint az üveg-golyók, s így jobban csökkentik a fókuszált napfény általi beégés veszélyét.

A 3. kísérletünket víztaszító viaszszőrökkel borított rucaörömleveleken ülő gömbölyded vízcseppekkel végeztük. E levelek nagyon hasonlóak a lótuszéihoz, amelyekről a nagyobb vízcseppek könnyen legurulnak a nagy nedvesítési szögnek köszönhetően. (1) A vízcseppek gömbölyded alakjának, (2) a cseppek levéltől való távolságának, és (3) a víz általi hűtés hiányának köszönhetően a rucaörömlevelek megégték a tűző napon (7. ábra). A rucaörömleveleken ülő vízcseppek gömbölyded volta nagy fénytörőerőt eredményezett. Továbbá az a tény, hogy a cseppek nem is értek hozzá a levélhez a viaszszőrök miatt, lehetővé tette, hogy a cseppek fókuszirtományai a levéllemezre essenek. A levélfelületre fókuszált napfény nagy intenzitása és a víz általi hűtés hiánya a levélszövet beégését eredményezte.

Minél inkább víztaszító egy levél felszíne, annál nagyobb a nedvesítési szög a víz és a levél kutikulája között, annál kisebb a levél vízmegtartó képessége, és annál gömbölyűbb a levélen ülő vízcsepp alakja. A nagyobb görbületük miatt a gömbölyded vízcseppek jobban megtörik a fényt, mint a lapos ellipszoid alakúak, ezért nagyobb a fénygyűjtőképességük, tehát nagyobb eséllyel okoznak égési sérülést a levélszövetben. Ennélfogva csak az erősen víztaszító levélfelületeken tudnak kialakulni annyira gömbölyded vízcseppek, amelyek napsütésben képesek égési sérüléseket okozni, viszont éppen az ilyen levelekről pereg le könnyen a víz már kis légmozgás, vagy a vízszinteshez képest már kis dőlésszög esetén is. Mindebből az a következtetés vonható le, hogy eső vagy öntözés után napsütésben az erősen víztaszító levelek nem szenvednek napégést, mert a víz jelentős része leperreg róluk.

Másrészről pedig a nedvesítő felületű leveleken, mint például a juharleveleken, a víz lapos cseppek formájában képes megtapadni a kis nedvesítési szögnek köszönhetően. Az ilyen vízcseppek lapultsága miatt fényfókuszáló-képességük igen gyenge, ezért nem okoznak napégést. Következésképpen, az eső vagy öntözés utáni napsütésben a nedvesítő levelek nem szenvednek napégést.

A fentiek alapján arra a végkövetkeztetésre jutunk, hogy a napsütötte vízcseppek gyakorlatilag soha sem okoznak napégést sem víztaszító, sem pedig szórte-len, sima nedvesítő leveleken. Mindezt jól alátámasztják a 2. kísérlet eredményei is.

Ugyanakkor a 3. kísérletben megmutattuk, hogy ha a levelet víztaszító viaszszőrök borítják, amelyek képesek a levélfelület fölött tartani a vízcseppeket, akkor tűző napon előfordulhat napégés a levélszövetben (7. ábra). Ezért az eső vagy öntözés utáni napsütésben a vízlepergető, szőrös növényi levelek (például a rucaöröm levelei) súlyos égési sérüléseket szenvedhetnek, ha a víz képes cseppek formájában megmaradni rajtuk. A szupervíztaszító szőrös levelek (például a lótusz és a rucaöröm leveleinek) nagy elő-

nye, hogy könnyen lepergetik magukról a vizet, aminek következtében a szennyeződésektől is megszabadul a növény. Azonban a szupervíztaszító felszínnek az az ára, hogy a víz igen gömbölyű cseppekké formálódik rajtuk, a szőrök a levéllemez fölött tarthatják a vízcseppeket, és ha azok mégiscsak a levélen maradnak, napégést okozhatnak.

Hangsúlyozzuk, hogy a levélszövet napégésszerű barna foltjait a következő környezeti tényezők is okozhatják:

- Savasesők miatt is keletkezhetnek elhalt szövetű, barna foltok a leveleken [9, 10].

- Tengerpartokon a növények levelei a megtörő hullámokból szétfröccsenő sós víztől is károsodhatnak. A levelekre került tengervízcseppekben a víz párolgása miatt a sókoncentráció egyre növekszik, így az ozmózis miatt a levélszövetből a cseppbe áramlik a víz, s ezen ozmotikus vízvesztés a levél barnulásához, elhalásához vezet [11].

- Esetleg a csapvízbeli só is eredményezhet levélbarnulást. A víz párolgása közben a vizeinkben gyakori ásványi sók olyan koncentrációsintet érhetnek el, ami már ozmotikus vízvesztés miatti levélbarnulást okozhat.

- Túl klóros csapvíz öntözéshez való használata is eredményezhet ozmotikus levélégést.

- Ha a növényekre túl sok tápanyagot, trágyát, vegyszert tartalmazó vizet permeteznek, akkor a leveleken megtapadó tömény oldatcseppek szintén eredményezhetnek barna foltokat a leveleken a levélszövet ozmotikus vízvesztése következtében [12].

E levélégéseknek természetesen semmi közük sincs a vízcseppek által fókuszált napfény nagy intenzitása miatti napégéshez. Botanikusok korábban már részletesen vizsgálták, hogy a növényi levelek felületi sajátosságai (például a viaszréteg és szórbevonat vastagsága, sűrűsége) miként határozzák meg a rajtuk kialakuló vízcseppek alakját, s általában a levelek víztaszító, illetve nedvesítő képességét [13].

Végül megemlíjtük, hogy napsütötte, meleg időben hideg víz permetezése, locsolása a növények leveleire fiziológiai stresszt okozhat, aminek ugyancsak valamilyen sérülés (például a levelek hervadása) lehet a következménye. Bár e sérülések nagyban különböznek a szőrökön ülő vízcseppek által okozott napégéstől, erősíthetik azt az elterjedt tévhitet, hogy tűző napon veszélyes a növényeket öntözni, mert a rajtuk megtapadt vízcseppek a napfényt fókuszálva kiégetik a leveleket. Reméljük, hogy a cikkünkben bemutatott számítógépes és kísérleti eredmények segítenek tisztázni e tévhitet.

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük *Gnädig Péter*nek (ELTE Atomfizika Tanszék), amiért fölhívta a figyelmünket a cikkünkben tárgyalt optikai problémákra. Köszönjük *Haiman Ottó*nak (ELTE Biológiai Fizika Tanszék) és *Bérczes György*nek (ELTE Anyagtudományi Tanszék) a 4. kísérletünk számára kölcsönzött eszközöket. Köszönjük *Orlói László*nak, az ELTE Botanikus Kertje igazgatójának, amiért lehetővé tette a 3. kísérletünk elvégzését a budapesti fűvészkertben.

Irodalom

1. Egri Á., Horváth G., Horváth Á., Kriska Gy.: Beégethetik-e nap-sütésben a leveleket a rájuk tapadt vízcseppek? Egy tévhitkel terhes biooptikai probléma tisztázása. I. rész: Napfény forgáshozmetrikus vízcseppek általi fókuszlálásának számítógépes vizsgálata. *Fizikai Szemle* 60 (2010) 1–10.
2. Á. Egri, Á. Horváth, G. Kriska, G. Horváth: Optics of sunlit water drops on leaves: Conditions under which sunburn is possible. *New Phytologist* 185 (2010) 979–987. és a címlap.
3. G. E. Fogg: Quantitative studies on the wetting of leaves by water. *Proceedings of the Royal Society of London B* 134 (1947) 503–522.
4. P. J. Holloway: The effects of superficial wax on leaf wettability. *Annals of Applied Biology* 63 (1969) 145–153.
5. J. T. Martin, B. E. Juniper: *The Cuticles of Plants*. St. Martin's Press, New York, 1970.
6. B. E. Juniper, C. E. Jeffree: *Plant Surfaces*. Arnold, London, 1983.
7. Y-T. Cheng, D. E. Rodak: Is the lotus leaf superhydrophobic? *Applied Physics Letters* 86 (2005) 144101.
8. P.-G. de Gennes, F. Brochard-Wyart, D. Quéré: *Capillarity and Wetting Phenomena: Drops, Bubbles, Pearls, Waves*. Springer-Verlag, Heidelberg–Berlin–New York 2004.
9. B., Haines, M. Stefani, F. Hendrix: Acid rain: threshold of leaf damage in eight plant species from a southern Appalachian forest succession. *Water, Air, and Soil Pollution* 14 (1980) 403–407.
10. B. L. Haines, J. A. Jernstedt, H. S. Neufeld: Direct foliar effects of simulated acid rain II. Leaf surface characteristics. *The New Phytologist* 99 (1985) 407–416.
11. B. Appleton, V. Greene, A. Smith, S. French, B. Kane, L. Fox, A. Downing, T. Gilland: Trees and shrubs that tolerate saline soils

and salt spray drift. *Trees for Problem Landscape Sites* – Virginia State University, Publication 430-031 (2002)

12. L. Boize, C. Gudin, G. Purdue: The influence of leaf surface roughness on the spreading of oil spray drops. *Annals of Applied Biology* 84 (1976) 205–211.
13. C. A. Brewer, W. K. Smith, T. C. Vogelmann: Functional interaction between leaf trichomes, leaf wettability and the optical properties of water droplets. *Plant, Cell and Environment* 14 (1991) 955–962.

HIBAIGAZÍTÁS

Jelen cikk I. részének [1] 4. oldalán a (8) és (9) képletek hibásan jelentek meg. A helyes képletek:

$$I(\theta) = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} A(\lambda) Q[n(\lambda), \theta] \sin \theta I_{\text{Nap}}(\lambda, \theta) d\lambda, \quad (8)$$

illetve

$$\begin{aligned} I(\theta) &\approx Q(n, \theta) \sin \theta \int_{400 \text{ nm}}^{750 \text{ nm}} A(\lambda) I_{\text{Nap}}(\lambda, \theta) d\lambda \equiv \\ &\equiv Q(n, \theta) \sin \theta a(\theta), \quad (9) \\ a(\theta) &= \int_{400 \text{ nm}}^{750 \text{ nm}} A(\lambda) I_{\text{Nap}}(\lambda, \theta) d\lambda, \end{aligned}$$

ahol Q a vízcsepp fénygyűjtőképessége az alatta lévő vízszintes levélfelület egy adott pontjában. Egy vízcseppestes levél $Q(n, \theta)$ -szor nagyobb intenzitást nyel el a fókuszstartományban a cseppmentes esethez képest. E hibáért elnézést kérünk a tisztelt Olvasótól.

EMLÉKEZÉS PAÁL GYÖRGYRE

Paál György (1934–1992), a hazai kozmológiai kutatások úttörője volt. Halálát követően a Fizikai Szemle nem közölt róla nekrológot, bár tevékenysége és annak hatása alapján erre méltó lett volna. Születésének 75. évfordulóján most két egykori munkatársa emlékezik meg róla.

Paál György csillagász és fizikus 75 éve, Szilveszter napján született. Szakmai munkáját az 1950-es évek végén kezdte, galaxishalmazok, majd kvazárok vizsgálatával, olyan időben, amikor a nemzetközi tudományos kapcsolatok kiépítése és ápolása magyar kutató számára még nehézkes volt, a tudományos élet pedig át volt itatva a tekintélytisztelet (mind önkéntes, mind megkövetelt) legváltozatosabb formáival. Ilyen körülmények között a választott téma művelése nem volt könnyű.

Mégis, a fiatal kutató gyorsan rátalált két problémára, amelyek ma is a kutatás tárgyai, mert kielégítő magyarázatuk máig sincs: a galaxishalmazok tömeghiányára és a kvazárok néhány vöröseltolódás táján tapasztalható „sűrűsödésére”. Az elsőről ma úgy gondoljuk, az egzotikus „sötét anyag” lehet a megoldása, ha ma még nem is tudjuk, *mi* is e sötét anyag, és nehezebb is a sötét anyagot egy galaxishalmazban elhelyezni, mint az egész Univerzumban. A második probléma egyrészt megfigyelési tény, másrészt a „józan észnek” látszik ellentmondani, legalábbis egy nem végtelenül öreg Univerzumban; de megfigyelési adatok sokasága

és az általános relativitáselmélet biztosít minket arról, hogy az Univerzum csak 1-2 tucat milliárd éves. Megemlékezésem végső része Paál Györgynek a „sűrűsödés” problémájából kinőtt munkásságával foglalkozik, de előbb néhány más témát is felidézek, már csak az érdekesség kedvéért is.

Magam 1981-ben kerültem munkakapcsolatba Paál Györggyel. Ennek első értékelhető eredménye az 1982-es *Csillagászati évkönyv*ben megjelent cikk volt [1]. A téma ősi: úgy tűnik, mintha valami közvetlen kapcsolat volna a mikrovilág (atomok, parányok, részecskék...) és a megvilág (Világegyetem, galaxishalmazok...) közt, de ennek magyarázata ismeretlen. Mivel e témát szinte csak filozófusok művelték 2500 év óta, senki meg nem akadályozhatta, hogy hozzá ne tegyék: „és az ember középen áll”. Azonban a kérdést nem csak misztikus irányból lehet megközelíteni: a mi konklúziónk az lett, hogy az általános relativitáselmélet és a kvantumelmélet, némi kozmológiával együtt egészen jól tudnánk magyarázni az Univerzumban látható méret- és tömegskálákat, *ha* a részecskefizikusok tudnának mutatni még egy 30 eV körüli tömegű, semleges, feles spinű részecskét *is*; csak még nem tudnak. Az állítás ma éppannyira érvényes, mint három évtizede, a részecskefizikai elméletek változó *részleteitől* függetlenül.

1985-ben felismertük, hogy ha még nem is tudjuk megalkotni a *minden egyesítése* néven keresett elmé-

letet, de termodinamikája sok tulajdonságát már meg tudjuk mondani [2]. Mindenesetre ehhez olyan különböző területekről kellett együttműködőket toborozni, hogy a 4 szerző közül három legelőször csak a kész eredmény első konferencia-előadásán találkozott egymással, pedig mindenki budapesti.

1983-tól kezdve a Nagy Egyesítés keretében foglalkoztunk a nagyon korai és a korai Univerzum bizonyos problémáival alig Planck-idő utántól a galaxiskeletkezés kezdeti feltételeiig. Eme együttműködésben számos szerző különböző párosításokban több publikációt állított elő, de itt most csak kettőt említek meg. A *Cosmic Phase Transitions* című (Paál György számára már posztumusz) könyv [3], amely áttekinti az egész problémát, bár leginkább termodinamikai szempontból, míg az *Astrophysics and Space Science* folyóiratban megjelent cikk [4] megmutatja, hogy jelen részecskefizikai ismereteinkkel akár még egy jövőbeli katasztrófális kozmológiai fázisátmenet is összefér. Következni éppen nem következik belőlük; de a jelen közhangulatban akár még népszerűvé is válhat a scénárió, annál is inkább, mert e katasztrófa ráadásul még kauzalitási okokból teljesen megelőzhetetlen is lenne.

1989-ben megvizsgáltuk annak *termodinamikai* feltételeit, hogy az Univerzum akár végtelenül öreg is lehessen, dacára az általános relativitáselméletnek és annak, hogy nem látszik végtelenül öregnek [5]. Az öregedés elkerülésére természetesen másodfajú örkömozgó létezésére van szükség, azt azonban a termodinamika megengedi, már persze, mint jól tudjuk, ha a Pfaff-forma rangja 2-nél magasabb. Lehet, hogy a Planck-sűrűség közelében ez így is van, lehet, hogy nem; az eredménynek inkább csak filozófiai aspektusai vannak, de igaz.

És akkor most lássuk az eredetileg a kvazárok vörösetolódásainak eloszlásában észlelt sűrűsödésekből kinőtt kutatást! A vizsgálat az 1960-as években $z = 1,95$ hullámhossz arány táján először megfigyelt és teljesen érthetetlen sűrűsödésnek észrevétele és ennek eredménytelen diszkussziója után Paál György két korai cikkére megy vissza [6, 7]. Nevezetesen, a kvazárok világitótoronyként jelzik nekünk az Univerzum nagy léptékű szerkezetét, és ha az valamiért olyan, ami józan eszünknek furcsa, valószínűleg józan eszünkkel van baj, nem a világgal.

Az első próbálkozás bizonyos érdeklődésre talált, de 1990 táján már mindenki *Fang* idevágó tevékenységét hivatkozta csak; ugyan a *Fang*-cikkek hivatkozták Paál témairól írásait, viszont *Fang* világhírű lett a Tien An Men téri események után, Paál meg nem. 1991-ben egy nap kénytelen voltam a szobámban

egyszerre jelen lévő Paál Györgyöt és *Horváth István* aspiránsomat egy időre magukra hagyni triviális adminisztratív teendőim okából, és mire visszatértem, a két kolléga az Univerzum nemtriviális szerkezetének a kvazáreloszlásra gyakorolt hatását vitatta. A téma kutatása csökkenő intenzitással (aminek okát az Olvasó mindjárt megérti) máig folyik, az eredmény 4 nagyobb cikk [4, 8–10] néhány kisebb, és konferencia-előadások kötetekben.

A lényeg (az általános relativitáselméleti részletek nélkül), hogy *lehet*, hogy a kvazár- (és galaxis-) sűrűsödések ismétlődése csak *látszat*. (A galaxisok „falakban” való sűrűsödése 1989 óta jól ismert, nem utolsó-

sorban *Szalay Sándor* munkássága kapcsán, még ha a jelen évtizedben inkább csak 300 Mpc-nél közelebről folyik adatgyűjtés.) Nevezetesen nemtriviális topológiájú Univerzum esetén *látbat*juk ugyanazon falakat többször is. Az ilyen nemtriviális topológia persze a józan észnek ellentmond; de annak ellentmond az egész általános relativitáselmélet is (aminek oka *Einstein* egy híres kijelentése szerint az, hogy a józan ész a 18 éves korig tanult ismeretek összessége, és addig senki nem tanulja az elméletet).

