

fizikai szemle



2011/10

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

Főszerkesztő:

Szatmáry Zoltán

Szerkesztőbizottság:

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

Szerkesztő:

Füstöss László

Műszaki szerkesztő:

Kármán Tamás

A folyóirat e-mail címe:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba zánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>

A címlapon:

Látványos vörös lidércek Bajától
100 km távolságra, 2011. június 23-án,
fotó: Goda Zoltán.

TARTALOM

<i>Fényes Tibor</i> : Szuperszimmetrikus részecskék a célkeresztben	329
<i>Havancsák Károly, Lendvai János</i> : Nagyfelbontású pásztázó elektronmikroszkóp az Eötvös Egyetemen	339
<i>Bór József, Barta Veronika</i> : Vörös lidércek – gigantikus „tűzijáték” a felsőlégkörben	343
<i>Goda Zoltán</i> : Vörös lidércek észlelése amatőr szemmel	349

A FIZIKA TANÍTÁSA

<i>Csákány Antalné, Jubász Nándor, Ósz György, Vida József</i> : A XXI. Öveges József Országos Fizikaverseny döntője	351
<i>Härtlein Károly</i> : Kísérletezzünk otthon!	357

KÖNYVESPOLC

HÍREK – ESEMÉNYEK

<i>T. Fényes</i> : Focus on supersymmetric particles	
<i>K. Havancsák, J. Lendvai</i> : The high resolution scanning electron microscope of Eötvös University, Budapest	
<i>J. Bór, V. Barta</i> : Red sprites – gigantic fireworks in the upper atmosphere	
<i>Z. Goda</i> : How to observe red sprites – recommendation for laymen	

TEACHING PHYSICS

<i>J. Lányi-Csákány, N. Jubász, G. Ósz, J. Vida</i> : The final round of the XXI. Öveges József Contest in physics	
<i>K. Härtlein</i> : Physical experiments to be performed at home	

BOOKS, EVENTS

<i>T. Fényes</i> : Höchst aktuell: Supersymmetrische Teilchen	
<i>K. Havancsák, J. Lendvai</i> : Das hochauflösende Elektronenmikroskop der Eötvös-Universität, Budapest	
<i>J. Bór, V. Barta</i> : Rote Irrlichter – ein gigantisches Feuerwerk in der oberen Atmosphäre	
<i>Z. Goda</i> : Wie man rote Irrlichter beobachtet – Ratschläge für Laien	

PHYSIKUNTERRICHT

<i>J. Lányi-Csákány, N. Jubász, G. Ósz, J. Vida</i> : Endrunde des XXI. Öveges-József-Wettbewerbs in Physik	
<i>K. Härtlein</i> : Zu Hause ausgeführte Experimente	

BÜCHER, EREIGNISSE

<i>T. Фенеш</i> : Сверхсимметричные частицы	
<i>K. Гаванчак, Я. Лендваи</i> : Электронный микроскоп высокого разрешения Университета им. Этвеша в Будапеште	
<i>Й. Бор, В. Барта</i> : Красные кошмары - гигантские фейерверки в верхней атмосфере	
<i>З. Года</i> : Наблюдение красных кошмаров: советы неспециалистам	

ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

<i>Й. Лани-Чакань, Н. Югас, Г. Ёс, Й. Вида</i> : Итоги XXI. Физического Конкурса им. Эвешеша	
<i>K. Гэртлеин</i> : Эксперименты для выполнения дома	

КНИГИ, ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ

Fizikai Szemle
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:



Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

LXI. évfolyam

10. szám

2011. október

SZUPERSZIMMETRIKUS RÉSZECSKÉK A CÉLKERESZTBEN

Fényes Tibor

MTA ATOMKI, Debrecen

A részecskefizika Standard Modellje (SM) szerint a látható világunk kvarkokból (u, d, s, c, b, t), leptonokból ($e, \nu_e, \mu, \nu_\mu, \tau, \nu_\tau$), ezek antirészecskéiből, valamint a kölcsönhatásokat közvetítő térkvantumokból épül fel (1. ábra). Az SM leírja az elektromágneses és gyenge kölcsönhatások jelenségeit és az erős kölcsönhatás sok elemét. A modell nagyfokú belső következetességgel rendelkezik és a kvantum-elektrodinamika, kvantum-szándinamika, valamint az elektrogyenge-elmélet egyaránt renormálható helyi mértékelmélet.