Megint egyszer ígéretesen indultak a dolgok. De Paál György még 1987-ben egy kezelhető, de máig gyógyíthatatlan betegséget kapott. Ebből ugyan orvosai és felesége gondos gyógyításának

hála elkezdett felépülni, mint tevékenysége évszámából láthatjuk, munkaképességét visszaszerezte, de 1992 márciusában valószínűleg egy közönséges télvégi-tavaszeleji fertőzés egy nap alatt végzett vele. Munkáját így nem fejezhette be. Ám a sikeresek között ritka az olyan kutató, aki azt be is fejezi. A halál leg-többünkkel előbb-utóbb egyszerűen abbahagyatja.

Lukács Béla

Paál György, Gyurka, 1958-ban, közvetlenül az ELTE TTK fizikus szak elvégzése után került a Csillagvizsgáló Intézetbe, mint tudományos segédmunkatárs. Ő is, mint mindenki, aki az Intézet dolgozója lett, változócsillagok megfigyelését kapta feladatul *Detre László* igazgatótól. Lelkiismeretesen csinálta ezt a munkát, bár közben évekig a relativitáselméletet tanulta lelkesen és elképzelhetetlenül nagy szorgalommal. Még a hatvanas évek elején felesége, *Dravucz Aliz* közreműködésével csináltattak a MOM-ban egy nagyon pontos koncentrikus körsorozatot tartalmazó lupét, hogy piszkéstetői Schmidt-távcsővel készült felvételeken és a *Palomar Sky Atlason* galaxisszámlálásokat hajtsanak végre. Az anyag statisztikai feldolgozását is felesége végezte, aki a Kandó Kálmán Műszaki Főiskolán volt matematikatanár, és már ebben a korai időben számítástechnikát is



tanított. Ez az anyag és kutatás képezte Paál György első fontos publikációinak alapját.

Mindenben, nem csak a munkában volt kitartó. Az Intézetben ő volt az egyetlen, aki rendszeresen tudott oroszul – édesanyjának köszönhetően, aki felismerte az orosz nyelv szükségességét, és szorgalmazta fia orosztanulását. Gyurkát kértük mindig, ha orosz nyelvű cikket írtunk, hogy nézze át nyelvileg. Ezt a munkát is olyan türelemmel és kitartással csinálta, hogy mi, akik a segítséget kértük, már mind belefáradtunk, és legszívesebben abbahagytuk volna, de ő fáradhatatlanul kereste az egyre jobb kifejezéseket.

Orosznyelvtudása miatt az Intézetbe látogató szovjet vendégek kíséretét Detre László mindig rábízta ebben az időben, így *Kukarkin*, *Ambarcumjan* és *Zeldovics* kísérője is ő volt. Innen eredeztethető barátsága és sok-sok diszkusziója velük.

A kozmológia abban az időben is nagyon érdekelte az embereket. Számos alkalommal kértek tőle a TIT-ből vagy a televízióból ismeretterjesztő előadásokat. Előadója volt a Magyar Televízió által sugárzott Csillagászati Szabadegyetemnek is. Mindig a hallgatóság iránti alázattal és alaposággal készült fel ezekre az előadásokra is, mint ahogy utolérhetetlen pontos megfogalmazásokra törekedett ismeretterjesztő cikkeiben is. Többször kérték fel részvételre interdiszciplináris tudományos megbeszélés-sorozatokon, amelyeknek az összefoglaló kötetei számára írt cikkeiben tisztán, érthetően fogalmazta meg mondanivalóját. Számunkra, a kozmológián kívül álló csillagászok számára is nagyon hasznosak voltak ezek a világos összefoglalások (*Szádeczky Kardoss Elemér* által szervezett cikluselméleti és geonómiai konferenciák, szimmetria-konferenciák stb.).

Szeretett kirándulni, pingpongozni, vitorlázni. A hatvanas években még sötétedéstől világosodásig dolgoztunk a Csillagdában, hiszen a csillagokat csak éjszaka lehet megfigyelni. Sokszor éjfél körül maga Detre László hívott ki valakit egy pingpongmeccsre, és pihenésképpen mindenki szívesen játszott egy kicsit, aki nem vett éppen részt a megfigyelésekben. Ha Gyurka elkezdte, képes volt egyfolytában több óra hosszát is játszani. A 16 órás őszi-téli munkanapok után hosszú nyári szünetet tartott, hogy kedvenc sportjának, a vitorlázásnak élhessen. Több versenyt is nyert.

Nagyon szerette a komolyzenét, csodálatosan zongorázott. Óriási élmény volt számunkra férjemmel, *Almár Ivánnal*, amikor náluk vendégeskedvén Bach *Das Wohltemperierte Klavier* című művének egyes részleteit mutatta be nekünk óriási hanglemmezgyűjteményéből több előadóval, majd maga is a zongorához ülve interpretálta például *Richter* feszes játékát.

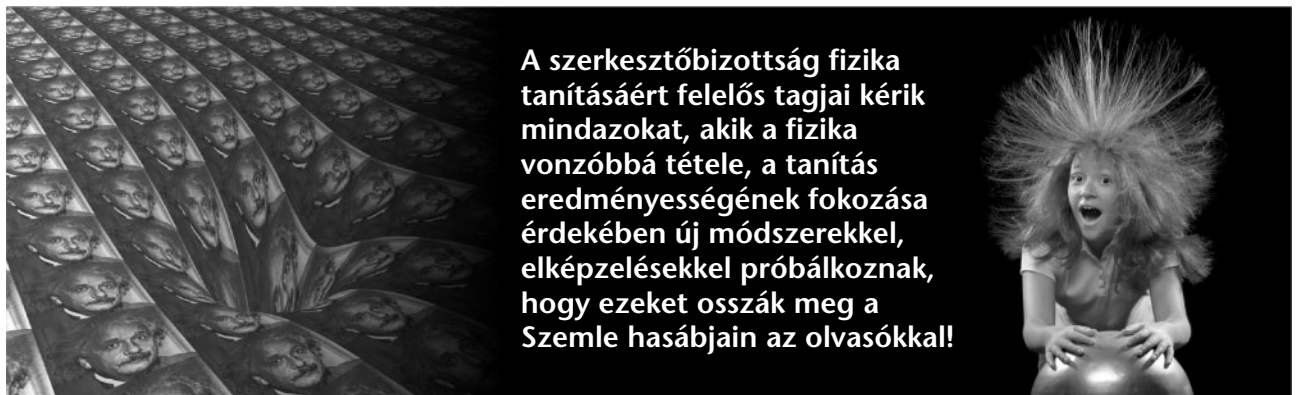
Betegsége hirtelen indult, és sok mindenben akadályozta. Amikor az orvosok már csak fél évet jósoltak neki, felesége minden lehető és lehetetlent próbált. Emberfeletti szorgalommal gondozta és látta el rengeteg vitaminnal, amitől még további éveket kapott, amelyek értelemmel és étellel telhettek meg a *Lukács Bélával* és Horváth Istvánnal közös diszkusziók és munkák során.

Már súlyos beteg volt, amikor Szalay Sándor egy akadémiai kitüntetésre akarta őt felterjeszteni, és ekkor kért tőle egy összeállítást munkáiról. Sajnos a felterjesztésre már nem kerülhetett sor, de a lista nagy segítséget jelentett, amikor Paál György halála után publikációit ezen összeállítás alapján sikerült összegyűjteni. A lista megtalálható az MTA KTM Csillagászati Kutatóintézet honlapján: <http://www.konkoly.hu/memorial/Paal-publications.pdf>.

Illés Erzsébet

Irodalom

1. Lukács B., Paál Gy.: A világ szerkezeti állandói. *Csillagászati évkönyv 1982*. 250. o. Gondolat, Budapest, 1981.
2. Diósi L., Lukács B., Martinás K., Paál Gy.: On the Thermodynamics of the Vacuum. *Astroph. Space Sci.* 122 (1986) 371.
3. B. Kämpfer, B. Lukács, G. Paál: *Cosmic Phase Transitions*. Teubner, Stuttgart-Leipzig, 1995.
4. G. Paál, I. Horváth, B. Lukács: Inflation and Compactification from Galaxy Redshifts? *Astroph. Space Sci.* 191 (1992) 107.
5. B. Lukács, G. Paál: Nontrivial Pfaffian Forms in Cosmology. *Acta Phys. Hung.* 66 (1989) 321.
6. G. Paál: Red Shifts and Quasars. *Science* 1970/6, 101.
7. G. Paál: The Global Structure of the Universe and the Distribution of Quasi-stellar Objects. *Acta Phys. Hung.* 30 (1971) 51.
8. Á. Holba, I. Horváth, B. Lukács, G. Paál: Cosmological Parameters and Redshift Periodicity. *Astroph. Space Sci.* 198 (1992) 111.
9. Á. Holba, I. Horváth, B. Lukács, G. Paál: Once More on Quasar Periodicities. *Astroph. Space Sci.* 222 (1994) 65.
10. B. Lukács, N. Fáy: An Attempt to Check Homogeneity at Large Scales by Using Galaxy Samples. *Astron. Astrophys.* 481 (2008) 629.



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

AZ EÖTVÖS-VERSENY EREDMÉNYHIRDETÉSE

Ismét egy sikeres országos verseny eredményhirdetésén vehettünk részt 2009. november 27-én délután az ELTE Konferenciatermében.

A hagyományoknak megfelelően a meghívott versenyzőkön, tanáraikon és a versenybizottság tagjain kívül vendégek voltak a 25 és 50 évvel korábban díjazottak, valamint érdeklődő egykori versenyzők és a büszke családtagok.

Az ünnepséget *Radnai Gyula*, a versenybizottság elnöke nyitotta meg. Üdvözölte a jelenlévőket a Versenybizottság és az Eötvös Loránd Fizikai Társulat nevében.

Nyitó szavaiból megtudhattuk, hogy a társulat 1916 óta rendez fizikaversenyt frissen érettségizett diákok számára. 50 évvel ezelőtt *Vermes Miklós* volt a versenybizottság elnöke és tagjai között találhattuk *Károlyházy Frigyes*t is. 1959-ben csak érettségizettek vehettek részt a versenyen, ahol 103 dolgozat érkezett, közülük 19-en még nem voltak egyetemisták vagy főiskolások.

Feladatok 1959-ben, 50 évvel ezelőtt

1. feladat (1 pont)

Vízzel telt nagy henger vízszintes helyzetű tengelye körül állandó szögsebességgel forog. A víz teljes mennyisége ugyanazzal a szögsebességgel mozog. A vízbe apró fémgolyót teszünk. A golyócska a víz forgása következtében nem süllyed a henger faláig, hanem a földhöz viszonyítva egyensúlyi helyzetben lebeg. Melyik körnegyedben helyezkedik el a fémgolyócska? (Megokolással.) Állapítsuk meg pontosan a fémgolyócska helyét! (A közegellenállási erő dinben egyenesen arányos a golyó rádiuszával és a viszonylagos sebességgel, az arányossági szorzó $k = 0,2$, ha a sebességet cm/s-ban, a golyó rádiuszát cm-ben mérjük.) Mi történik fagolyó esetében? Felvehető számértékek: golyó rádiusza 1 mm, fémgolyó esetében a sűrűség $1,7 \text{ g/cm}^3$ (magnézium), fagolyó esetében $0,3 \text{ g/cm}^3$, a szögsebesség $\omega = 10 \text{ s}^{-1}$.

2. feladat (1 pont)

Vízszintes alapon egymáson fekszik két, egyenként 5 kilós téglá. A felső téglá, fedőlapjáról kiinduló fonállal egy állan-

dó ponthoz van rögzítve. A fonál a függőlegessel 30° -os szöget zár be. A súrlódási együttható mindenütt 0,2. Mekkora erővel lehet az alsó téglát vízszintesen elhúzni?

3. feladat (1 pont)

Helyezzünk el tőlünk nagy távolságban egy üvegkockát. Nézzük a kockát az alaplap átlójának meghosszabbításából. Mit látunk a kocka belsejében? (Törésmutató 1,5.) Mit látunk, ha a kockát az asztalon elforgatjuk?

Az első díjat ebben az esztendőben nem osztották ki, mert volt egy feladat, amelyre nem született egyetlen teljes értékű megoldás sem. A második díjat megosztva *Tusnady Gábor* és *Magos András* kapta, a harmadik díjas *Dániel Gábor* lett.

A feladatok ismertetése után *Tusnady Gábor*, aki jelenleg az MTA rendes tagja és a Rényi Alfréd Matematikai Intézet Valószínűségelméleti és Statisztikai Kutatási Osztályán dolgozik, felolvasta visszaemlékezését. Megtudhattuk, hogy az eredményhirdetés akkoriban a Gólyavárban volt. Már a rendezvény megkezdése előtt rádióriporter állította meg, akit a hengerben forgó folyadék és a benne mozgó golyócskák nem nagyon érdekeltek, fizikáról kevés szó esett. Elmondta, hogy a riport után hideg zuhanyként érte, hogy az első díjat nem osztották ki.

Idézet az elhangzottakból: „Egy jó iskola nem az eredményeket tanítja, hanem a hozzájuk vezető utat. ... Abban a kis városban ahol éltem, senki nem tudta, hogy a matematikusok csak az első két év után válnak ki a matematika-fizika szakos tanárok közül, a fizikusok viszont eleve külön indulnak. A verseny után vál-

Akkor és most. Az 50 évvel ezelőtti győztesek: *Tusnady Gábor*, *Magos András* és a 25 éve diadal-maskodók: *Kós Géza*, *Fáth Gábor* valamint *Fodor Gyula*.



tani akartam, elmentem a dékáni hivatalba, ahol Szabó Sándor jóindulatúan azt mondta, maradjak ott, ahol vagyok. Ezért nem lettem fizikus, amit nagyon sajnálok. Akkor talán jobban érteném a matematikát. De jobb lett volna, ha vegyésznek megyek, és legjobb, ha biológusnak. Mert azt látom, hogy a fehérjéket megérteni a legfontosabb dolog. Hogy melyiknek mi a funkciója. Csak fogalmunk sincs róla, hogy mit is kellene megtanulnunk ahhoz, hogy ezt megtudjuk. Ehhez kívánok sok szerencsét az ideai verseny résztvevőinek.”

Ezután Magos András szólt a vendégekhez. Ő most a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszékén docens. Köszöntő szavai után a tehetség, a szorgalom, a kreativitás, a várható életpálya viszonyáról beszélt. Érdekes, elgondolkoztató, hogy szavai szerint igazi kreativitás a sikeres versenyzéshez még nem kell.

A mostani díjazottakhoz szólva tanácsolta, hogy a meglévő gondolkodási, beleélési erő mellé keressék meg önmagukban a kreativitást, találják meg az örömet a választott munkában, és feltétlenül olvassák el *Simonyi Károly A fizika kultúrtörténete* című csodálatos könyvét.

Következtek a 25 évvel ezelőtti események.

1984-ben a bizottság tagjai voltak *Boros János*, *Károlyházy Frigyes*, *Radnai Gyula* és *Vermes Miklós*. 180 dolgozat érkezett, ebből 54 volt a már érettségizett diák munkája. Tudjuk, hogy ezekben az években már középiskolások is versenyezhettek, a verseny első tíz helyezettje felvételi vizsga nélkül mehetett olyan egyetemre, ahol matematika és fizika volt a felvételi tantárgy. Komolyan befolyásolta a részvételt az is, hogy ekkor az egyetemre felvett fiúk egy év katonai szolgálatra vonultak be, és a verseny eltávozási lehetőségét jelentett nem sokkal a bevonulás után.

Feladatok 1984-ben, 25 évvel ezelőtt

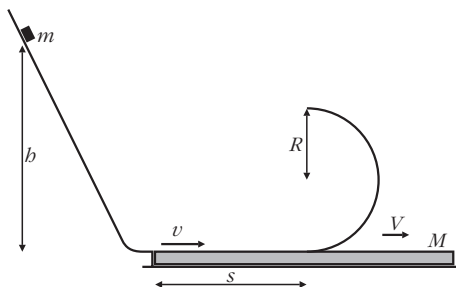
1. feladat (1 pont, kitűzte *Holics László*)

Vízszintes síkhoz törésmentesen csatlakozó lejtőről kisméretű, m tömegű testet csúsztatunk le egy M tömegű kocsi, amelyre középen félhengerpalást van erősítve. A kis test felcsúszik a félhengeren és éppen a félhenger tetején csökken a test és a pálya közötti erő zérusra. A kis test ezután függőlegesen, szabad eséssel éppen a kocsi szélére esik.

A súrlódás elhanyagolható.

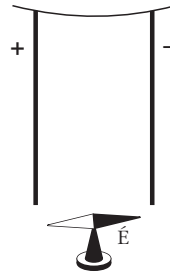
a) Milyen hosszú a kocsi?

b) Milyen h magasságból csúszott le a test?



2. feladat (1 pont, kitűzte *Károlyházy Frigyes*)

A henger fala és a dugattyú rúdja tökéletesen hőszigetelő. A dugattyú anyaga valamelyest hővezető. Kezddő állapotban mindegyik térfélben 1-1 mol hélium van, 273 K hőmérsékleten. El lehet-e érni a dugattyú mozgásával, hogy valamelyik térrészben 120 K-re csökkenjen a hőmérséklet?



3. feladat (1 pont, kitűzte *Radnai Gyula*)

Egy párhuzamosan elhelyezett lemezekből álló kondenzátor fel van töltve. A lemezek alsó széle alatt kis iránytű áll. Ezután a lemezek tetejére helyezett pálcával a kondenzátort kisütjük. Hogyan viselkedik a kisülés közben az iránytű?

Az eredmények

I. díj: *Kós Géza*, II. díj: *Csillag Péter*, *Czigler Zoltán* és *Fáth Gábor*, III. díj: *Fodor Gyula* és *Németh-Bubín Ákos*.

A díjazottak közül *Kós Géza*, *Fáth Gábor* és *Fodor Gyula* lépett a mikrofonhoz. Miközben a vendégek szavait hallgattuk, diákkori képeiket is megismerhetjük a *KöMaL* képcsarnokából.

Kós Géza, az 1984-ben rendezett verseny győztese, jelenleg az ELTE Analízis Tanszékének egyetemi adjunktusa, és az MTA Számítástechnikai Kutatóintézetnek tudományos főmunkatársa. A fiatalokhoz szólva elmesélte, hogy matematikából volt eredményesebb középiskolás korában. Ezt a tárgyat heti 8 órában tanulta, ehhez kapcsolódott a *KöMaL* havi 8 gyakorlata, 6 feladata és két pontversenyen kívüli feladványa. Fizikával viszonylag alacsony óraszámban találkozott, és a *KöMaL* fizika feladatait csak néha oldotta meg. Matematikai felkészültsége segítette abban, hogy kiemelkedően szép megoldást adhatott az első feladat részletes diszkussziójával.

Élénk szavakkal esetelte a dolgozat megírásának perceit. Ebben az időben még III. osztályos középiskolás lévén, a feladatokhoz szükséges elmélet egy részét még nem tanulta, de a magával vitt hasznos Szalai-féle könyv, „némi blöff, szerencse és megérvés” átsegítette a nehézségeken.

Fáth Gábor egyetemi éveit után a KFKI-ban dolgozott, fizikusként szilárdtestfizikával, illetve statisztikus fizikával foglalkozott. 2006 óta a Morgan Stanley-nél, egy amerikai befektetési banknál dolgozik, jelenleg a budapesti matematikai modellező csoport vezetője, itt alkalmazza fizikából szerzett ismereteit is. A versenyre visszaemlékezve elmondta, hogy az érettségi vizsga után Lentiben volt katonai szolgálaton, honvédként indult a versenyen. Szomorúan vette tudomásul, hogy a dolgozat megírására Nagykanizsán is van lehetőség. Csak a jól sikerült dolgozatnak köszönhetően kapott egy nap eltávozást és jöhetett haza Budapestre, az eredményhirdetésre.

Tanácsként hangzott el, hogy ma egy fizikus végzettségű fiatalnak fel kell készülnie arra, hogy tíz-tizenöt évenként esetleg pályát kell változtatnia. Szakmai tapasztalata alapján állította, hogy a fizikai tanulmányok jó alapot adnak ahhoz, hogy a ma még diákok később azzal foglalkozhassanak, amivel szeretnének.

Fodor Gyula a KFKI Elméleti Fizikai Főosztályán dolgozik. Általános relativitáselmélettel foglalkozik. Középszintű éveiről kissé szégyenkezve mondta, hogy csak fizikából és matematikából volt jó, és az egyetemre a versenyeken elért helyezései alapján kerülhetett be.

Jelenlegi kutatási témájával már III. éves egyetemista kora óta foglalkozik.

A visszaemlékezések után Radnai Gyula a 2009. évben kitűzött feladatokat és azok megoldását ismertette. A megoldásokat várhatóan a *KöMaL* 2010. márciusi számában olvashatjuk majd.

Feladatok 2009-ben

1. feladat (kitűzte Honyek Gyula)

R sugarú, vékony falú plexigömb érdesített belsejében csúszásmentesen gördülve mozoghat egy r sugarú, tömör gumigolyó. A gömb a középpontján átmenő, vízszintes, rögzített tengely körül forgatható.

a) Mekkora periódusidejű, kis amplitúdójú mozgást végezhet a golyó a gömbben, ha a gömb áll, vagy ha a gömb egyenletesen forog? Hogyan fog mozogni a kezdetben nyugvó gömb abban a kísérletben, amikor a gömböt állandó, g/R -hez képest kicsiny szöggyorsulással egyre gyorsabban forgatjuk?

b) Ha a gömböt gyors forgásba hozzuk, majd hirtelen megállítjuk, a gömb alján addig egy helyben forgó golyó igen rövid idő múlva ismét tisztán gördül, és felgurulhat akár a gömb tetejéig is. Legalább mekkora szögsebességgel kell forgatnunk ehhez a gömböt?

A golyó tömegközéppontja minden esetben függőleges síkban mozog.

2. feladat (kitűzte Radnai Gyula)

Kör alakú asztal közepén áll egy nagyon vékony falú, hengeres üvegváza, amelyben egy gyertya ég. A henger átmérője 12 cm, tengelye függőleges, a láng közepe 2 cm-re van a váza tengelyétől.

Laci oldalról, a lánggal azonos magasságból nézi a vázát, és felfigyel arra, hogy a láng mellett a lángnak egy éles, határozott tükörképe is látszik a váza belsejében. Az asztalt körbejárva megállapítja, hogy a láng képének szélessége és a vázához viszonyított helyzete folyamatosan változik.

a) Milyen irányból nézve látszik a láng képe ugyanolyan szélesnek, mint maga a láng?

b) Milyen pályán mozog a láng képének közepe, miközben Laci körbejárja az asztalt?

A hengertükör leképezésére alkalmazhatjuk a gömbtükörre érvényes leképezési törvényt.

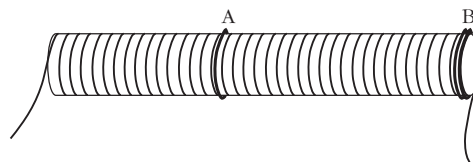


Az optika feladat kísérleti megvalósítása.

3. feladat (kitűzte Károlyházy Frigyes)

Egy hosszú, keskeny szolenoidban egyenáramot tartunk fenn. Legyen például a tekercs hosszúsága $l = 60$ cm, sugara $r = 2$ cm, menetszáma $n = 600$, az áramerősség $i_0 = 1$ mA.

A tekercset a közepe táján hézagmentesen körülveszük egy egyszerű, zárt vezető hurokkal (A), és egy ugyanekkora átmérőjű, de kettős hurkot (zárt, „kétmenetes tekercset”) (B) helyezünk el a tekercs szájánál is, az *ábra* szerint. A és B olyan anyagból készült, amely viszonylag könnyen szupravetetővé tehető, ohmikus ellenállása kellőképpen alacsony hőmérsékleten zérussá válik.



Kezdetben természetesen nem folyik áram A-ban és B-ben. De most lehűtjük, szupravetetővé tesszük őket, majd a szolenoid áramkörét megszakítjuk. Ekkor (mivel a mágneses fluxus, amely egy zárt szupravetető áramkörön halad át, nem változhat meg) az

Honyek Gyula, az olimpiai csapat egyik felkészítő tanára és a verseny győztese, Lovas Lia Izabella középiskolai tanára, Simon Péter. Előttük Fáth Gábor.





A gömbtükör, a váza és a virág a valóságban (balra) és a virág a vázában (jobbra).

Eredmények

A díjakat, jutalmakat – az ELFT elnöke, *Horváth Zalán* képviselésében – *Kádár György*, a Társulat főtitkára adta át.

Bevezetőként megosztotta a hallgatósággal a Magyar Tudományos Akadémián a természettudományos oktatással foglalkozó konferencián hallottakat. Aggasztó statisztikai adatokról hallhattunk. Megtudhatuk, hogy az egyetemek természettudományi karaira oly kevés a jelentkező diák, hogy a jövőben nem lesz aki művelni és tanítani tudná a természettudományokat.

Ennek oka az értelmiség, és ezen belül különösen a tanárok alábecsülése, akik úgy látszik nem képesek megszabadulni a nemzet napszámosának szerepétől.

Kádár György idézett *Szabó Gábor* professzor *Utolsó szögek a természettudományos oktatás koporsójában?* című előadásából, aki szerint a természettudományos oktatás helyzete már a gazdasági fejlődést fenyegeti. Javaslata az ötéves, egy ciklusú tanárképzés.

Ezt követően *Radnai Gyula* szólította a 2009-ben jutalmazottakat.

I. díjat kapott *Lovas Lia Izabella*, a BME fizika szakos hallgatója, aki Pécsen, a Leővey Klára Gimnáziumban érettségizett *Simon Péter* és *Kotek László* tanítványaként.

Megosztott II.–III. díjat kapott *Karsa Anita* (BME fizika szak, Budapest, Fazekas Mihály Gyakorló Gimnázium, *Horváth Gábor*), *Pálovics Péter* (Zalaegerszeg, Zrínyi Miklós Gimnázium, 12. évfolyam, *Orbán*

A hurokban valamekkora i_A , a kettős hurokban i_B áram indukálódik, amely fenn is marad.

1. Hasonlítsa össze i_A és i_B nagyságát! Közelítőleg egyenlők-e, és ha nem, melyik nagyobb a másiknál és hányszor?

2. A szolenoid adatainak ismeretében adjon valamilyen ésszerű becslést i_A értékére vonatkozóan!

Mint az elmúlt években, most is megcsodálhattunk néhány kísérletet. Ezek az optika feladathoz kapcsolódtak. Több példányban láthattuk a csiszolt üveghenger belsejében elhelyezett égő mécsest és annak az üveg által leképezett valódi képét.

A terem végében egy igen jó minőségű homorú gömbtükörrel szemléltette *Radnai tanár úr*, hogy a valódi kép nem csak ernyőn felfogva vizsgálható. Az emberi szem számára három dimenzióban érzékelhető, ha a tükörrel szemben állva a képtávolságnál nagyobb távolságból szemlélődünk.

A verseny győztese *Lovas Lia Izabella* az Eötvös-verseny éremmel (balra). A jobb oldali csoportképen balról: *Lászlóffy András*, *Wang Daqian*, *Farkas Márton Bence*, *Aczél Gergely* (hátsó sor), valamint *Kós Géza*, *Karsa Anita*, *Lovas Lia Izabella*, *Pálovics Péter*, *Tusnády Gábor* (első sor).



Edit) és *Varga Ádám* (Szeged, SzTE Sárvári Endre Gyakorló Gimnázium, 11. évfolyam, *Tóth Károly, Hilbert Margit*).

Dicséretben részesültek: *Aczél Gergely* (BME fizika szak, Pápa, Pápai Református Kollégium Gimnáziuma, *Somosi István*), *Farkas Márton Bence* (BME fizika szak, Budapest, Fazekas Mihály Gyakorló Gimnázium, Horváth Gábor), *Fülep Csilla* (Budapest, Fazekas Mihály Gyakorló Gimnázium, 12. évfolyam, Horváth Gábor), *Lászlóffy András* (PPKE, mérnök-informatika szak, Budapest, Piarista Gimnázium, *Futó Béla*) és *Wang Daqian* (Budapest, Fazekas Mihály Gyakorló Gimnázium, 12. évfolyam, Horváth Gábor).

Hét tanulóval ismerkedhettünk meg személyesen, ketten nem tudtak eljönni a díjkiosztó ünnepségre.

A jutalmazott diákok tanárai értékes könyvekből válogathattak, amelyeket a Vince Kiadó, az Akadémia Kiadó, a Matfund Alapítvány és az ELFT ajánlott fel.

Eötvös-verseny érem

A díjkiosztása után az ünnepség csúcspontja következett, az Eötvös-verseny érem átadása, amellyel az ELFT 2002 óta jutalmazza az I. díjas versenyzőt. Radnai Gyula ismét a győztest szólította. Lovas Lia Izabelláról elmondta, hogy a Mexikóban 2009-ben megrendezett diákolimpián egyetlen lányként ő szerzett aranyérmet az egyébként kiválóan teljesítő magyar csapatból, és most az Eötvös-versenyen is maga mögé utasította a fiúkat.

A verseny történetében eddig 1908-ban nyert *Orphanides Etelka*, 1929-ben kapott fizikából megosztott első díjat *Székely Lídia*. Azóta – fizikából – lány versenyző nem ért el kiemelkedő eredményt, míg most hárman is a jutalmazottak között vannak.



A 60 évvel ezelőtti helyezett Holics László Gnädig Péterrel.

Az érem átadása után igazi meglepetésben volt részünk. Radnai tanár úr így szólt: „Még nincs vége. Szeretném köszönten Holics László tanár urat, aki a 60 évvel ezelőtti Eötvös-verseny egyik díjazottja volt. Kérem, fogadja szeretettel ezen a szép évfordulón az Eötvös Loránd Fizikai Társulat ajándékát, Lánzos Kornél összes műveinek hat kötetbe szerkesztett kiadását.”

A rendezvény hivatalos része ezzel zárult, elkészült főszereplőiről a csoportkép. A vendégek állófogadáson még beszélgethettek, ismerkedhettek és megtekinthették közlelő is az összeállított kísérleteket.

Zárásként itt mondunk köszönetet a versenybizottság nevében a verseny támogatóinak, *Gutai László* fizikusnak az Egyesült Államokból, az *Indotek Zrt.*-nek és a *Ramasoft Zrt.*-nek Budapestről. Köszönet továbbá a képek készítőjének, *Harkai Zsoltnak*.

Zagyva Tiborné

Szent István Gimnázium, Budapest

XII. SZILÁRD LEÓ NUKLEÁRIS TANULMÁNYI VERSENY

II. rész: a döntő feladatai, a verseny értékelése

Sükösd Csaba
BME Nukleáris Technika Tanszék

I. Kategóriájú feladatok¹

1. feladat (kitűzte: *Sükösd Csaba* és *Tallián Miklós*)

a) A sötét színű szilíciumlapka az infravörös sugárzásra nézve átlátszó. Mi lehet ennek az anyagszerkezeti magyarázata?

b) A szilíciumszeletekre egyes esetekben szigetelő réteget (oxid vagy nitrid) növesztenek, ennek vastagsága a néhány nanométertől a néhány száz nanométerig terjedhet. Mit gondol, látható-e szabad szemmel egy ilyen réteg? Indokolja a választ!

¹ Ezen a versenyen is, mint az első Szilárd Versenyen (valamint 2004 óta ismét), a Junior kategória versenyfeladatai részben eltértek az I. kategória (11–12. osztályosok) feladataitól.

Megoldás: a) A szilícium félvezető szilárdtest, így elektronjainak energiája sávokba rendeződik. A vegyértéksáv telítve van, és a vezetési sávban lévő első üres állapot eléréséhez legalább $0,18 \text{ eV}$ ($1,8 \cdot 10^{-19} \text{ J}$) energia befektetése szükséges. A látható fény fotonjainak energiája ennél nagyobb, ezért a szilícium el tudja nyelni a látható fényt, emiatt sötét színű. Az infravörös fotonok energiája azonban kisebb, megközelítőleg $2 \cdot 10^{-22} \text{ J}$ és $8 \cdot 10^{-20} \text{ J}$ között van. Így ezen fotonok energiája nem elég a szilícium vegyértéksávjában lévő elektronok gerjesztéséhez. Emiatt az infravörös fény számára a szilícium átlátszó.

b) A szigetelő réteg maga nem látható, de a mérete (vastagsága) összemérhető a látható fény hullámhosszával. Így a réteg tetejéről és aljáról visszave-



A verseny győztese, Lovas Lia Izabella az elméleti feladatok megoldása közben.

rődő hullámok egymással interferálnak, és attól függően, hogy milyen irányból tekintünk a rétegre, más-más színt láthatunk, amelyet az adott irányban érvényes erősítés hoz létre.

2. feladat (kitűzte: Kaszás Dezső és Szűcs József)

Mekkora energiára lehetne felgyorsítani az egész Földet körülölelő gyorsítóban a protonokat, ha abban mindenütt a Föld saját mágneses indukciója tartaná körpályán a részecskéket? Mekkora lesz a protonok sebessége? Tegyük fel, hogy a „gyorsítógyűrű” éppen a Föld felszínén van!

Adatok: a Föld mágneses indukciójának értékét vegyük $30 \mu\text{T}$ -nak.

Megoldás: A centripetális erőt a mágneses Lorentz-erő szolgáltatja:

$$\frac{p^2}{mR} = BQv, \text{ ebből } p = BQR.$$

Az energia pedig relativisztikusan számolva:

$$E = \sqrt{p^2 c^2 + (m_0 c^2)^2}, \text{ azaz}$$

$$E = \sqrt{(BQR)^2 c^2 + (m_0 c^2)^2} = m_0 c^2 \sqrt{\left(\frac{BQR}{m_0 c}\right)^2 + 1}.$$

A mozgási energia:

$$E_{\text{kin}} = E - m_0 c^2 = m_0 c^2 \left[\sqrt{\left(\frac{BQR}{m_0 c}\right)^2 + 1} - 1 \right].$$

Behelyettesítve kapjuk: $E_{\text{kin}} = 56,27 \text{ GeV}$.

A sebesség pedig az

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = m_0 c^2 \sqrt{\left(\frac{BQR}{m_0 c}\right)^2 + 1}$$

energia kifejezése alapján

$$1 - \frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{BQR}{m_0 c}\right)^2},$$

amiből

$$v = c \sqrt{1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{BQR}{m_0 c}\right)^2}}.$$

Behelyettesítve, a felgyorsított protonok sebessége

$$v \approx c - 4 \cdot 10^4 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

3. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

A *Wigner Jenő* által tervezett első hanfordi atomreaktor (üzemanyag: fém urán, moderátor: grafit, hűtőközeg: víz) üzemviteli naplója szerint a reaktor 1944. szeptember 26-án kedden 23:48 perckor érte el először az üzemi teljesítményt. Valamivel később a teljesítmény fokozatosan csökkenni kezdett, majd a szabályozó rudak teljes kihúzása ellenére a reaktor szerda reggelre leállt. Csütörtökön reggel a reaktor váratlanul ismét elkezdett működni, magától. Vajon mi lehet a furcsa viselkedés oka?

Megoldás: A reaktor „xenonmérgezés” szenvedett. A reaktorban hasadási termékként sokféle izotóp, köztük ^{135}Xe (xenon) és ^{135}I (jódt) is keletkezik. A xenon más úton is szaporodik, mert a ^{135}I izotóp is xenonná alakul körülbelül 6 és fél órás felezési idővel.

A következő bomlási folyamatok mennek végbe:



A xenon nagyon jó neutronelnyelő anyag, mivel egy neutron elnyelésével mágikus neutronszám (82) alakul ki benne.