A modellt nagyszámú kísérleti próbának vetették alá, vizsgálták a részecskék méretét, tömegét, nyomtatókat, bomlási sajátosságait és legkülönbözőbb reakcióit. Összességében mondhatjuk, hogy a standard elektrogyenge-modell 0,1%-os szinten ellenőrizve lett (lásd például Langacker [1] vagy Particle Data Group [2]).

A Standard Modell megjósolta a W - és Z -bozonok, valamint a c - és t -kvarkok létét és az előre jelzett tömegek megfeleltek a kísérletileg mérteknek. A modellben a Higgs-bozon kivételével minden tömeg és kölcsönhatási csatolási állandó ismert.

Az elért eredmények egyúttal behatárolják a továbbfejlesztési lehetőségeket, előnyben részesítik azokat az elméleteket (például a szuperszimmetria-elméletek legtöbb változatát), amelyek jellemzően 0,1%-os effektusokat okoznak, ugyanakkor a nagyobb (% rendű) effektusokkal járó elméletek esélyeit csökkentik.

A nyilvánvaló sikerek ellenére a Standard Modellnek vannak megoldatlan problémái is. Ezek vázlatosan a következők.

Sok benne a szabad (az elméletből le nem vezethető) paraméter (részecskék tömegei, a kölcsönhatások erősségei stb.). Ezek száma ≥ 19 .

Problémák a részecskénél

- Miért van 3 részecskecsalád?
- Miért van ≥ 11 nagyságrendi különbség az elemi részecskék tömegei között?
- A Higgs-bozont még nem találták meg.
- A neutrínók nem tömeg nélküliek, noha ezt az SM feltételezi.

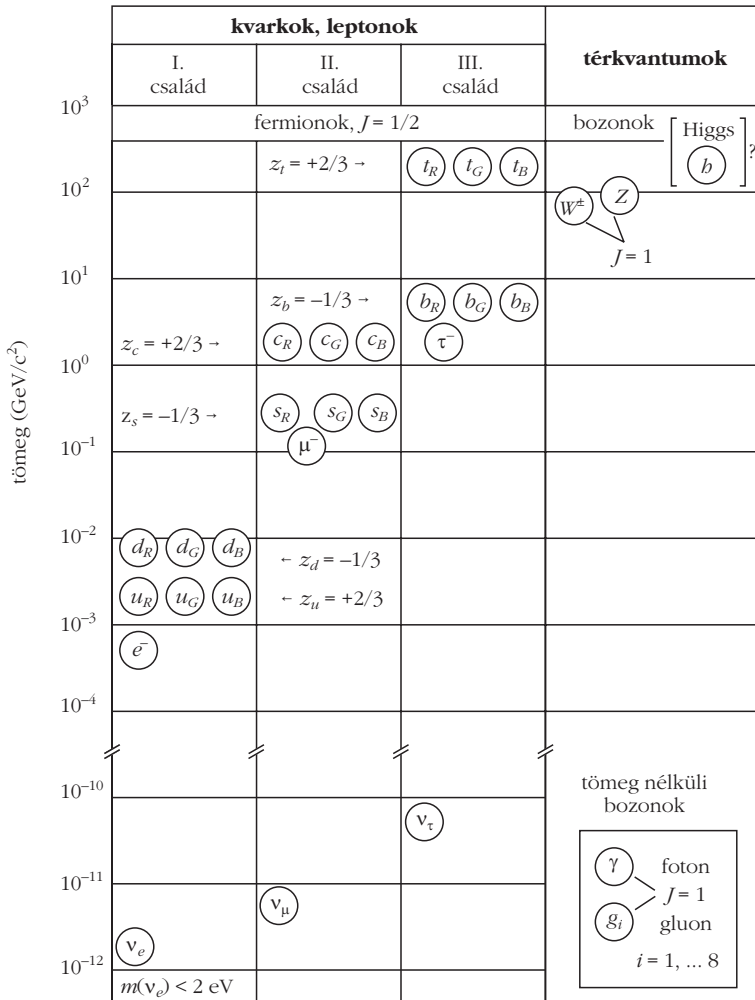
Problémák a kölcsönhatásoknál

- Az elektrogyenge és erős kölcsönhatások között nem teljes a kapcsolat, három különböző csatolási állandó van.
- Nem világos, miért van négyféle kölcsönhatás (erős, elektromágneses, gyenge, gravitációs) és miért éppen négy.
- A gravitáció Einstein-féle elmélete geometriai és nem kvantumtérelmélet.

Problémák a kozmológiában

- Az Univerzum anyagának döntő többsége az úgynevezett sötét anyag, amiről azt sem tudjuk, hogy miből áll.
- Az Univerzumban fennálló nagy anyag-antianyag aszimmetria oka pontosan nem ismert stb.

A Standard Modell túlhaladására útmutatást adhat a kölcsönhatási erősségek extrapolálása a nagy energiák tartományára. A kvantumszándinamika csatolási állandója (α_s) függ attól az energiától, amelynél mérjük. Hasonló a helyzet az elektrogyenge kölcsönhatásnál is, a csatolási állandók logaritmikusan függenek a mérési energiától. Az eredmények a 2. ábrán láthatók. Az ábra figyelemreméltó tanulsága, hogy az erős és elektrogyenge kölcsönhatások csatolási állandói



1. ábra. A leptonok (e^- , ν_e , μ^- , ν_μ , τ^- , ν_τ), kvarkok (u , d , s , c , b , t) és térkvantumok (W^\pm , Z , H ?) tömegskálája. A kvarkok három „színben” fordulnak elő (vörös R , zöld G , kék B). Minden leptonhoz és kvarkhoz tartozik egy antirészecske, amit általában felülvonás jelez vagy ellenkező előjelű töltés, például \bar{u}_R , e^- , $\bar{\nu}_e$, $\bar{\nu}_\tau$. z_i az elektromos töltés (e egységben), J a spin (\hbar egységben). A neutrínók tömege jelenleg (2011) nem ismert, a feltüntetett értékek hozzávetőlegesek.

10^{15} GeV körül nagyon hasonlóak. Ha a Standard Modell előrejelzéseit kombináljuk a később tárgyalandó szuperszimmetrikus modellel, $\sim 3 \times 10^{16}$ GeV körül még jobb lesz az egyezés. Sőt 10^{18} GeV közelében a gravitáció csatolási állandója is hasonló értékű lehet. Ez alapot teremthet a Standard Modellen túlmenő, nagy egyesítési elméletek kidolgozásához.

A Standard Modell túlhaladására több modellt is kidolgoztak. Ezek nagyobb csoportjai a következők: szuperszimmetrikus (SUSY) modellek, a nagy egyesítési modellek (GUT, grand unification theory), szuperhúr-modellek (TOE, theory of everything). A modellek általában új részecskék létezését feltételezik, sőt egyesek új kölcsönhatások létét is.

Mind a SUSY-, mind a GUT-modellek új szimmetriát vezetnek be az elméletbe, nevezetesen

- a SUSY: fermion \Leftrightarrow bozon, valamint kölcsönhatás \Leftrightarrow anyag,
- a GUT: kvark \Leftrightarrow lepton szimmetriát.

Ami a közeljövőt illeti, a Nagy Hadronütköztető (LHC) beindulása valószínűleg lehetővé teszi a Higgs-bozo-

n(ok) megfigyelését (ha ilyenek egyáltalán vannak) és a szuperszimmetrikus modellek által megjósolt részecskék közül egyesek megtalálását. Mindez teljesebbé teheti a Standard Modell kísérleti igazolását és kísérleti alapot adhat a Standard Modellen túlmenő elméleteknek.