A felszaporodott, jó neutronelnyelő ^{135}Xe a reaktorban elnyeli a neutronokat („lemérgezi” a reaktort). Így a reaktor leáll, ha a tervezéskor nem veszik figyelembe ezt az effektust, és nem eleve olyanra tervezik, hogy a szabályozó rudakkal ezt kompenzálni lehessen. A leállt reaktorban a ^{135}I -ből egy ideig több ^{135}Xe keletkezik, mint amennyi a 9,2 órás felezési idővel történő radioaktív bomlása miatt fogy, így a ^{135}Xe mennyisége egy ideig tovább nő. Néhány óra múlva azonban a jódtizotóp már eléggé elfogy ahhoz, hogy kevesebb ^{135}Xe keletkezzen belőle, mint amennyi a ^{135}Xe radioaktív bomlása miatt fogy. Emiatt a ^{135}Xe mennyisége is csökkenni kezd, és egy idő után már annyira csökken (a „mérgezés” megszűnik), hogy a reaktor spontán újra tud indulni.

Ilyenkor az újraindulás veszélyes folyamat is lehet, hiszen az újra elindult reaktor a neutronok révén elkezd fogyasztani a ^{135}Xe -t ($^{135}\text{Xe} + n \rightarrow ^{136}\text{Xe}$), s ez tovább segíti az induló láncreakciót (pozitív visszacsatolás).

4. feladat (kitűzte: Radnóti Katalin)

Marie Curie doktori értekezésében lehet megtalálni a következő táblázatot:

e/m (elektromágneses egységben)	v (cm/s)	
$1,865 \cdot 10^7$	$0,7 \cdot 10^{10}$	katódsugaraknál
1,31 "	$2,36 \cdot 10^{10}$	rádiumsugaraknál
1,17 "	$2,48 \cdot 10^{10}$	
0,97 "	$2,59 \cdot 10^{10}$	
0,77 "	$2,72 \cdot 10^{10}$	
0,63 "	$2,83 \cdot 10^{10}$	

Mi látható a fenti adatsorból mai tudásunk szerint?

Megoldás: A relativisztikus tömegnövekedés első „bizonyítéka”. Ezt Einstein csak 1905-ben fedezte fel, cikke 1905. szeptember 27-én érkezett az *Annalen der Physik* szerkesztőségébe. A megjelenés dátuma: 1906. (Teljes pontszámot kapott az a diák is, aki nem tudta a dátumokat.)

5. feladat (kitűzte: Szűcs József)

1930-ban *Bothe* és *Becker* berilliumot sugároztak be alfa-részekkel. A besugárzás hatására nagy áthatólképességű semleges sugárzás keletkezett. *I. Curie* és *F. Joliot* a sugárzás mibenlétének felderítésére a sugárzás útjába parafinréteget tettek. Azt tapasztalták, hogy a sugárzás a parafinból nagy energiájú protonokat váltott ki. A protonok energiája maximum 5,7 MeV volt. Arra gondoltak, hogy a semleges sugárzás gamma-kvantumokból áll, azok lökik meg frontális ütközéssel a protonokat. Azonban a számítások szerint a gamma-fotonok energiájára szokatlanul nagy érték adódott. Semmilyen természetes és mesterséges magreakció során ilyen nagy energiájú gamma-sugárzást nem észleltek korábban. Ekkor támadt *J. Chadwick* skót fizikus ötlete: a semleges sugárzást nem gamma-fotonok, hanem semleges részecskék, neutronok alkotják.

a) Legalább mekkora energiájú gamma-fotonok lennének képesek a protonokat úgy meglökni, hogy azok mozgási energiája 5,7 MeV legyen?

b) Mekkora energiájúak lehetnek a protonokat meglökő neutronok, ha azok tömege közel azonos a protonok tömegével ($m_n \approx m_p$)?

c) Írja fel a kísérletben szereplő magreakció (alfa-sugarak esnek a berilliumra) helyes egyenletét!

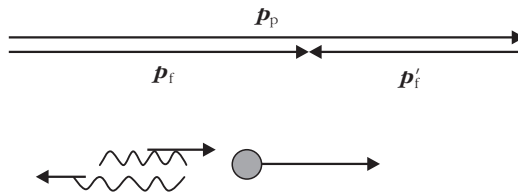
Megoldás: a) A fotonok frontális ütközés során adnak le legnagyobb energiát a parafinban állónak tekintett protonoknak.

Az ütközés lendület- és energiamegmaradás egyenletei (lásd az *ábrát*):

$$\frac{h}{\lambda} = p_p - \frac{h}{\lambda'}, \quad (1)$$

$$\frac{h c}{\lambda} = E_p + \frac{h c}{\lambda'}, \quad (2)$$

ahol p_p és E_p a meglökött proton lendülete, illetve mozgási energiája. A λ és λ' pedig a beérkező, illetve visszapattanó foton hullámhossza.



Az (1) egyenletet c -vel beszorozva, majd az (1), (2) egyenletet összeadva kapjuk:

$$2 \frac{h c}{\lambda} = c p_p + E_p.$$

A proton lendülete (nem-relativisztikusan):

$$p_p = \sqrt{2 m_p E_p},$$

így a gamma-foton energiája

$$E_f = \frac{1}{2} \left(c \sqrt{2 m_p E_p} + E_p \right) = 54,5 \text{ MeV}.$$

Megjegyzés: a kinetikus energiára nyugodtan alkalmazhatjuk a klasszikus formulát, mivel értéke kisebb a proton nyugalmi energiájának 1%-ánál.

b) Mivel a neutronok tömege közel akkora, mint a protonoké, ezért rugalmas, egyenes ütközéskor a teljes mozgási energiájukat át tudják adni, azaz a neutronok energiája is 5,7 MeV.

c) A reakció egyenlete: ${}^4_2\text{He} + {}^9_4\text{Be} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + n$.

6. feladat (kitűzte: Papp Gergely)

A foton effektív tömegére vonatkozó

$$m_{\text{eff}} = \frac{h \nu}{c^2}$$

összefüggést szeretnénk igazolni a gravitációs vöröseltolódás jelenségének segítségével. Ehhez egy torony tetejére helyezzük detektorunkat, a sugárforrást pedig alatta a földre tesszük. Hány százalékos pontossággal kell mérnünk a detektált fotonok energiáját, ha a sugárforrásunk 1 GBq aktivitású, és a méréshez legalább 1 foton/s beütési gyakoriság szükséges az 1 cm² felületű detektoron? ($g = 10 \text{ m/s}^2$)

Megoldás: Az egyszerűség kedvéért legyen a keresett mennyiség

$$x = \frac{\Delta E_{\text{grav}}}{E_\gamma}, \text{ ahol } E_\gamma = m_{\text{eff}} c^2.$$

A gravitációs vöröseltolódást kihasználhatjuk, ha például függőlegesen d távolságra tesszük egymástól a forrást és a detektort. Ekkor

$$\Delta E_{\text{grav}} = m_{\text{eff}} g d \Rightarrow x = \frac{g d}{c^2} = \frac{1}{9} \cdot 10^{-15} d.$$

Tehát a probléma lényegét a magasságkülönbség okozza a detektor és a forrás között. Minél nagyobb d , annál könnyebb lesz a megfelelő pontosságot elér-

ni. A lehetséges legnagyobb távolságot a megadott beütésszámból kaphatjuk meg:

$$\frac{1}{10^9} = \frac{0,0001}{4\pi h_{\max}^2}, \text{ amiből } h_{\max} = \sqrt{\frac{10^5}{4\pi}} = 89,2 \text{ m.}$$

A szükséges mérési pontosság $x = 9,91 \cdot 10^{-15} \approx 10^{-12}\%$.

Ilyen kis energiaeltolódást csak a Mössbauer-effektus segítségével lehet kimutatni.

7. feladat (kitűzte: Vastagh György)

Mekkora annak a vörös óriás csillagnak a hőmérséklete, amely a Földtől $1,2 \cdot 10^7$ m/s sebességgel távolodik és spektrumában a legnagyobb intenzitású sugárzás hullámhossza a Földről nézve 780 nm? (Tekintsük a csillagot abszolút feketetestnek, amelyre teljesül a Wien-féle eltolódási törvény.)

Megoldás: A vöröseltolódás (mint Doppler-effektus) alapján a távolodás sebességét a következő összefüggéssel határozhatjuk meg:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c},$$

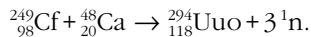
ahol v a távolodás sebessége, c a fénysebesség, λ_0 a kibocsátott fény hullámhossza, $\Delta\lambda$ a hullámhossz-eltolódás ($\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$, ahol λ a Földön mért hullámhossz). Így:

$$\frac{780 - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{1,2 \cdot 10^7}{3 \cdot 10^8} = 0,04, \text{ és innen } \lambda_0 = 750 \text{ nm.}$$

A Wien-féle eltolódási törvény szerint $\lambda_{\max} \cdot T = 2,89 \cdot 10^6 \text{ nm} \cdot \text{K}$, ebből $T \approx 3853 \text{ K}$.

8. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

2002-ben Dubnában a Flerov Laboratóriumban (Oroszország) egy orosz–amerikai közös kutatócsoportnak sikerült előállítani a 118 rendszámú szupernehéz elemet, amelyet Ununoctiumnak neveztek. Nem túl nagy mennyiségben: 2002 tavaszán egyetlen atomot, 2005-ben további két atomot. Az előállítás a következő atommag-reakcióval sikerült:



Kémiai szempontból milyen lenne az ununoctium, ha sikerülne nagy mennyiségben előállítani? (Milyen lenne halmazállapota normál nyomáson és hőmérsékleten, milyen lenne kémiai reakcióképessége, milyen ismert kémiai elemhez lenne hasonlítható?)

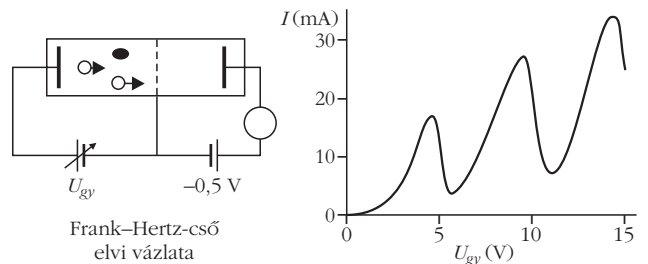
Megoldás: A természetben található utolsó „befejezett” periódus (a hatodik periódus) a 86 rendszámú radonnal ér véget. A periódus kezdete ${}_{55}\text{Cs}$ és a vége ${}_{86}\text{Rn}$ között $86 - 55 + 1 = 32$ hely van (azért kell +1-et venni, mert az első és az utolsó elem is benne van a periódusban). Ez a következőképpen töltődik be elektronokkal:

s-mező	2 elektron
f-mező (lantanoidák)	14 elektron
d-mező	10 elektron
p-mező	6 elektron

A hetedik periódus a ${}_{87}\text{Fr}$ -mal kezdődik. A lantanoidák helyére itt az aktinoidák lépnek. A 92 rendszámú urán az aktinoidák egyik tagja. Ha az elektronpályák ugyanolyan sorrendben töltődnek fel, mint az előző periódusban, akkor ennek a periódusnak a végén éppen a $87 + 32 - 1 = 118$ rendszámú elem áll. Az ununoctium tehát kémiai szempontból nemesgáz lenne. Normál állapotban valószínűleg gáz halmazállapotú, és kémiai szempontból nem reakcióképes. Kémiai viselkedésében a radonhoz hasonlítana leginkább.

9. feladat (kitűzte: Szűcs József)

Franck és Hertz 1913-ban – a Bohr-elmélet megszületése után – végezték el a híres elektron-atom ütközéses kísérletüket, amellyel alátámasztották *Niels Bohr* feltevését, miszerint az atomok meghatározott energiaszintekkel rendelkeznek. A kísérlet során légritkított csőben (a Franck–Hertz-csőben) Hg atomokat párologtattak el. A ráccsal ellátott elektroncsőben (lásd *ábra* bal oldala) a katódból kilépő elektronokat gyorsították, amelyek ütköztek a térben lévő Hg atomokkal.



Amikor az U_{gy} gyorsítófeszültség elérte a 4,9 V-ot, a körben lévő anódáram erőssége hirtelen visszaesett. Ez a visszaesés 9,8 V és 14,7 V feszültség értékeknél megismétlődik, de kisebb mértékben (lásd *ábra* jobb oldala).

Hogyan magyarázhatók a kísérlet során bekövetkező újabb áramerősség-visszaesések?

Megoldás: A katódból kiinduló elektronok gyorsulnak a csőben, miközben ütköznek a Hg atomokkal. Amíg a Hg atomok nem tudnak gerjesztődni, addig az ütközések rugalmasak, azaz az elektronok lényegében nem veszítenek energiát (hiszen a Hg atomok sokkal nagyobb tömegűek). Amikor azonban az elektronok energiája eléri a Hg atomok első gerjesztési energiáját, akkor az ütközés hirtelen rugalmatlanná válik, a Hg atomok energiát vesznek fel, az elektronok pedig az ütközés során lelassulnak. Amikor ez először bekövetkezik – 4,9 V gyorsító feszültségnél – ez a folyamat a rács közelében történik. A lelassult elektronok már nem tudnak áthaladni a 0,5 V-os „fékező” téren, emiatt az anódáram hirtelen visszaesik.

Ahogy tovább növeljük a gyorsító feszültséget, az elektronok a rácstól egyre távolabb érik el a 4,9 eV energiát, és gerjesztik a Hg atomokat. A rugalmatlan ütközés után tovább tudnak gyorsulni. Amikor a gyorsító feszültség $9,8 = 2 \cdot 4,9 \text{ V}$, az elektronok másodszor is elérik a 4,9 eV-os energiát (a rács közelében), és emiatt az anódáram ismét visszaesik. Ugyanez ismétlődik a $3 \cdot 4,9 = 14,7 \text{ V}$ -nál.

10. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

Az Egyesült Államokban épített NIF (National Ignition Facility) fúziós kísérleti berendezés 192 db hatalmas lézere nemrégén készült el. A lézerek 1 ns hosszúságú impulzusban összesen 1,8 MJ energiát koncentrálnak egy 1 mm sugarú kis gömböcske felszínére, amely 150 mikrogrammnyi 1:1 atomarányú D-T keveréket tartalmaz. A gömböcskében lezajló fúziós reakciók tízszer annyi energiát produkálnak, mint amit a gömböcske fűtésére fordítottak.

Adatok: a trícium felezési ideje 12,33 év, egyetlen D-T fúziós reakcióban felszabaduló energia 17,6 MeV.

- Mekkora a gömböcske aktivitása?
- Mekkora a maximális fénynyomás, amit a lézerek ki tudnak fejteni a gömböcskére?
- Mennyi neutron szabadul fel?

Megoldás: a) A gömböcskében lévő trícium atommagok tömegaránya: 3/5, azaz a trícium tömege 90 µg. Ebben a trícium atommagok száma

$$\frac{90 \cdot 10^{-6}}{3} \cdot 6 \cdot 10^{23} = 18 \cdot 10^{18}.$$

A trícium aktivitása:

$$A = N \frac{\ln 2}{T} = \frac{18 \cdot 10^{18} \cdot 0,693}{3,9 \cdot 10^8} = 3,2 \cdot 10^{10} = 32 \text{ GBq}.$$

b) A nyomás: $p = F/A$, a kifejtett erő viszont az időegység alatt átadott lendületből számítható.

Akkor kapunk maximális fénynyomást, ha minden foton visszaverődik a felületről, mert ekkor minden foton $2q$ lendületet ad át (itt q egyetlen foton lendülete). Mivel minden foton lendületének abszolút értéke E/c , ezért a teljes nyaláb lendülete is így számítható, csak itt E a teljes nyaláb energiája. Ennek kétszerese adódik át $\Delta t = 1$ ns alatt, tehát a gömböcske felszínére ható erő:

$$F = \frac{2E}{c \Delta t} = \frac{3,6 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^8 \cdot 1 \cdot 10^{-9}} = 1,2 \cdot 10^7 \text{ N}.$$

A gömböcske felszíne:

$$A = 4\pi R^2 = 12,56 \cdot (10^{-3})^2 = 1,26 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2.$$

A maximális fénynyomás tehát:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{1,2 \cdot 10^7}{1,26 \cdot 10^{-5}} \approx 10^{12} \text{ Pa} = 10^7 \text{ bar}.$$

c) A fúziós reakció: ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + n$, azaz minden reakcióban egy neutron keletkezik. Mivel a fúziós reakciókban 18 MJ energia szabadul fel, emiatt

$$\frac{18 \cdot 10^6}{17,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13}} = 6,4 \cdot 10^{18}$$

neutron keletkezik.

Junior (II. Kategóriájú feladatok)

9. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

Egyesek azt állítják, hogy a biomasza (pl. tűzifa) elégetése semmivel sem járul hozzá a földi atmoszféra széndioxid egyensúlyának felborulásához. Igaz vagy hamis ez az állítás? Indokold meg.

Megoldás: Az állítás igaz, legalábbis közép- és hosszú távon, amíg a biomasza felhasználása épeszű korlátok között marad. A biomasza ugyanis a növények által rövid távon megkötött széndioxidot juttatja vissza a légkörbe, szemben a fosszilis tüzelőanyagok által visszajuttatott széndioxiddal, amely évmilliók során gyűlt össze. Természetesen, ha ezt is túlzásba vinnénk (pl. az összes erdőt és növényt eltűzelnénk), akkor felborulna az egyensúly, mert megszűnne a légkörből a széndioxid kivonása, és az egyensúlyi mennyiségnél jóval több széndioxidot juttatnánk vissza, ha az egész növényzetet (vagy annak nagy részét) hirtelen elégetnénk.

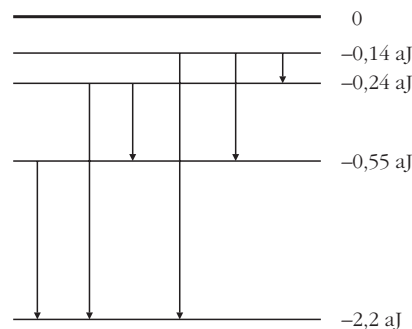
10. feladat (kitűzte: Vastagh György)

Atomos hidrogéngáz elektronjai külső gerjesztés hatására legfeljebb a harmadik gerjesztési állapotba kerülnek.

a) Hány vonal jelenik meg a gáz színeképeben és melyek a láthatók?

b) A legkisebb hullámhosszú látható fényvel egy cézium katódot világítunk meg. Mekkora zárófeszültséggel lehet az elektronok kilépését megakadályozni?

Megoldás: a) A H-atom energiaszintjeit mutatja az *ábra*. Hat vonal jelenik meg.



$$E_{10} = 1,65 \text{ eV}, \quad E_{20} = 1,94 \text{ eV}, \quad E_{21} = 0,29 \text{ eV},$$

$$E_{30} = 2,06 \text{ eV}, \quad E_{31} = 0,4125 \text{ eV}, \quad E_{32} = 0,1225 \text{ eV}.$$

Mivel a látható fény tartománya 0,22–0,48 eV, így ebbe a tartományba két vonal esik: $E_{21} = 0,29$ eV, $E_{31} = 0,4125$ eV.

b) A fotoelektromos jelenség energiaegyenlege:

$$h\nu = W_{ki} + \frac{1}{2} m v^2 \text{ és } \frac{1}{2} m v^2 = eU,$$

ahol U a zárófeszültség és 0,3 eV a kilépési munka. Így: $0,4125 \cdot 10^{-18} = 0,3 \cdot 10^{-18} + eU$ és $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ C, innen:

$$U = \frac{1,125 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 0,7 \text{ V}.$$

Számítógépes feladat

A feladatban egy négyzet rácson felépített atomreaktor aktív zónájával kellett a versenyzőknek kísérletezni és a reaktor szabályozórúdját kalibrálni. A feladatban ugyanazt a számítógépes modellt használták, amelyet már a 2005. évi Szilárd Leó Fizikaversenyen is használtak a versenyzők, csak itt más volt a feladat, mint 2005-ben.

A versenyzők megkapták a program kezelésének leírását (itt nem közöljük), valamint a következő feladatleírást:

Szabályozó rúd kalibrációja

Elméleti bevezetés

Az atomreaktorok külső beavatkozással történő szabályozása az aktív zónában elhelyezett neutronelnyelő anyagot tartalmazó, úgynevezett szabályozó rúddal valósítható meg. A szabályozó rúd mozgatásával a zónában lévő neutronelnyelő anyag mennyisége módosítható, ezzel változtathatjuk a reaktor neutron-szorozási tényezőjét, azaz előállítható szubkritikus, kritikus és szuperkritikus reaktorállapot is. A reaktorfizikában a sokszorozási tényező (k_{eff}) helyett gyakran a *reaktivitást* (ρ) használják a láncreakció jellemzésére, amely definíció szerint

$$\rho = \frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}}$$

A reaktorban a maghasadás és egyéb magreakciók következtében a hasadóanyag mennyisége csökken, ebből következően a működés során csökken a reaktivitás, és szubkritikussá válhat a zóna. A reaktor hosszú távú működéséhez kompenzálni kell ezt a reaktivitáscsökkenést. Emiatt indításkor a reaktorba több hasadóanyagot – s ezzel többletreaktivitást – építenek be, mint amennyi a működéshez éppen hogy csak szükséges. Ezt a többletreaktivitást nevezik *reaktivitástartaléknak*. A biztonságos működéshez viszont ezt a többletreaktivitást szabályozó rúddal kompenzálni kell, „le kell kötni”, különben a reaktor erősen szuperkritikus lenne és megszaladna. A működés során a reaktivitás csökkenése a szabályozó rúd pozíciójának változtatásával korrigálható.

A számítógépes feladat megoldása közben



Az üzemeltetés szempontjából kulcsfontosságú tényező annak ismerete, hogy a szabályozó rúd hosszegységenként mekkora reaktivitást köt le a zóna reaktivitástartalékából. A szimulációs feladat egy szabályozó rúd reaktivitáslekötésének meghatározása.

A feladat elvégzéséhez szubkritikus reaktorállapotra van szükség, ekkor az effektív sokszorozási tényező, $k_{eff} < 1$, illetve az ebből származtatott *reaktivitás*, $\rho < 0$.

Az önfenntartó láncreakció ebben az esetben nem valósul meg, a magára hagyott reaktor magától leáll. Azonban, ha külső forrást helyezünk az aktív zónába, a neutronok száma állandósult állapotba kerül, a kialakuló neutronszám (N) és a zóna reaktivitása között a következő összefüggés áll fenn:

$$\rho = -\frac{A}{N},$$

ahol A egy konstans arányossági tényező. Amennyiben változtatjuk a szabályozó rúd pozícióját (z), megváltozik a reaktivitás, és ezzel együtt a kialakuló állandósult neutronszám is, azaz

$$\rho(z) = -\frac{A}{N(z)}.$$

Az A együttható meghatározásának egyik módja a fenti képletből adódik: szubkritikus zónában két különböző rúdpozícióban (z_1 és z_2) meghatározzuk a reaktivitást (ρ_1 és ρ_2) és az állandósult neutronszámot a detektoron (N_1 és N_2), majd a fenti képlet alapján a

$$\rho_1 - \rho_2 = \frac{A}{N_1} - \frac{A}{N_2}$$

összefüggésből kifejezhető az A . Ez az eljárás a gyakorlatban is használatos a szabályozó rúd kalibrációs görbéjének meghatározásához. Az eljárás neve *1/N módszer* (arra utal, hogy a reaktivitás arányos az $1/N$ -nel).

Feladat

A szimuláció alkalmazásával határozza meg a szabályozó rúd kalibrációjához szükséges A együtthatót, valamint határozza meg a rúd 1%-os elmozdulásához tartozó reaktivitáslekötést két különböző rúdpozícióban!

Lépések:

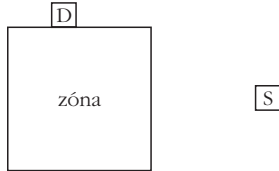
1. Építsen kritikus, szabályozó rúddal szabályozható reaktorzónát!

Útmutatás: A kritikus rendszer összeállításához olyan 4 pálcából álló köteget használjon alapegységnek, amelyek 3 urán, illetve 1 moderátorpálcat tartalmaznak (1. ábra). A szabályozhatóságot egy olyan 4-es köteggel valósítsa meg, ahol a moderátorpálca helyett neutronelnyelő pálca (szabályozó rúd) van, ezt az elemet a zóna közepére helyezze el. A szimulációkor minden esetben *kapcsolja ki a hőmérsékleti*

M	U	NA	U
U	U	U	U

1. ábra. A zóna felépítéséhez használatos alapelemek, jelölés: U – urán; M – moderátor; NA – neutronelnyelő.

visszacsatolásokat! Moderátorként használjon nehézvizet, üzemanyag gyanánt dúsított uránt. Az önfenn-tartó nukleáris lánreakció beindításához mindenképpen szükség van egy *neutronforrásra*, ezért helyezzen el egy forrást a zónától távol (2. ábra). A kritikus reaktorállapotot a szabályozó rúd pozíciójának változtatásával állítsa be úgy, hogy – miután a neutronokszorzás elindult – a forrást cserélje ki egy üres elemmel. A neutronok számának időbeli változását egy *detektorral* vizsgálja, amelyet közvetlenül az aktív zóna mellé helyezzen (2. ábra)! A neutronforrás nélkül a reaktorunk akkor van kritikus állapotban, ha a detektor által érzékelt neutronok száma időben nem változik.

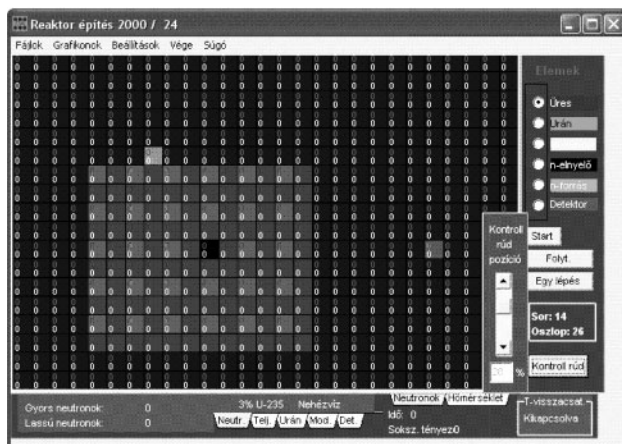


2. ábra. Az alapelemekből felépített zóna, a méréshez szükséges neutrondetektor (D), illetve a forrás (S) ajánlott elrendezése.

2. A kritikus állapot elérése után állítsa le a szimulációt, és helyezzen el egy forrást az elrendezéstől távol (a forrás sor-oszlop koordinátáját jegyezze fel, mert a további feladatok során azonos pozícióba kell majd visszahelyezni), majd a szabályozó rúd pozícióját növelje meg 5%-kal (tolja beljebb a rudat a reaktorba, és ezzel hozza szubkritikus állapotba a rendszert) és indítsa újra a szimulációt! Vizsgálja meg a detektoron mért neutronok számának időbeli változását! Magyarázza meg a karakterisztikát, majd az állandósult állapot beállta után jegyezze fel a detektoron mért neutronok számát és állítsa le a szimulációt! Vegye ki a forrást rendszerből és folytassa (ne indítsa újra!) a szimulációt, majd jegyezze fel a detektor adataiból számított sokszorozási tényezőt (ez az utolsó két értékében egy átlag körül ingadozó mennyiség lesz, ezért célszerű egyes időlépésenként feljegyezni pár tipikus értéket és azokból átlagot számolni), és végül állítsa le a szimulációt!

3. A 2. feladat elvégzése után helyezze vissza a forrást az adott pozícióba, és ismét növelje a szabályozó rúd pozícióját 5%-kal, majd indítsa újra a szimulációt! Ismételje meg a 2. feladat lépéseit az új rúdállás mellett is!

Az egyik versenyző által összeállított tipikus elrendezés



4. A 2. és 3. feladatban felvett detektorjelek, illetve sokszorozási tényezők felhasználásával határozza meg a fenti összefüggések alapján a rúd kalibrációjához szükséges A együtthatót, valamint határozza meg a rúd 1%-os elmozdulásához tartozó reaktiváts-lekötést!

5. A szabályozó rudat (nem az egész elemet) cserélje meg egy, a zóna szélétől három pálcára lévő moderátorelemmel! Ismételje meg a 2. 3. és 4. feladatot, és hasonlítsa össze a két pozíció mellett végzett szimulációk eredményeit! Magyarázza meg tapasztalatait!

Kísérleti feladat

– galvanizálás hatásfokának meghatározása

Feladat:

Egy méter hosszú vezetékkel rézzel kell bevonni. Ennek érdekében a vezetékkel rézsulfát oldatba helyezzük, és úgy galvanizáljuk rá a rézet. Határozzuk meg, hogy a kivált réz hány százaléka tapad meg a vezetón!

A mérésről készítsen jegyzőkönyvet! A jegyzőkönyv tartalmazza:

- A méréshez használt kapcsolási rajzot.
- A mérés menetét, a végzett számításokat és a kapott eredményeket.
- A hibalehetőségek elemzését.

Eszközök: 1 m 20 cm hosszú ellenálláshuzal; egyen-áramú tápegység, ellenállásmérő, árammérő (vagy egy multiméter); röpszinórok, krokodilcsipeszek; tál, rézszalag elektróda; laborállványok, diók; rézsulfát oldat.

Adatok: a réz fajlagos ellenállása: $1,695 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$; a réz sűrűsége 8920 kg/m^3 ; a vezeték átmérőjét a mérést felügyelő tanár adja meg.

Javaslatok: A galvanizáláshoz maximum 1 A áramot használjon! Körülbelül 10–15 percig végezze a galvanizálást! A vezetón megtapadt réz mennyiségét a vezető ellenállásának változásából határozza meg, miután a vezeték megszáradt. A mérés során vegyen fel áramerősség-idő függvényt és ebből számítsa az átáramlott töltés mennyiségét!

Galvanizálás közben



A verseny értékelése

A verseny döntőjének délelőttjén a tíz elméleti feladat megoldására 3 óra, délután a számítógépes feladatra másfél óra, a kísérleti feladatra szintén másfél óra állt a versenyzők rendelkezésére. Egy-egy feladat teljes megoldása 5 pontot, a számítógépes feladat teljes megoldása 25 pontot, a kísérleti feladat teljes megoldása 25 pontot hozhatott. Maximálisan tehát 100 pontot lehetett szerezni. A legkiválóbb I. kategóriás versenyző 83 pontot ért el (tavaly 82 pont volt a legjobb eredmény). A legjobb junior versenyző 76 pontot ért el (tavaly 63 pont volt a legjobb). Az elméleti feladatok közül legnehezebbnek – meglepetésre – az I. kategóriás versenyzők 1. és 9. feladata bizonyult, de minden feladatra – még ezekre is – érkezett helyes megoldás! Az elméleti feladatok megoldásában *Lovas Lia Izabella* (Leőwey Klára Gimnázium, Pécs) I. kategóriás, valamint *Varga Ádám* (SZTE Ságvári Endre Gyakorló Gimnázium, Szeged) érték el a legjobb eredményt: 48, illetve 41 pontot a maximális 50-ből.

A mérési feladatra három versenyző ért el 24 pontot a maximális 25 pontból: *Balogh Máté* (Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Gimnázium, Budapest), valamint *Almády Balázs* és *Tiborczy Lívia*, mindketten a tatabányai Eötvös József Gimnázium tanulói. A verseny megelőzően a Versenybizottság hosszasan tanakodott azon, hogy nem lesz-e túl nehéz – elsősorban fogalmilag – a számítógépes feladat. Úgy tűnik azonban, hogy ez az aggodalom megalapozatlan volt, hiszen a számítógépes feladatra ebben az évben 6 versenyző is maximális, 25 pontot kapott. A Junior kategóriában az I. helyezett Varga Ádám (SZTE Ságvári Endre Gyakorló Gimnázium Szeged) érte el a legtöbb pontot a mérési feladatra és a számítógépes feladatra is: 20, illetve 15 pontot a maximális 25-ből.

Az összesített pontszámok alapján 2009-ben a díjakat a következő diákok kapták:

I. kategória (11–12. osztályosok)

I. díj: *Lovas Lia Izabella* (83 pont), Leőwey Klára Gimnázium, Pécs, tanára *Simon Péter*.

II. díj: *Balogh Máté* (75 pont), Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Gimnázium, Budapest, tanára *Horváth Gábor*.

III. díj: *Lajtai Gergő* (74 pont), Zrínyi Miklós Gimnázium, Zalaegerszeg, tanára *Pálovics Róbert*.

Az I. kategória győztese: *Lovas Lia Izabella*



A „Junior” kategóriában Varga Ádám győzött.

„Junior” kategória

I. helyezett: *Varga Ádám* (76 pont), SZTE Ságvári Endre Gyakorló Gimnázium, Szeged, tanára *Kovács László*.

II. helyezettek: *Budai Ádám* (47 pont), Földes Ferenc Gimnázium, Miskolc, tanára *Bíró István*, illetve *Garaguly Gergő* (47 pont), Verseghy Ferenc Gimnázium, Szolnok, tanára *Pécsi István*.



A záróülésen az I. kategória díjait *Süli János*, a Paksi Atomerőmű Zrt. vezérigazgatója adta át. A Magyar Nukleáris Társaság WIN (Women in Nuclear) tagozatának különdíját a legjobb női versenyző, *Lovas Lia Izabella Radnóti Katalintól* vette át. A tanulói díjak és oklevelek átadása után a tanárok pontversenyében legjobb eredményt elért *Pálovics Róbert* (Zrínyi Miklós Gimnázium, Zalaegerszeg) vehette át a *Delfin-díjat*. *Pálovics Róbert* tanár úr már 2001-ben és 2005-ben is elnyerte azt, így ő az első, aki immár háromszoros díjazott! A Delfin-díj alapszabályának megfelelően a díjbizottságnak lehetősége van egy külön Delfin-díj kiadására is, mellyel 2009-ben élt a bizottság, és *Jurisits József*nek, a szekszárdi Garay János Gimnázium tanárának adott egy külön Delfin-díjat. *Jurisits József* a Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány 1997-es alapításától 2002-ig a kuratórium tagja volt, s emellett a Szilárd Leó fizikaverseny versenybizottságában kezdetektől nyugdíjba vonulásáig aktívan dolgozott. Nyugdíjba vonulásakor, 2007-ben, a Szilárd Leó Tanári Delfin-díj összesített pontversenyében a második helyen állt.

A *Marx György Vándordíjat* – amelyet minden évben a pontversenyben legkiválóbb eredményt elért iskolának ítél oda a Versenybizottság – 2009-ben a *Verseghy Ferenc Gimnázium* (Szolnok) nyerte el.

Minden nyertesnek gratulálunk!

Az ünnepi beszédek után *Sükösd Csaba* köszönetét fejezte ki a versenyt támogató Paksi Atomerőmű Zrt.-nek és a paksi Energetikai Szakközépiskolának a verseny megrendezésében nyújtott segítségükért. A versenyt 2010-ben is megrendezzük változatlan tematikával (lásd *Fizikai Szemle* 2009. november, 396. oldal). Ismételten *bátorítjuk a batáron túli magyar tannyelvű iskolák* tanulóit is arra, hogy nevezzenek be az Országos Szilárd Leó Tanulmányi Versenyre. A nevezéseket a verseny honlapjáról kiindulva lehet megtenni: <http://www.szilardverseny.hu>.

XVII. NEWTON KUPA

A keszthelyi Vajda János Gimnázium matematika, fizika munkaközössége 17. alkalommal rendezte meg az általános iskolák végzős tanulói számára meghirdetett természettudományi versenyt, a Newton Kupát. Az idei versenyre is az eddigiekhez hasonlóan Zala, Veszprém és Somogy megyéből érkeztek iskolák, csapatok.