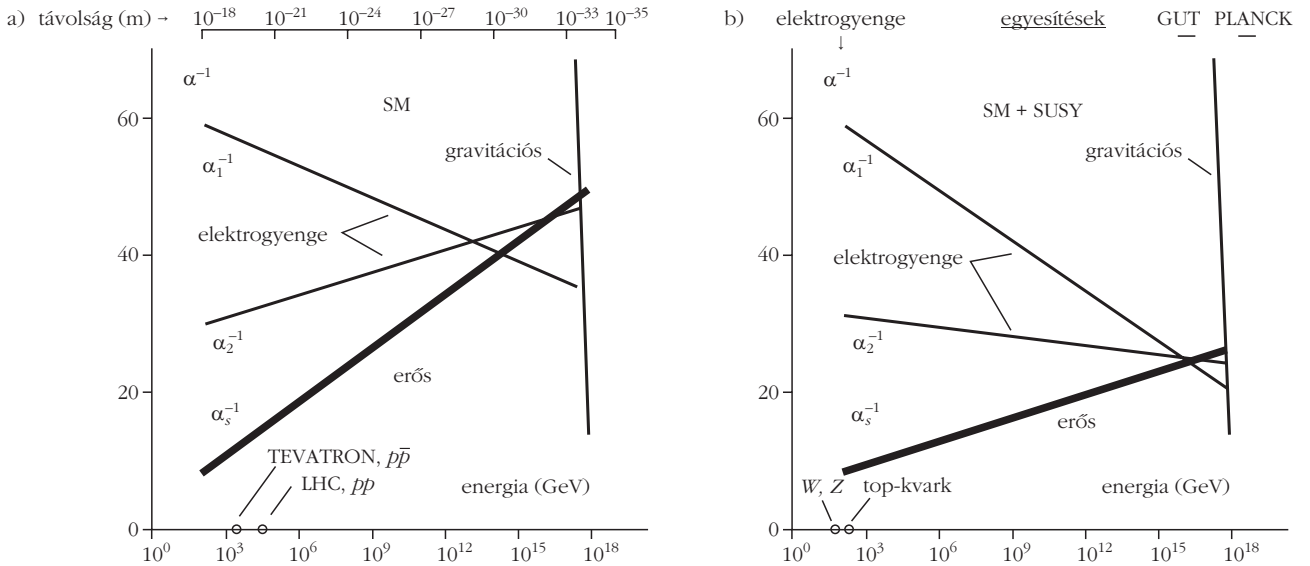
A szuperszimmetrikus (SUSY) modellek szerint minden Standard Modell (SM) részecskének van egy szuperpartnere, amelynek sajátosságai – a spint kivéve – hasonlóak. Konkrétan: minden SM-fermionhoz egy skalár szuperpartnert rendelnek és minden vektorbozonhoz egy fermionos szuperpartnert. Az új részecskéknel a kvarkok és leptonok esetében egy sz-betűt tesznek a normál részecske neve elé, a többinél „ínó” végződést alkalmaznak (1. táblázat).

A szuperszimmetrikus modellek legegyszerűbb változatát Minimális Szuperszimmetrikus Standard Modellnek (MSSM) nevezik, amit a továbbiakban részletesebben tárgyalunk.

A modell szerint a feltételezett szuperpartnerek közötti kölcsönhatások erőssége ugyanaz, mint a megfelelő normális részecskék között.

A SUSY-modellek számos új részecskét vezetnek be, melyek létét jelenleg (2011 közepén) a kísérletek még nem támasztják alá. Mégis komoly érvek szólnak a SUSY-modellek bevezetése mellett. Ezek a következők:

- A SUSY lehetőséget nyújt arra, hogy a kölcsönhatások nagy egyesítése néhány-szor 10^{16} GeV körül történjen. Ez a Standard Modell előrejelzéséhez képest lényegesen pontosabb egyezést biztosít a kölcsönhatási erősségekre (2. ábra).
- Egy SUSY-részecske bomlása várhatóan mindig páratlan számú szuperszimmetrikus részecskét eredményez, ami végül elvezet a legkönnyebb SUSY-részecskéhez. Ez stabil kell legyen és kozmológiai érvek alapján semleges. A stabil semleges legkönnyebb szuperszimmetrikus részecske kitűnő jelölt az Univerzum hideg sötét anyagára.
- Az elmélet olyan mechanizmust nyújt, ami egymástól sok nagyságrenddel különböző energiákat (tömegeket) megmagyarázhat (hierarchiaprobléma). A W , Z közvetítő bozonok tömege $\sim 10^2$ GeV, a Planck-tömeg $\sim 10^{19}$ GeV. A kvantumelméletben a részecske-tömegekhez kvantumkorrekciók járulnak, amelyek az elméletben megjelenő nagyobb energiák rendjébe esnek. Így a gravitáció jelenlétében a Planck-tömeg például a Higgs-bozon tömegét sok nagyságrenddel megnöveli. A szuperszimmetrikus elméletben finom kioltások történnek, amelyek lehetővé teszik, hogy az elektromos kölcsönhatás közvetítőinek tömege sokkal kisebb legyen, mint a Planck-tömeg. E kioltásokat a SUSY-elmélet matematikai szerkezete biztosít.