Minden induló iskolát egy-egy tanuló képviselhette matematika, fizika és informatika tantárgyakból, vagyis az általános iskolák legtehetségesebb reál érdeklődő diákjai mérhették össze tudásukat.

Az új középiskolai felvételi rendszer sajnos nem tett jót a különben is mostoha sorsra kárhozott természettudományi tantárgyaknak, mert fizikából és informatikából több iskola sem tudott versenyzőt nevezni, így a „csonka csapattal” nem sok esélyük volt az összetett első helyre, a Newton Kupa elnyerésére.

Mindhárom tantárgyból 2 óra alatt 4 feladatot kellett megoldani a diákoknak. Amíg a versenyzők a feladatokon elmélkedtek, addig a kísérő tanárok megismerkedhettek a Műszaki Kiadó legújabb tankönyveivel, interaktív tananyagaival és a feladatok megoldásaival is.

A verseny befejeztével – amíg a versenybizottság, a gimnázium matematika, fizika, informatika szakos tanárai a feladatokat javították – a Balaton Színházban *Tóth Pál* tanár úr (Fizibusz, Budapest), a fizika „utazó nagykövete”, látványos és érdekes kísérleteket mutatott be a versenyzők, diákok aktív részvételével.

A díjátadó ünnepségen *Szörényi Zoltán*, a gimnázium igazgatója és *Farkas László*, a verseny szervezője köszöntötte a versenyzőket, az őket felkészítő pedagógusokat és a meghívott vendégeket.

Először a versenyt évek óta önzetlenül támogatók, és az eredményesen felkészítő tanárok vehették át az erre az alkalomra megjelenő, a Newton Kupa elmúlt 15 évét összefoglaló könyvet. A kiadványban 180 feladat, megoldásaik, az egyes versenyek eredményei, beszámolók, színes fényképekkel emlékeztetnek a korábbi versenyekre. A könyvet *Farkas László* és *Fonyóné Németh Ildikó* szerkesztette.

Az eredményhirdetés innentől már az évek óta megszokott „koreográfia” szerint történt, vagyis az informatika, fizika, matematika tantárgy első hat helyezette vehette át az oklevelet és az értékes jutalmakat. Érdekes, hogy az idei versenyen mindhárom tantárgyból a dobogós helyezést elért tanulók között a Zala, Veszprém, Somogy sorrend alakult ki.

Matematika

1. helyen végzett *Fonyó Viktória* az Egry József Általános Iskola (Keszthely) tanulója, felkészítő tanára *Lóthné Tolvéth Katalin*;

2. *Németh Péter* (Közös Fenntartású Általános Iskola, Csabrendek, *Auerné Éliás Zsuzsanna* és *Gombásiné Flórián Márta*);

3. *Kitli Márk* (Balatonlelle-Karád Általános Iskola, Balatonlelle, *Podányi Judit*).

Fizika

1. *Kocsondi Gábor* (Csány-Szendrey ÁMK Belvárosi Tagiskola, Keszthely, *Fölföldiné Katona Erika*);

2. *Székely Ádám* (Általános Iskola, Révfülöp, *Székelyné Burgyán Rita*);

3. *Hegyí Debóra* (Reich Károly Általános Iskola, Balatonszemes, *Kiss Sándor*).

Informatika

1. *Pickó Anna* (Csány-Szendrey ÁMK Belvárosi Tagiskola, Keszthely, *Molnárné Riskó Erzsébet*);

2. *Vagner Jácson* (Bárdos L. Tagintézmény, Tapolcai Általános Iskola, Tapolca, *Gyarmati Zoltánné*);

3. *Illyés Richárd* (Reich Károly Általános Iskola, Balatonszemes, *Kiss Sándor*).

Csapat

1. Csány-Szendrey ÁMK Belvárosi Tagiskola, Keszthely, amely iskola egy évig őrizheti a kupát.

2. Reich Károly Általános Iskola, Alapfokú Művészetoktatási Intézet, Balatonszemes;

3. Balatonlelle-Karád Általános Iskola és Alapfokú Művészetoktatási Intézet, Balatonlelle.

A legeredményesebb felkészítő tanárnak járó díjat, több évi sikeres munkájáért *Podányi Judit* tanárnő (Balatonlelle-Karád Általános Iskola) kapta.

Farkas László
a Newton Kupa szervezője,
fizika szaktanácsadó

A Csány-Szendrey ÁMK győztes csapata a kupával, balról jobbra: Pickó Anna, Kocsondi Gábor, Horváth Rita.



AZ EÖTVÖS LORÁND FIZIKAI TÁRSULAT ÁLLÁSFOGLALÁSA A TERMÉSZETTUDOMÁNYOS KÖZOKTATÁSRÓL ÉS A TANÁROK HELYZETÉRŐL

Az Európai Unió 2000. márciusi lisszaboni csúcstalálkozóján kidolgozott és 2005-ben újraindított gazdasági stratégia egyik alapvető célja volt, hogy 2010-re az EU a világ legversenyképesebb és legdinamikusabb tudásalapú gazdasága – „the most dynamic and competitive knowledge-based economy in the world” – és társadalma legyen. *Ennek egyik eszközeként jelölte meg az emberi tőkéhoz való beruházás növelését és az oktatás javítását.*

Aggasztó jelek mutatnak arra, hogy Magyarországon az oktatási kormányzatok több intézkedése az emberi tőkéhoz való beruházás és a közoktatás színvonalának csökkenését okozzák immár több mint 20 éve. Jóllehet erre kezdettől fogva több helyről felhívták a figyelmet – többek között az Eötvös Loránd Fizikai Társulat (ELFT) is –, a helyzet mostanra tragikussá vált. Az ELFT havi folyóirata, a *Fizikai Szemle* 2009-ben is számos közleményben (2009/1, 26–34. oldalak, 2009/3, 107–113. oldalak, 2009/6, 218–220. oldalak) hívta fel a figyelmet a természettudományi közoktatás és kiemelten a tanárképzés égető problémáira. 2009 szeptemberében a természettudományi mesterképzésre úgynevezett major tantárgyakra jelentkezett tanárjelöltek száma – országosan összesen 24 – élesen nyilvánvalóvá teszi, hogy a közeljövőben nem lesznek fiatal tanárok, akik az évente átlagosan sok száz, nyugdíjkort elérő, természettudományos tárgyakat (fizikát, kémiát, biológiát) oktató tanár helyére léphetnének. Ebben a kérdésben az ELFT egyetért az ELTE Fizika professzorainak közelmúltban megjelent állásfoglalásával és támogatja azt.

2008 végén a gazdasági élet kiemelt szervezeteinek vezetői fejezték ki aggodalmukat a szakoktatás, a természettudományos és műszaki képzés magyarországi helyzetéért miatt (*Fizikai Szemle* 2009/1, 34. oldal). Jogos aggodalmuk szerint „*a matematika, a fizika, a kémia tantárgyak által kifejlesztett készségek és az ezekben átadott alapvető ismeretek nélkül a fiataloknak nincs esélyük a munkaerőpiacon, a magyar gazdaságnak nincs esélye a világversenyben*”.

Az Európai Unió jövőbeli FP Keretprogramjai lehetőséget teremthetnének arra, hogy a korábbi oktatási színvonalunk eredményeire alapozva hazánk az ESS neutroncentrumhoz vagy az ELI lézerközpontokhoz mérhető volumenű, EU finanszírozású projektek házigazdája lehessen. Az ilyen beruházások létrehozása és működtetése akár itthon, de akár más közeli közép-európai országban, magas szinten képzett felsőfokú végzettségű magyar szakemberek százait igényli a következő évtizedekben. Végzős műszaki szakembereink, mérnökeink, kutatóink ma is könnyen el tudnak helyezkedni a hazai munkaerőpiacon, tudásukra szükség van.

A hazai tudásalapú gazdaság és társadalom felépítése műszaki és természettudományos értelmiségi szakemberek nélkül elképzelhetetlen. A közoktatás jól képzett természettudományos tanárai nélkül a középiskolás fiatalokat sem motiválni, sem megfelelő színvonalon felkészíteni nem lehet az ilyen irányú felsőfokú képzésre. Ezért a tanárképzés jelenlegi állapota mellett ilyen szakemberek felsőfokú képzése sem biztosítható. *Az egyetemre törekvő fiatalok nem akarnak tanárok és különösen nem természettudományi tanárok lenni.* Ennek egyik oka a megkerülhetetlen követelményrendszer: matematikát, fizikát, kémiát, biológiát megérteni és megtanulni csak komoly intellektuális erőfeszítéssel, elméleti és gyakorlati feladatok megértésével és megoldásával lehet. Az életkoruknak megfelelő kemény munkát pedig a jelenlegi iskolai és társadalmi környezet nem követeli meg a tanulóktól, és nem is szoktatja hozzá őket.

A fontosabb és visszatartóbb ok azonban általában a szakértelmiség, és különösen a „nemzet nap-számosaiként” számon tartott pedagógus szaktanárok erkölcsi és anyagi megbecsültségének évtizedek óta tartó romlása. A közoktatásban dolgozó tanárok – az utóbbi években példátlan és felháborító – megalázottságát jelző eseményekhez jelentősen hozzájárult a jogok és kötelességek egyensúlyának médianyilatkozatokkal is megerősített eltorzulása. Túl nagy hangsúly került a diákok jogaira, amelyek mellett szinte észrevétlenné zsugorodtak a diákok kötelességei és a tanárok eszközei az órai fegyelem fenntartására.

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulatnak, mint az általános és középiskolai fizikatanárok, az egyetemi fizikaoktatók, kutatók és professzorok, valamint a kutatóintézeti fizikusok és mérnökök közösségének képviselőjére és érdekvédelmére alakult évszázados múltú közhasznú civil szervezetnek fel kell emelnie szavát a tanárképzés és a tanárok jelenlegi helyzetének gyökeres megváltoztatása érdekében.

A teljesség igénye nélkül felsorolunk néhány sürgős javító intézkedést:

Az ELFT elengedhetetlenül szükségesnek tartja a közoktatásban oktató minden tanár – nem csak a természettudományi szaktanárok – anyagi és erkölcsi megbecsülésének sürgős és kézzelfogható kifejezését, az illetékes kormányzati intézmények részéről. A tanári fizetések méltányos emelése a költségvetésben nem jelentene aránytalan terhet.

A fizetésemelés egyedül azonban nem oldja meg a problémát, mint ahogyan egy ilyen irányú intézkedés ezt egyszer már megmutatta. Az iskolákra vonatkozó jelenlegi szabályok, utasítások és törvények több is-

mert esetben a tanárokat megalázó szülői és tanulói viselkedésekhez vezettek, vagy következmények nélkül tettek lehetővé ilyen viselkedést. *A törvényalkotók és döntéshozók alkossanak a tanárok jogait, a tanulók köteleseit és a tanulmányi követelményeket hangsúlyosan kiemelő törvényeket és rendeleteket.* A felügyeleti szervek a médiának adott nyilatkozatokkal ne keltsék azt a látszatot, mintha a tanulók és a szülők részéről megmutatkozó felháborító anomáliákért minden esetben csak a tanárok lennének felelősek.

Jól átgondolt és szigorúan szakmai alapon működő, összeférhetetlenségi problémáktól mentes tanfelügyeleti rendszer, vagy abhoz hasonló minőségbiztosítási rendszer felállítására van szükség az egyes tanárok valós szakmai és pedagógiai teljesítményének megállapítása, értékelése, és a jó vagy rossz teljesítmény szerinti differenciált anyagi és erkölcsi megbecsülés kifejezése céljából. A tanári tekintély és megbecsülés visszaállításának fontos lépése lenne az, hogy a tanári hivatásra méltatlanná vált, vagy arra alkalmatlan, nem odavaló tanárokat el lehessen távolítani, ugyanakkor a kiváló teljesítményt nyújtók pedig érde-

müknek megfelelő anyagi és nyilvános erkölcsi-társadalmi elismerésben részesüljenek.

A tanórákon kívül végzett, de elengedhetetlenül szükséges oktató-nevelő munkát (szakkörök, kísérletek előkészítése, tematikus kirándulások, üzemi látogatások stb.) a tanári életpálya értékes, értékelendő és elismerést érdemlő részének kell nyilvánítani, és annak anyagi feltételeit biztosítani kell. A kísérletezést igénylő tantárgyak esetében segítő személyzet, laboráns munkakörének biztosítására is szükség van.

A széles társadalmi csoportok véleményét általában a felügyeleti és kormányzati szervek nyilvánosan kifejezett nyilatkozatai erősen befolyásolják, ezért *elsősorban a parlamenti és kormányzati döntéshozóknak, köztisztviselőknek kell felismerniük a tanári pálya – egyedi kivételektől eltekintve a tanárok többsége – gazdasági, társadalmi, kulturális és politikai szempontokból alapvetően fontos és feltétlen megbecsülésre méltó szerepét.*

Az *Eötvös Loránd Fizikai Társulat Elnöksége* nevében.

Kádár György,
az ELFT főtítkára

KÖNYVESPOLC

Hraskó Péter: A RELATIVITÁSELMÉLET ALAPJAI

Typotex 2009, 154 oldal

A tudományos ismeretterjesztő művek kiadásában messze élenjáró Typotex kiadó újabb élvezetes kötettel rukkolt elő. *Taylor–Wheeler Tér-időfizikájának* 2006-os újrakiadása után rövid időn belül a második olyan könyvet jelenteti meg, amely akár középiskolások számára is azonnal hozzáférhető matematikai apparátusnál maradva, de a precíz fizikai fogalomrendszerre a leg gondosabb hangsúlyt fektetve tárgyalja a speciális relativitáselmélet legfontosabb elemeit, és „kóstol bele” az általános relativitáselméletbe.

Hraskó Péter A relativitáselmélet alapjai című könyve annak a kurzusnak az anyagára épül, amelyet a szerző azonos címmel 2007-ben tartott az ELTE Doktori Iskolájában középiskolai fizikatanárok számára. Hraskó előadói stílusa rendkívül élvezetes, és ebből szerencsére sok mindent sikerült megőriznie az írott változatban is.

Ákár csak a Taylor–Wheeler-kötet, Hraskó könyve is szokatlan sorrendben (*nem* a Michelson–Morley-kísérlettel és a Lorentz-transzformációval kezdve), bár *egymástól is drasztikusan eltérő* módon jut el a relativisztikus kinematika olyan jól ismert eredményeiig, mint az idődilatáció, a hosszkontrakció, vagy az impulzus relativisztikus képlete.

Mielőtt a Hraskó-könyv sajátosságait említeném, előbb egy példán illusztrálom, hogy valóban a Taylor–Wheeler-könyvvel azonos precíz fogalmi alapon áll: mindkét kötet szenvedélyesen érvel a „relativisztikus tömegnövekedés” képzete *ellen*. Taylor és Wheeler a *Hogyan élünk – és hogyan élünk vissza a tömeg fogalmával* című szakaszban kérdés-felelet formájában oldalakon keresztül próbálja a félreértést eloszlatni, Hraskó pedig *Nő-e a testek tömege a sebességük növelésével* címmel szintén külön szakaszt szentel a problémának. Tanulságos, hogy bár Taylor és Wheeler munkájában – amely 1963-ban jelent meg először – ilyen optimista kicsengésű megfogalmazás olvasható: „A régi szakkönyvekben (...) »módosított tömeget« vezetnek be, ami a sebességtől függ (...) Ezt a jelölést ma *időnként még* használják” (kiemelés tőlem – *BN*), Hraskó kénytelen egy fél évszázaddal később keserűen így írni: „A relativitáselmélet tankönyvekben szokásossá vált az impulzus képletében szereplő $m / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$ törtet *mozgási tömegnek* nevezni (...)”. Az elnevezés nem csak azért szerencsétlen, mert ezzel lemondanánk a tömeg, mint invariáns mennyiség fogalmáról (az invariáns mennyiségek pedig „kincsek, amelyeket meg kell becsülni”, ahogy Taylor–Wheeler fogalmaz az *Exploring Black Holes*

című könyvükben), hanem azért is, mert fizikailag értelmetlen: mint Hraskó a könyvhöz tartozó honlapon (<http://www.hrasko.com/peter/remarks.pdf>) részletesen újból tárgyalja, mozgás közben nem a részecske tömege, hanem összenergiája az, ami megnövekszik; egyszerű gondolat kísérlettel illusztrálható, hogy világosan szétválasztható a kétféle gondolkodásmód, és bizonyítható az utóbbi igazsága.

Még két olyan alapvető fogalmi kérdés szerepel Hraskó könyvében, amelyeknél feltűnő az érvelés szenvedélyessége:

1. A *vonatkoztatási rendszerek* (amelyeknek speciális fajtái az inerciarendszerek) és a *koordináta-rendszerek* fogalma közötti drasztikus különbség. Az előbbit tényleges fizikai objektumok (pl. egy laboratórium) alkotják, amelyekhez viszonyítva leírjuk a fizikai jelenségeket; az utóbbiak csak a képzeletünkben létező, tisztán gondolati konstrukciók, amelyek egyedüli szerepe, hogy a matematikai leírást jelentősen megkönnyítik. A magyarázatot olvasva az eltérés magától értetődőnek tűnik, sok szakkönyv mégsem különbözteti meg világosan a vonatkoztatási rendszert a koordináta-rendszerétől, és ez veszélyesen könnyen vezethet félreértésekhez, különösen az általános relativitáselméletben. Hraskó a kérdést annyira fontosnak tartja, hogy a könyv nyitófejezetének első szakaszát (1.1. *Vonatkoztatási rendszerek és inerciarendszerek*) nagyrészt ennek szenteli.