2. ábra. A kölcsönhatási erősségek reciproka (α^{-1}) a kölcsönhatási energia függvényében. Az SU(5) Standard (SM) és az SU(5) Standard plusz Szuperszimmetria (SM + SUSY) modellek előrejelzései. A vonalvastagságok közelítőleg a csatolási állandók bizonytalanságát mutatják. Itt $\alpha_1 = (5/3)g^2/(4\pi)$, $\alpha_2 = g^2/(4\pi)$ és $\alpha_{el.magn.} = e^2/(4\pi)$, g' és g a gyenge töltések. A csatolási állandók közti összefüggés: $5/(3\alpha_1) + 1/\alpha_2 = 1/\alpha_{el.magn.}$. A kölcsönhatási energia (a határozatlansági reláción keresztül) átszámolható jellemző kölcsönhatási idővé, az pedig a fénysebességgel szorozva kölcsönhatási távolsággá. Weinberg [3] alapján, kiegészítésekkel.

ja. A virtuális bozonok és fermionok miatt fellépő sugárzási korrekciók a részecskék, illetve szuperpartnerek tömegére ellenkező előjelűek, így a tömegekre vonatkozó kvantumkorrekciók divergenciái megszelídíthetők. A SUSY-modellek kitűnő renormálhatósági sajátosságokkal rendelkeznek.

– Annak ellenére, hogy a SUSY-sérülés (lásd később) pontos mechanizmusa nem ismeretes, a *különböző szuperszimmetria-modellek eléggé egyöntetűen egy nagyon könnyű Higgs-bozon létét valószínűsítik*, amelynek tömege a Minimális Szuperszimmetrikus Standard Modellben (MSSM) < 130 GeV.

– A szuperszimmetrikus elmélet nagyon közeli kapcsolatban van Einstein gravitációelméletével. *Valószínűnek látszik, hogy a gravitáció kvantumelmélete szuperszimmetrikus lesz.* Helyi mértékszimetriával rendelkező SUSY szupergravitációs (SUGRA) modellek egyaránt magukba foglalják a gravitáció mértéktérének 2-es spinű bozonját (a gravitont), valamint a 3/2 spinű gravitínót is.

– A szuperszimmetria matematikai realitás.

A SUSY-modellek lényeges előrelépést jelenthetnek a természet megismerésében. Mindazonáltal mind az SM, mind a SUSY-modellek effektív modellek, amelyek bizonyos tartományban érvényesek, de lehet hogy csak egy sokkal általánosabb elmélet részei.

A következőkben röviden ismertetjük a Minimális Szuperszimmetrikus Standard Modell alapjait, valamint a legfontosabb előrejelzéseit a szuperszimmetrikus részecskék tömegére, bomlásaira, előállíthatóságukra és detektálhatóságukra vonatkozóan.

Minimális Szuperszimmetrikus Standard Modell

A szuperszimmetria-transzformáció operátora (Q) a $|F\rangle$ fermionállapotokat $|B\rangle$ bozonokba transzformálja és fordítva:

$$Q|F\rangle = |B\rangle \text{ és } Q|B\rangle = |F\rangle.$$

A fermionállapotok spinje $1/2$, a bozonállapotoké egész szám, így a Q operátor a részecske spinjét $1/2$ -del változtatja. Megfogalmazhatók szuperszimmetria-algebrán alapuló modellek, amelyekben a fermion- és bozonrészecskék azonosnak tekinthetők a „szupermultipletten” belül (ahol ugyanaz a töltésük, színeik, tömegük, szabadsági fokaik stb., kivéve a spint).

A Minimális Szuperszimmetrikus Modell ugyanazon mértékszimetrián alapul, mint a Standard Modell, a $SU(3)_c \times SU(2)_{\text{bal}} \times U(1)_Y$ csoportokon. A részecskék száma is minimális: csak a három családhoz tartozó feles spinű kvarkokkal és leptonokkal számol (nem vesz figyelembe jobbkezes neutrínókat, miként a Standard Modell sem).