2. A fénysebesség mérése *egy irányban*. A könyv 2.2. szakasza gondolat kísérlettel illusztrálja, hogy semmilyen nehézségbe nem ütközik a fénysebességet egy irányban (nem oda-vissza úton) megmérni úgy, hogy a mérésben használt órák szinkronizálásához *nem* használunk fényjeleket (azaz nem esünk a körkörös logika csapdájába). A mérést a laboratóriumhoz viszonyítva különböző irányokban, illetve egymáshoz képest állandó sebességgel mozgó laboratóriumokban sokszor elvégezve a méréssorozat eredménye azt mutatná, hogy a fénysebesség bármely inerciarendszerben izotróp, és számértéke minden inerciarendszerben azonos. Mint Hraskó írja, éppen „a fénysebesség állandósága, valamint a tér homogenitása és izotrópiája az, ami *lehetővé teszi*, hogy – ha szükséges – az inerciarendszerünkben nyugvó órákat fényjelekkel szinkronizáljuk”.

A könyv felépítése a következő: Az 1. fejezetben – a vonatkoztatási rendszerek fogalmának tisztázása után – teljesen szokatlan módon rögtön a *fénytani Doppler-effektus* tárgyalása következik. A kiindulópont az, hogy a mérésekkel összhangban levő fénytani Doppler-képletet *empirikus formulának* tekinti, amelyből aztán szinte kikerülhetetlenül következnek a speciális relativitáselmélet nevezetes eredményei. Valóságos bűvészmutatvány, ahogyan a fejezet hátralevő részében ebből az egyetlen empirikus eredményből csaknem a teljes relativisztikus mechanika „kibomlik” a szemünk előtt. A Doppler-képlet interpretálása szükségszerűen vezet az *idődilatáció* fogalmához (és képletéhez). Természetes következtetésként adódik az *egyidejűség relativitása*, valamint a *sajátidő*

fogalma, amelyeket Hraskó külön szakaszokban részletesen tárgyal. Az előzőekből magától értetődően következik a *hosszkontrakció*. Élvezetes szellemi kaland, ahogyan a relativisztikus *sebesség-transzformációs képlet* – igaz, csak az x-irányú – kiadódik (még mindig a Lorentz-transzformáció nélkül!). Következik egy szakasz a *tömegpont mozgásegyenletéről*, amely egyszerű megfontolásokkal, természetes módon vezet el az *impulzus relativisztikus képletéhez*. Itt következik a könyvben a fent már említett érvelés az *invariáns tömegfogalom* mellett. Ezt követi a *mozgási energia* relativisztikus képletének levezetése, majd a nevezetes $E = m \cdot c^2$ formula tárgyalása, amelyet egy *Einsteintől* származó gondolat kísérlet illusztrál. A következő szakasz (*Ekvivalens-e egymással a tömeg és az energia?*) a híres formula pontos jelentéséről szól. Hraskó meggyőző érvelése szerint téves az egyenletet „tömeg-energia ekvivalenciának” nevezni; valójában három, egymástól teljesen függetlenül definiálható és önálló fizikai tartalommal bíró mennyiség közötti váratlan és mély *fizikai törvényről* van szó.

Az idáig tartó 1. fejezet önmagában is kerek egész, önálló könyvecskéként is megállná a helyét. Ezután még két fejezet következik. A másodikban folytatódik a speciális relativitáselmélet tárgyalása, ezúttal már a *Lorentz-transzformáció* sokszor matematikai könnyebbéteget jelentő apparátusára épülve. A szerző fogalmi precizitása azonban itt is érvényesül: mielőtt bevezetné a transzformációs képleteket, előbb tisztázza a *koordinátaidő* fogalmát és a fényjelekkel történő *óraszinkronizálás* problematikus pontjait (itt következik az a fent említett szakasz, amely az egyirányú fénysebességmérésről szól). A 2. fejezet hátralevő része kevésbé kínál újszerű szellemi kalandokat, mint az 1. fejezet: itt többé-kevésbé a szokványos relativitáselmélet-könyvek stílusában következik az olyan fogalmak tárgyalása, mint a *Téridő-intervallumok osztályozása*, a *Téridő-diagramok*, valamint több, az 1. fejezetben szerepelt eredmény általánosabb esetre való újratárgyalása, a kibővült matematikai apparátus felhasználásával.

A teljesség kedvéért ebben a fejezetben bevezetésre kerül a *négyesimpulzus* fogalma is; valamint néhány további érdekes témáról (pl. *Rövidebbnek látszanak-e a testek, ha mozognak, Az elektromágneses mező transzformációja, A Thomas-precesszió, A Sagnac-effektus*) is szó esik, de inkább csak megemlítés szintjén. Itt csalódást is érezhetünk, mert a képletek levezetés nélkül szerepelnek; ilyenkor az – 1. fejezet által elkényeztetett – olvasó elbizonytalanodik: a terjedelmi okok miatt kimaradt levezetések hiányával nem maradt-e le az 1. fejezethez hasonló szellemi élvezetekről is? Talán jobb lett volna egészen lemondani e szakaszok közlésétől, mert éppen a teljességre való törekvés okozza végül a hiányérzetet.

Érzésem szerint egy kicsit hasonlóan paradox módon sikerült a könyv 3. fejezete, amely az általános relativitáselmélet fogalmi alapjait és néhány főbb eredményét adja meg. A fejezet első néhány szakasza (*A súlyos és tehetetlen tömeg, Az ekvivalencia-elv, Az*

m^* = m reláció pontos jelentése, Az inerciarendszerek lokalitása, A súlyerő) precízen, érthetően és élvezetesen írja le az elmélet alapjait, de a főbb eredményekről (A GP^1 -B kísérlet, A fényelhajlás, A perihélium-vándorlás, A gravitációs vöröseltolódás) szóló szakaszokban levezetés nélkül szereplő képletek megint csak inkább a hiány-, mint a teljességérzetet növelik.

Összességében középiskolásoknak, fizikatanároknak, mérnököknek, fizikusoknak, de akár érdeklődő laikusoknak is meleg szívvel lehet ajánlani Hráskó Péter nagyszerű könyvét. (Miután a speciális relativitáselmületről már két részletes, fizikai fogalomrend-

¹ GP – Gravity Probe

szerűkben precíz, de a nagyközönség számára is hozzáférhető matematikai apparátusú kötet – ez, valamint Taylor–Wheeler *Téridőfizikája* – napvilágot látott a Typotex-kiadónál, csak remélni lehet, hogy az általános relativitáselmületről szóló, hasonló ismérvekkel rendelkező Taylor–Wheeler-könyv, az *Exploring Black Holes* is hamarosan megjelenhet magyarul.)

Végül: érdemes a szerző honlapjára (<http://www.hrasko.com/peter/>) is ellátogatni, ahol nemcsak *A relativitáselmélet alapjai*hoz találunk érdekes kiegészítéseket (a fentebb említett internet-címen), hanem letölthető például a Műegyetemen tartott *Általános relativitáselmélet és kozmológia* című kurzus jegyzete is, ami szintén nagyszerű és tanulságos olvasmány.

Bokor Nándor

NUKLEON

– lassan két éves a Magyar Nukleáris Társaság tudományos-műszaki folyóirata

A Magyar Nukleáris Társaság az oktatás és a kutatás-fejlesztés területén egyaránt fontosnak tartja a legfrissebb eredmények magyar nyelvű publikálását, ezért 2008 májusában önálló folyóiratot indított útjára *Nukleon* néven. A folyóirat elérhető a Társaság <http://www.nuklearis.hu> weboldaláról, vagy közvetlenül a <http://www.nukleon.nuklearis.hu> oldalon. Az elérni kívánt olvasói kör elsősorban a hazai tudományos és műszaki közvélemény, de valójában a világhálón bárki néhány kattintás után elérheti a megjelent cikkeket.

A két-háromhavonta megjelenő folyóiratban a reaktorfizika, a termohidraulika, a fúziós technológia, az atomerőmű-üzemeltetés és a hatósági szabályozás mellett az oktatás, a sugárvédelem és a radioaktív hulladék-kezelés területéről érkező cikkek számára is megjelenést biztosítunk. A kört szeretnénk tovább bővíteni olyan témákkal, mint a radiokémia, illetve a

nukleáris technika elemeinek középfokú és felsőfokú oktatási kérdései. Bízunk benne, hogy a tapasztalt tudósgeneráció mellett a fiatalok írásait is rendszeresen olvashatjuk oldalainkon.

Az eddig megjelent kilenc számban összesen 53 írás kapott helyet 108 szerző tollából, hiszen egy-egy cikket általában ketten-hárman jegyeznek. A színvonal emelését szolgálja a cikkek lektorálása a szakterület hazai képviselőivel. Egy-egy számban általában 6-7 cikk kapott helyet, a cikkek 6-7 oldalnyi terjedelműek ábrákkal, hivatkozásokkal együtt. Az elmúlt év végén *Kosály György* tiszteletére különszám jelent meg.

Terveink között szerepel a szerzők körének bővítése: minden olyan írást örömmel veszünk, amely bármilyen módon kapcsolódik a nukleáris technika és az azal kapcsolatos oktatási, történeti vonatkozásokhoz.

Radnóti Katalin

HÍREK – ESEMÉNYEK

A TÁRSULATI ÉLET HÍREI

Felhívás javaslattételre

A korábbi évekhez hasonlóan az idén is szándékunkban áll kiosztani az Eötvös Loránd Fizikai Társulat érmeit és díjait. Ezúton is kérem a Társulat szakcsoportjait, a területi szervezeteket és a Társulat valamennyi tagját, hogy a Társulat díjainak odaítélésére vonatkozó javaslataikat (pályázatukat) 2010. április 1-éig szíves-

kedjenek eljuttatni a Társulat titkárságára (1027 Budapest, Fő utca 68., postacím: 1371 Budapest, Pf. 433).

A díjak odaítélésével kapcsolatban az Alapszabály vonatkozó rendelkezései az irányadóak, a díjak kiosztására az előreláthatóan 2009. május 23-án megrendező küldöttközgyűlés keretében kerül sor.

Az Eötvös Társulat kitüntetései és díjai

Tudományos díjak

A Eötvös Loránd Fizikai Társulat az alábbi tudományos díjakat adományozhatja:

- *Bródy Imre-díjat* annak a személynek, aki a fizika alkalmazásának területén,
- *Budó Ágoston-díjat* annak a személynek, aki az optika, molekulafizika vagy a kísérleti fizika területén,
- *Detre László-díjat* annak a személynek, aki a csillagászatban, valamint bolygónkkal és annak kozmikus környezetével foglalkozó fizikai kutatások területén,
- *Gombás Pál-díjat* annak a személynek, aki az alkalmazott kvantumelmélet kutatása területén,
- *Gyulai Zoltán-díjat* annak a személynek, aki a szilárdtestfizika területén,
- *Jánossy Lajos-díjat* annak a személynek, aki az elméleti és kísérleti kutatások területén,
- *Novobátzky Károly-díjat* annak a személynek, aki az elméleti fizikai kutatások területén,
- *Schmid Rezső-díjat* annak a személynek, aki az anyag szerkezetének kutatása területén,
- *Selényi Pál-díjat* annak a személynek, aki a kísérleti kutatás területén,
- *Szalay Sándor-díjat* annak a személynek, aki az atom- vagy atommag-fizikában, illetve ezek interdiszciplináris alkalmazási területén,
- *Szigeti György-díjat* annak a személynek, aki a lumineszcencia- és félvezető-kutatások gyakorlati alkalmazásában,
- *Bozóky László-díjat* annak a személynek, aki a sugárfizika és a környezettudomány területén,

- *Felsőoktatási Díjat* annak a személynek, aki a felsőoktatás területén kimagasló eredményt ért el.

Társulati díjak

- *Eötvös Loránd Fizikai Társulat Érem* a Társulat azon tagjának adható, aki a fizika területén hosszú időn keresztül folytatott kutatási, alkalmazási vagy oktatási tevékenységével és a Társulatban kifejtett munkásságával kiemelkedően hozzájárult a fizika hazai fejlődéséhez.
- A Társulat *Prometheusz* éremmel – „A fizikai gondolkodás terjesztéséért” – tüntetheti ki azt, aki a fizikai műveltség fokozásához országos hatással hozzájárult.
- A Társulat *Eötvös Plakett* emléktárgya annak a tagnak/személynek ítéhető oda, aki rendkívüli mértékben nyújt segítséget a Társulat célkitűzéseinek megvalósításához, neves külföldi vendégnek a Társulat valamely rendezvényén tartott előadása alkalmából.

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

A díjazottak személyéről a Díjbizottság javaslatára a Társulat Elnöksége dönt.

Kádár György főtítkárr

XIV. Magfizikus Találkozó – 2009. szeptember 3–4.

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Magfizikus Szakcsoportja sorrendben 14. találkozóját 2009. szeptember elején tartotta Miskolctól nem messze, a Bükk-hegységben található Jávorkúton. A debreceni MTA Atommagkutató Intézetből (ATOMKI), a budapesti Eötvös Loránd Tudományegyetem Fizikai Intézetéből (ELTE), az MTA Izotópkutató Intézetéből (IKI), az MTA Rézecske- és Magfizikai Kutatóintézetéből (RMKI) valamint az MTA Atomenergia Kutatóintézetéből (AEKI) több mint 50 kutató és diákjaik vettek részt a kétnapos találkozón, amire a Jávorkút Panzióban került sor.

A Találkozó céljai között szerepelt, hogy a résztvevők megismerjék a magyar magfizika legfontosabb kutatási, fejlesztési, alkalmazási irányait, naprakész ismereteket szerezhessenek a magfizika területéhez tartozó legfontosabb kérdésekben. A Találkozó lehetőségét kívánt nyújtani a különböző kutatóintézetekben, egyetemeken dolgozó kutatók és diákjaik számára a személyes kapcsolatok megerősítésére, információk átadására. A szervezők igyekeztek az egyetemi diákokat, doktoranduszokat is elérni, hogy azok a Találkozón részt vehessenek. Ennek sikerét mutatja, hogy a résztvevők egyharmada 35 év alatti volt.

A két nap alatt elhangzott 40 előadás nemcsak a magfizika új tudományos eredményeit foglalta össze, hanem áttekintést adott a világ jelenleg működő és tervezett magfizikai nagyberendezéseiről is. Előadások hangzottak el új európai együttműködési hálózatokról és azok magyar vonatkozásairól.

A 2009-es magfizikus találkozó közepes és alacsonyenergiás magfizikai témái három témakör köré csoportosultak: nukleáris analitika és alkalmazások, a magfizikai gyorsítók fejlődése, valamint az atommagok egzotikus alakjának kutatása.

Az ATOMKI-ból és ELTE-ről érkező magfizikus kollégák az elemek univerzumbeli kialakulásának magfizikai folyamatait vizsgálták. Hallottunk az európai neutronforrás (ESS) céltárgyának technikai problémáit körüljáró kutatásokról, új részecskék kereséséről és a Bayes-módszerről.

Beszámolót hallhattunk az Izotópkutató Intézet kutatóitól a nukleáris biztonságról, ismeretlen eredetű radioaktív anyagok tulajdonságainak gyors meghatározásáról. Szó volt a roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek továbbfejlesztéséről, azok széleskörű alkalmazásáról, amiben az ATOMKI és az IKI kutatóinak

van jelentős szerepe. A prompt gamma neutron aktivációs analízis technikai fejlesztésének legújabb lépéseit, ennek archeometriai alkalmazásait ismerhették meg a hallgatók. A magfizikai módszerek anyagtudományi felhasználásáról számoltak be az RMKI kutatói.

A gyakorlathoz közelálló problémák megoldásán túl magfizikai alapkutatási eredményekről is hallhattunk előadásokat. A kísérleti vizsgálatok nemzetközi együttműködés keretében folytak és folynak ázsiai, európai, amerikai intézetek bevonásával. Az ATOMKI-s kollégák főként az atommagok szerkezetének vizsgálata területén elért eredményeiket mutatták be.

A Részecske és Magfizikai Kutatóintézet munkatársai beszámoltak a nehéz atommagok ütköztetése során keletkezett extrém nagy energiasűrűségű anyag, a kvarkanyag előállítását célzó legújabb kísérleti és elméleti eredményekről. Előadást hallhatunk a svájci CERN SPS és a New York melletti RHIC gyorsítóknál elért eredményekről, a kvarkanyag megjelenésére utaló kísérleti bizonyítékokról, valamint a kvarkanyag tulajdonságairól. Szó volt a 2009 végén induló CERN LHC szupergyorsító nehézion-fizikai programjáról, az abban való magyar részvételről.

A Találkozó lehetőséget nyújtott arra, hogy a különböző intézetekben dolgozó kutatók megismerhessék egymás eredményeit, kicserélhessék gondolatai-



kat, és mindezt megoszthassák a legfiatalabb kollégáikkal, ezzel segítve őket, hogy nemzetközileg is elismert kutatókká válhassanak. A jávorkúti helyszín ideális volt ezen célok eléréséhez.

A résztvevők és előadásai lista megtalálható a Találkozó weboldalán: <http://yifter.elte.hu/mftal2009/mftal.html>

A szervezők: *Fülöp Zsolt* (ATOMKI), *Horváth Ákos* (ELTE), *Lévai Péter* (RMKI)

HÍREK ITTHONRÓL

Kitüntetések

Az oktatási és kulturális miniszter az alap- és középiskolai oktató-nevelő munkát végző tanároknak, a gyermekek harmonikus személyiségformálásában végzett kiemelkedő tevékenységéért *Németh László-díjat* adományozott *Csákány Antalné* nyugalmazott tanárnak, a Magyar Pedagógiai Társaság Általános Iskolai és Gimnáziumi Szakosztály vezetőjének, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat főtitkárhelyettesének.

Hiller István oktatási és kulturális miniszter *Kármán Tódor-díjat* adományozott *Solymosi József*, a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Bolyai János Katonai Műszaki Karának tanára, a Katonai Műszaki Doktori Iskola vezetője, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Sugárvédelmi szakcsoportjának elnöke részére. A *Kármán Tódorról* elnevezett díjat azok a természetes és jogi személyek érdemelhetik ki, akik a társadalmi felelősségvállalás tekintetében kiemelkedő támogatást nyújtanak hallgatóknak, oktatóknak és oktatási intézményeknek. Solymosi professzor az általa alapított „Somos Alapítvány a védelmi oktatásért és kutatásért” nonprofit szervezetten keresztül ösztöndíjakkal támogatott tudásközpontokat, kutatóműhelyeket a magyarországi oktatás, felnőttképzés és tudományos kutatás területén.