1. táblázat			
Részecskék és szuperpartnereik			
részecske	spin	szuperpartner	spin
kvark	q	szkvark	\hat{q} 0
lepton	l	szlepton	\hat{l} 0
gluon	g	gluínó	\hat{g} 1/2
foton	γ	fotínó	$\hat{\gamma}$ 1/2
W^\pm	1	winó	\hat{W}^\pm 1/2
Z^0	1	zinó	\hat{Z}^0 1/2
higgs(?)	h^0	higgsínó	\hat{h}^0 1/2
graviton(?)	G	gravitínó	\hat{G} 3/2

Az MSSM szupermultipliettjeit a 2. táblázatban tüntettük fel.

Világos azonban, hogy ha a természet szuperszimmetrikus részecskéket is tartalmaz, a *szuperszimmetriának sérülnie kell lennie*. Ha például a szelektron tömege ugyanakkora volna, mint az elektroné és ugyanolyan elektromágneses erő kötne a protonhoz, a Pauli-elv már nem zárna ki, hogy azonos kvantumállapotban csak egy részecske lehet (a szelektron bozon, amire nincs ilyen kizárási elv). Így az atom szerkezete merőben más lenne, mint amit tapasztalunk. A szelektron tömege (ha egyáltalán létezik) más kell legyen, mint az elektroné, ezzel a szimmetria sérül.

A szimmetria sérülése után új részecskék állhatnak elő:

$$\begin{aligned}
 W^0 \text{ és } B^0 \text{ keveredéséből} & \rightarrow Z^0 \text{ (és } \gamma), \\
 \text{SUSY-nál} & \rightarrow \tilde{Z}^0 \text{ és } \tilde{\gamma}, \\
 \tilde{W}^\pm \text{ és } \tilde{H}^\pm \text{ keveredéséből} & \rightarrow \tilde{\chi}_{1,2}^\pm, \text{ charginó}, \\
 \tilde{W}^0, \tilde{B}^0, \tilde{H}_d^0, \tilde{H}_u^0 \text{ keveredéséből} & \rightarrow \tilde{\chi}_{1-4}^0, \text{ neutralínó}.
 \end{aligned}$$

Az MSSM-ben öt Higgs-bozon van: két CP-páros (azaz a töltés-paritás-invarianciát nem sértő) skalár H_d^0, H_u^0 , egy CP-páratlan A^0 és két töltött skalár H^\pm, H^\mp . Ezek $1/2$ spinű szuperpartnerei (a higgszínók) keverednek a winókkal és binókkal, ami két charginóhoz és négy neutralínóhoz vezet.

Az MSSM-ben be szokták vezetni a szupermultipletlen belüli részecskék jellemzésére az R_p paritást a következő definícióval: $R_p \equiv (-1)^{3B-L+2s}$, ahol B a barionszám, L a leptonszám, s a spin. Például

$$\begin{aligned}
 \text{a kvarkoknál} & \quad B = 1/3, L = 0, s = 1/2, R_p = +1, \\
 \text{a szkvaroknál} & \quad B = 1/3, L = 0, s = 0, R_p = -1,
 \end{aligned}$$

és hasonlóképpen a leptonoknál $R_p = +1$, a szleptonoknál $R_p = -1$. A Standard Modell részecskéire (beleértve a higgszeket is) $R_p = +1$, míg a szuperpartnerekre $R_p = -1$. Az MSSM-ben feltevés, hogy az R_p paritás invariáns a bomlásokban és reakciókban. Ennek fontos következménye, hogy a SUSY-részecskék mindig párokban állnak elő; továbbá a bomlásokban mindig páratlan számú SUSY-részecske keletkezik és a legkönnyebb SUSY-részecske stabil.

Az MSSM további feltevése, hogy a Standard Modell részecskéinek és az ugyanazon szupermultiplетhez tartozó szuperpartnereinek ugyanazok a csatolási erősségei a kölcsönhatásokban.