A Simonyi Károly-díj szakkuratóriuma *Simonyi Károly Fizikai díjat* adományozott *Tél Tamás*nak, a fizikai tudomány doktorának, az ELTE Elméleti Fizikai Tanszék egyetemi tanárának a nem-egyensúlyi jelenségek elméleti vizsgálatában elért kiemelkedő tudományos eredményeiért, valamint a Kármán Környezeti Áramlások Laboratórium létrehozásáért és iskolateremtő áramlástanai kutatásaiért.

Simonyi Károly Mérnöki díjat adományozott *Gergely György*nek, a fizikai tudomány doktorának, az MTA Műszaki Fizikai Kutatóintézete professor emeritus institutijának a felületfizikában, annak kísérleti metodikáiban nemzetközi szabványként is elismert, iskolaalapító eredményeiért, valamint – *Simonyi Károly* ma is aktív doktoranduszaként megvalósított – életművéért.

A Dr. Ferenczi György Emlékalapítvány kuratóriuma 2009. évben *Ferenczi-díjat* adományozott két fiatal kutatónak.

Pongrácz Anita SiC nano-méretű epitaxiás kristályok előállításával foglalkozott Si hordozón, és ezek minősítésével. A SiC már ma is a jövő teljesítményelektronikájának egyik ígéretes anyaga, de a szélsőséges körülmények között is használható érzékelőknek

egyik lehetséges anyaga. A kutatás széleskörű nemzetközi együttműködésben folyik.

Dobrik Gergely munkája az atomi léptékben meghatározott szerkezetű grafén alapú nanoszerkezetek előállításával és vizsgálatával foglalkozik. A grafén olyan félvezető eszközök alapjául szolgálhat, amely-

ben az egyik dimenzió az atomi méretek tartományába esik. A pályázónak és kutató csoportjának sikerült olyan szerkezetet létrehozni, amely lehetővé teszi félvezető eszközök működését.

Az Elnökség az ELFT tagsága és a maga nevében is gratulál a díjazottaknak.

HÍREK A NAGYVILÁGBÓL

Az óriás lézer mérföldkőhöz ért a fúziós kutatásokban

A világ legnagyobb lézere igen közel áll ahhoz, hogy megvalósítsa létrehozásának célját, a fúziós reakciók beindítását. Ez a cél úgy valósul meg, hogy a lézer addig hevíti rendkívüli mértékben a fúziós céltárgyat, amíg az felrobban, és magjában létrejön a fúzióhoz szükséges hőmérséklet és nyomás.

A korábbi kísérleteknél olyan rendszertelen implóziók történtek, amelyek elvesztegették a besugárzott energia nagy részét. A kaliforniai Lawrence Livermore National Laboratory kutatóinak *Brian MacGowan* vezetésével azonban sikerült a céltárgy anyagát apró gömbalakba tömöríteni, amely segít létrehozni a fúzió feltételeit. A munkát Livermore-ban a 192 lézernyalábos National Ignition Facility (NIF) berendezésnél végezték, amely 2009-ben állt üzembe.

A kutatócsoport olyan céltárgyat használt, amely nem tartalmazta a fúzió két alapelemét, a deutérium és trícium izotópokat. A céltárgy szimmetrikus implóziója azonban arra enged következtetni, hogy a NIF képes lesz arra, hogy beindítsa a fúziós reakciót 1,2–1,3 megajoule energiájú impulzusokkal, amelyek jóval az 1,8 megajoule kapacitás alatt vannak.

A kutatók az elmúlt két évben lassan növelték a lézer teljesítményét amíg elérték az 1 megajoule feletti határt. Most új műszert szerelnek fel a 10 cm vas-



A NIF első, 2008-ban átadott 96 nyalábot tartalmazó lézeregyüttese.

tag alumínium targetkamrára, valamint óriási betonajtókat helyeznek el a fúziós kísérletekben keletkező neutronok elleni védelem céljából. Néhány hónap múlva elkezdődnek a kísérletek, amelyek a nyalábok kölcsönhatásait és a kompressziót vizsgálják. Ha minden jól megy, az év végére megpróbálhatják beindítani a fúziós reakciót is.

(<http://www.newscientist.com/>)

Ütköző részecskék fekete lyukakat hozhatnak létre

A svájci CERN-ben dolgozó részecskefizikusok azt jósolják, hogy a világ legnagyobb energiájú gyorsítója, a Nagy Hadron Ütköztető (Large Hadron Collider, LHC) berendezésben gyorsított részecskék ütközés-kor apró fekete lyukakat hozhatnak létre, amelyek észlelése fantasztikus felfedezés lenne. Aggódó laikusok azonban attól félnek, hogy ezek a fekete lyukak elnyelhetik a Földet – ami a fizikusok szerint lehetetlen – ezért petícióval fordultak az ENSZ-hez hogy zárassa be az 5,5 milliárd dollár értékű LHC berendezést. Furcsa módon azonban soha senki nem mutatta meg, hogy a gravitáció alapvető elmélete, *Einstein* általános relativitáselmélete ténylegesen megjósolja-e, hogy fekete lyukak létrejöhetnek ilyen módon. Most egy számítógépes modell segítségével először sikerült

kimutatni, hogy részecskeütközéseknél valóban keletkezhetnek fekete lyukak.

A fekete lyukak keletkezésénél a kulcstényező az, hogy elegendő tömeget vagy energiát zsúfoljunk össze elegendően kis térfogatba, amint az például nagytömegű csillagok összeroppanásánál történik. *Einstein* általános relativitáselmélete szerint a tömegek elgörbítik a téridőt, hogy a gravitációként ismert jelenséget létrehozzák. Ha nagyon nagy tömeg zsúfolódik nagyon kis térfogatba, a téridő annyira elgörbül, hogy abból a térfogattól semmi, még a fény sem távozhat el. Így az objektum fekete lyukká változik. Két ütköző részecske pedig ilyen módon hozhat létre apró fekete lyukat, ha az ütközés energiája meghaladja az úgynevezett Planck-energia alapvető korlátját.

A fizikusok eddig ezt tételezték fel, mondja *Matthew Choptuik*, a University of British Columbia, Vancouver kutatója. Egy 1971-ből származó számítás is azt mutatja, hogy részecskék ütközésénél keletkezhet fekete lyuk, azonban ebben a számításban magukat a részecskéket is fekete lyukaknak tételezhatték fel, ezért az eredmény nem tekinthető megbízhatónak. Choptuik és *Frans Pretorius*, a Princeton Egyetem kutatója az általános relativitáselmélet bonyolult matematikai apparátusát felhasználva szimulálta az ütközési folyamatot. Az egyszerűség kedvéért a két ütköző részecskét hipotetikus bozon csillagnak tételezték fel, amely modellt hasonló a gömb alakú folyadék csillagmodellhez. Óriási mennyiségű számítógépi időt felhasználva azt találták, hogy ha az ütközés teljes energiája meghaladja a Planck-energia egyharmadát, létre-

jöhetnek fekete lyukak. Vajon ez azt jelenti, hogy az LHC-ben keletkezhet fekete lyuk? Korántsem, mondja Choptuik. A Planck-energia egy trilliószor nagyobb mint az LHC maximális energiája, ezért az LHC csak akkor kelthetne fekete lyukakat, ha a tér több mint három dimenziós lenne és egyes dimenziók kis csomókba görbülneek össze, hogy csak nagyenergiájú ütközésekben legyen szerepük.

Steve Giddings, a University of California, Santa Barbara elméleti fizikusa szerint igazán nagy teljesítmény, hogy képesek voltak elvégezni ezt a számítógépes szimulációt. Lehetséges, hogy ez az egyetlen módja a jelenségek tanulmányozásának, ha a térnek nincsenek extra dimenziói vagy a Planck-energia elérése reménytelennek tűnik.

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

A legújabb csillagászati nagyműszerek

A Csillagászat Nemzetközi Évében, vagyis 400 évvel azután, hogy *Galileo Galilei* megkezdte az égbolt tudomány- és kultúrtörténeti jelentőségű távcsöves megfigyelését, a csillagászat műszerarzenálja jelentős földfelszíni és légkörön kívüli eszközökkel gyarapodott. A legújabb műszerek egyikével ismét megdőlt a legnagyobb optikai távcső rekordja. A 10,4 m átmérőjű *Gran Telescopio Canarias* (GTC) fénygyűjtő felülete 6 négyzetméterrel haladja meg az eddigi csúcst tartó Keck-távcsövek főtükreinek gyűjtőfelületét.

A csillagászati célú óriástávcsövek felületét gazdasági és műszaki megfontolások alapján már évtizedek óta nem egyetlen darabból készítik. A hatalmas tükröt kisebb szegmensekből, ez esetben 36 darab hatszögletű szegmensből állítják össze. Az egyes tükröelemek egymáshoz viszonyított helyzetének megfelelő beállításáról és megőrzéséről számítógéppel vezérelt mechanikai rendszer gondoskodik, amellyel minden egyes szegmens külön-külön úgy mozgatható, hogy a rendszer tökéletes leképezésű, egybefüggő tükröt imitál a távcső tetszőleges helyzetében.

A La Palma szigetén létesített GTC a két évig tartó tesztüzem után 2009-ben vált teljesen működőképesé. Egy távcső használhatóságát és teljesítőképességét azonban nem egyedül a főtükör átmérője szabja meg. Az is rendkívül fontos, hogy milyen detektorok érzékelik a távcső által összegyűjtött sugárzást. A GTC átadásakor csak egy képalkotó és kis felbontású színképek készítésére alkalmas műszer állt rendelkezésre. A távcső fő észlelőberendezése, a University of Florida szakemberei által tervezett és épített CanariCam 2010-ben kerül használatba. A közeli-infravörös tarto-

mányban (7,5–25 mikrométer között) működő detektorral a képalkotáson és a nagy felbontású spektroszkópiai vizsgálatokon kívül polarizációs mérések is végezhetőek. Az óriástávcsővel főként nagyon távoli, emiatt egészen halvány galaxisok vizsgálatát tervezik, valamint szupernóvák, exobolygók és a csillagkeletkezés kutatását.

A chilei Atacama-sivatagban 5000 m magasságban számos ország összefogásával készülő *Atacama Large Millimetre Array* (ALMA) létesítésében nagy előrelépést jelent, hogy 2009-ben már interferometrikus próbaméréseket végeztek a meglévő 2 antennával. A teljes kiépítés 50, egyenként 12 m átmérőjű antennát tartalmaz majd, amelyekkel az Univerzumból érkező milliméteres (pontosabban 0,3 és 9,6 mm közötti) hullámhosszú sugárzást tanulmányozzák elsősorban kozmológiai kutatásokhoz, de az alacsony hőmérsékletű égitestek (pl. bolygók) és tartományok (pl. molekulafelhők) is jól vizsgálhatók milliméteres sugárzásuk alapján. Az interferometriai mérési módszer rendkívül nagy szögfelbontást tesz lehetővé, mivel a mozgatható antennákkal akár 16 km-es bázistávolság is elérhető lesz (azaz a szögfelbontás egy 16 km átmérőjű távcsőével egyenértékű).

Az űrcsillagászati kutatásokba három lényeges műszer lépett be tavaly: a *Kepler*-, a *Herschel*- és a *Planck*-űrszondák. A fotometriai célú Keplerről részletes ismertetés található *Szabó Róbert* cikkében (*Fizikai Szemle* 2009/4, 121–124.), az infravörös tartományt vizsgáló *Herschel*- és a mikrohullámú sugárzást észlelő *Planck*-szondákra pedig a közeljövőben várható eredményeik kapcsán érdemes lesz visszatérnünk.

Szabados László

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.

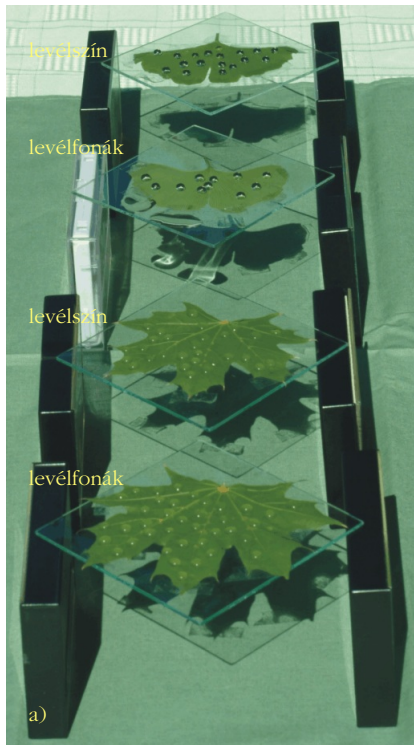
Nyomdai előkészítés: Kármán Tamás, nyomdai munkálatok: OOK-PRESS Kft., felelős vezető: Szatmáry Attila ügyvezető igazgató.

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

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

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

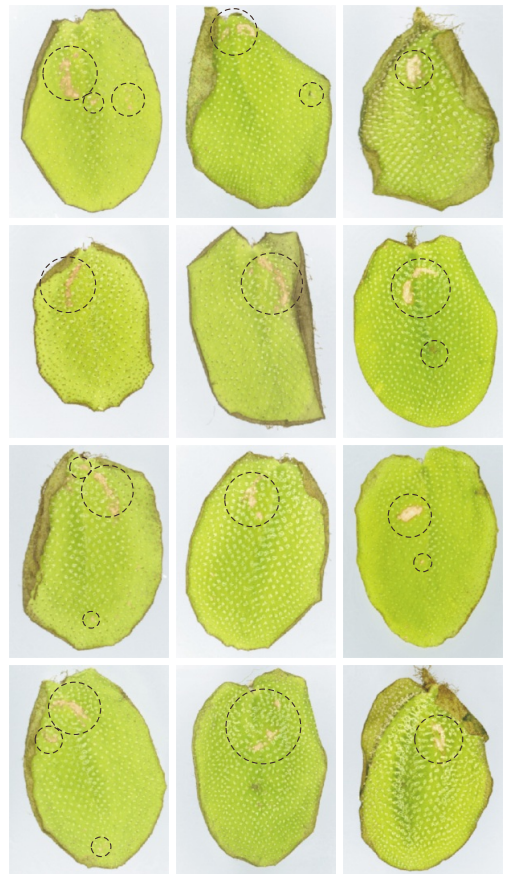
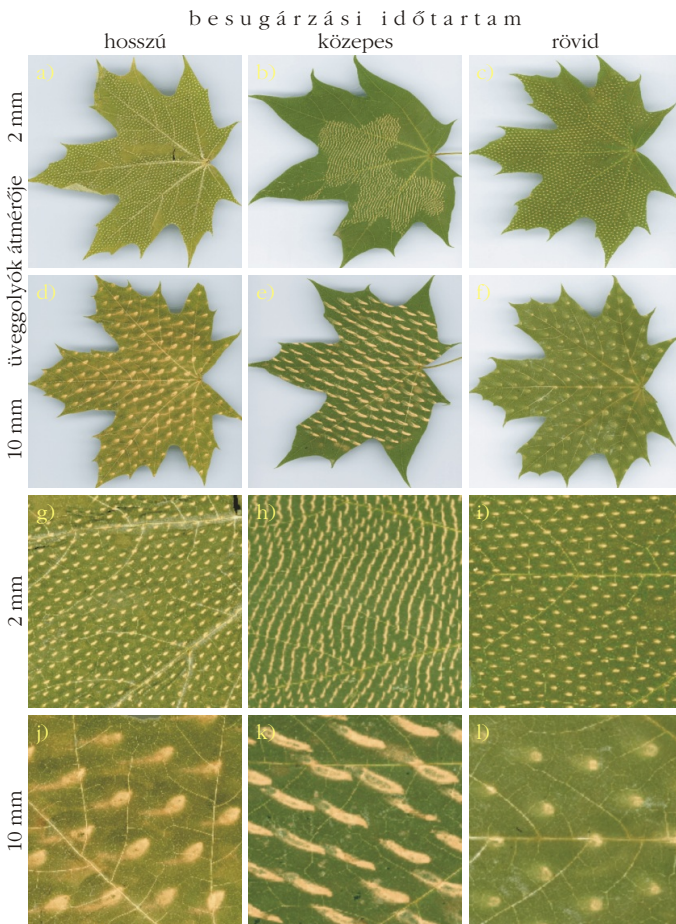
BEÉGETHETIK-E NAPSÜTÉSBE A LEVELEKET...



2. ábra. (balra fönt) a) A 2. kísérlet elrendezése, amelyben két juhar (*Acer platanoides*, lent) és két páfrányfenyő (*Ginkgo biloba*, fönt) levél volt vízszintesen kiterítve egy üveglapon. Mindkét levélfaj levélének fonákját, illetve színét vízcseppek borították. b) A páfrányfenyő (bal oszlop) és juhar (jobb oszlop) levelein nyugvó vízcseppek fényképei közelről.

4. ábra. (balra lent) a)–f) Az 1. kísérletben napégést szenvedett juharlevelek (*Acer platanoides*), amelyeket 2, illetve 10 mm átmérőjű üveggolyók borítottak a közvetlen napfényvel történt hosszú (bal oszlop), közepes (középső oszlop) és rövid (jobb oszlop) besugárzás alatt. Az üveggolyók által fókuszált napfény nagy intenzitása miatt kialakult barna perzselési foltok jól kivehetők a zöld leveleken. g–l) Az a–f ábrák 4-szeres nagyításban.

7. ábra. (jobbra lent) Barna napégési foltok, körökkel jelölve, a rucaöröm (*Salvinia natans*) szőrös, zöld levelein, a 3. kísérlet végén.



ISSN 0015325-7



9 770015 325009 1 0 0 2