A klasszikus mechanikában a részecske mozgás-egyenlete tárgyalható a Lagrange-energiasűrűségekből kiindulva, ami a rendszer kinetikus energiája mínusz a potenciális energiája. A relativisztikus térelméletben is bevezetnek Lagrange-energiasűrűségeket, de ezek axiómaszerűek, amelyeket a kísérletek közvetve, a belőlük levezetett eredményeken keresztül támasztanak alá. A szuperszimmetria-modellek Lagrange-energiasűrűségének (\mathcal{L}) megalkotásánál megkövetelik, hogy az legyen invariáns mérték- és

2. táblázat

A Minimális Szuperszimmetrikus Standard Modell (MSSM) szupermultipliettjei az első családban		
	bozonok	fermionok
vektor szupermultipliett	$J = 1, A$ g W^\pm, W^0 B^0	$J = 1/2, \lambda$ \tilde{g} $\tilde{W}^\pm, \tilde{W}^0$ \tilde{B}^0
királis (anyag) szupermultipliett	$J = 0, \Phi$	$J = 1/2, \Psi$
leptonok	$(\tilde{\nu}_L, \tilde{e}_L^-)$ $\tilde{e}_L^c = \tilde{e}_R^+$	(ν_L, e_L^-) e_L^c
kvarkok	$(\tilde{u}_L, \tilde{d}_L)$ $\tilde{u}_L^c = \tilde{u}_R$ $\tilde{d}_L^c = \tilde{d}_R$	(u_L, d_L) u_L^c d_L^c
higgsek	(H_d^0, H_d^\pm) (H_u^0, H_u^\pm)	$(\tilde{H}_d^0, \tilde{H}_d^\pm)_L$ $(\tilde{H}_u^0, \tilde{H}_u^\pm)_L$

Alsó indexben L balt, R jobbat jelent. c = konjugált, így u_R helyett u_L^c szerepel. A \sim jel szuperszimmetrikus részecskét jelöl. A szupermultiplетhez tartozó teret a következőképpen jelöltük: A mértékbozon-, λ gauginó-, Φ komplex skalár-, Ψ fermionter. A jelen munkában a szupertér és szupermultiplет azonos jelentésű, vagyilagosan használható.

szuperszimmetria-transzformációra, érvényesüljön az R_p -invariancia és az elmélet legyen renormálható. A Minimális Szuperszimmetrikus Standard Modellben az is követelmény, hogy minimális legyen a részecskeszám és minimális mértékcsoponton alapuljon: $SU(3)_c \times SU(2)_{\text{bal}} \times U(1)_Y$. A fenti követelményeknek megfelelően felírt Lagrange-energiasűrűségben azonban a részecskék és szuperpartnereik tömege azonos, ami nyilvánvalóan ellentmond a kísérleti eredményeknek. Így a szuperszimmetria-sérülés leírására új $\delta\mathcal{L}$ tagokat is be kell vezetni a Lagrange-energiasűrűségbe. Mivel azonban a szuperszimmetria-sérülés mechanizmusa nem ismert, a $\delta\mathcal{L}$ rengeteg új paramétert hoz be, amelyek nem egyebek, mint a „tudatlanságunk parametrizációi”. A szabadon választható paraméterek számát azonban további feltevésekkel csökkenteni lehet. Ezek száma az MSSM különböző változataiban a következőképpen alakul:

MSSM-124	124 szabad paraméter,
fenomenológiai MSSM-22	22 szabad paraméter,
MSSM – mSUGRA	5 szabad paraméter.

Az MSSM-124-ben megkövetelik, hogy a szuperszimmetriát sértő $\delta\mathcal{L}$ ne hozzon be négyzetes divergenciákat a részecskék tömegének számításánál, a $\delta\mathcal{L}$ -ben szereplő tagok legyenek Lorentz-invariánsak és a számuk legyen minimális („puha szimmetriasértés”). A fenomenológiai MSSM-ben további egyszerűsítő feltevéseket tettek: például hogy minden SUSY-sértő paraméter legyen reális, ne legyen új forrása a CP (töltés-paritás) sértésnek stb. Az MSSM – mSUGRA (minimális szupergravitáció) variánsban pedig felteszik, hogy

a GUT-tartományban ($\sim 3 \times 10^{16}$ GeV) bizonyos paraméterek azonos értéket vesznek fel:

$$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \rightarrow \alpha_{\text{GUT}} = 0,041,$$

$$\text{univerzális gauginó tömegek} \\ \rightarrow m_{1/2},$$

$$\text{univerzális szfermion és Higgs tömegek} \\ \rightarrow m_0,$$

$$\text{univerzális Yukawa-csatolás} \\ \rightarrow A_0,$$

$$\text{elektrogyenge szimmetriasértés kis energián} \\ \rightarrow \text{tg}(\nu_u/\nu_d) \text{ és } \mu \text{ előjele.}$$

Itt Yukawa-csatolás alatt 3-pontos kölcsönhatás értendő zéró spinű és $\frac{1}{2}$ spinű részecskék között; ν_u és ν_d a H_u és H_d Higgs-terek várható értékei vákuumban; μ a semleges Higgs-potenciál egy paramétere. A GUT-tartományban felvett α_{GUT} , $m_{1/2}$, m_0 , A_0 , $\text{tg}(\nu_u/\nu_d)$ értékekből a Nagy Hadronütköztető (LHC) 14 TeV pp tömegközépponti energiáján várható tömegek, csatlóási állandók az úgynevezett renormalizációs csoport egyenletek segítségével számíthatók.

Az elmélet részletes leírása megtalálható például *Binétruy* [4] könyvében. A puha szimmetriasértő Lagrange-energiasűrűséget részletesen tárgyalja *Chung* és mts. [5] összefoglaló közleménye. A különböző modellekről rövid áttekintés található *Pape, Treille* [6] munkájában.

Az MSSM részecskéinek tömege

Az MSSM – mSUGRA modell paramétereinek (m_0 , $m_{1/2}$, A_0 , $\text{tg}\beta$, μ előjele) numerikus megválasztásánál több szempontot is figyelembe szoktak venni. Az mSUGRA-modell szerint a legkönnyebb SUSY-részecske a neutralínó, ami egyik legfontosabb jelölt a kozmológiai sötét anyag mibenlétére. Irányelvül szolgál, hogy a megjósolt neutralínósűrűség összhangban legyen az Univerzumban megfigyelt hideg sötét anyag sűrűségével. Követelmény továbbá, hogy a paraméterek ne vezessenek olyan eredményekre, amelyek ellentmondásban vannak a CERN-i LEP (nagy elektron-pozitron ütköztető), a műion $g_\mu-2$ és más kísérletekből nyert adatokkal. Több más szempontot is figyelembe véve a SUSY-részecskék tömegeinek előrejelzésére összeállítottak bizonyos „alapponti” paraméterkombinációkat. A CERN-i ATLAS együttműködés a 3. táblázatban látható SU1 \rightarrow 9 paraméterkombinációkat választotta.

Ezekkel az adatokkal számolt SUSY-részecske tömegeket a 3. felső két ábrán tüntettük fel (ATLAS Collaboration [7]). Az ilyen „alapponti” modellek nagyon fontos iránymutatást szolgáltatnak az LHC-n és más jövőbeni gyorsítókon végzendő kísérletek tervezéséhez.

Kane és mts. [8] szintén számították a szuperszimmetrikus részecskék tömegeit az MSSM alapján. Ők is ügyeltek arra, hogy a modell konzisztens legyen minden direkt gyorsító kísérleti adattal, valamint azok-

3. táblázat

Az ATLAS együttműködés SU1 \rightarrow 9 paraméterkombinációi					
	m_0 (GeV)	$m_{1/2}$ (GeV)	A_0 (GeV)	$\text{tg}\beta$	μ
SU1	70	350	0	10	>0
SU2	3550	300	0	10	>0
SU3	100	300	-300	6	>0
SU4	200	160	-400	10	>0
SU6	320	375	0	50	>0
SU8.1	210	360	0	40	>0
SU9	300	425	20	20	>0

kal az indirekt korlátokkal is, amelyek a hideg sötét anyag sűrűségéből, ritka bomlásokból, $g_\mu-2$ adatokból stb. következnek. Kane és csoportja némileg más szabad paramétereket használt és azokra választottak hétféle (A, B, \dots, G -vel jelölt) numerikus értékkombinációkat. Az eredményeik a 3. alsó két ábráján láthatók.

A 3. ábrák alapján leszűrhető néhány figyelemre méltó tanulság.

- Minden „alapponti” előrejelzés utal egy könnyű (nagyon valószínűen SM-szerű) b Higgs-bozon létre, melynek tömege 114–116 GeV körül van. Ez az MSSM talán legmegbízhatóbb előrejelzése.

- A $\tilde{\chi}_1^0$ neutralínó tömege nagyon kicsi, számos esetben ez a legkönnyebb szuperszimmetrikus részecske.

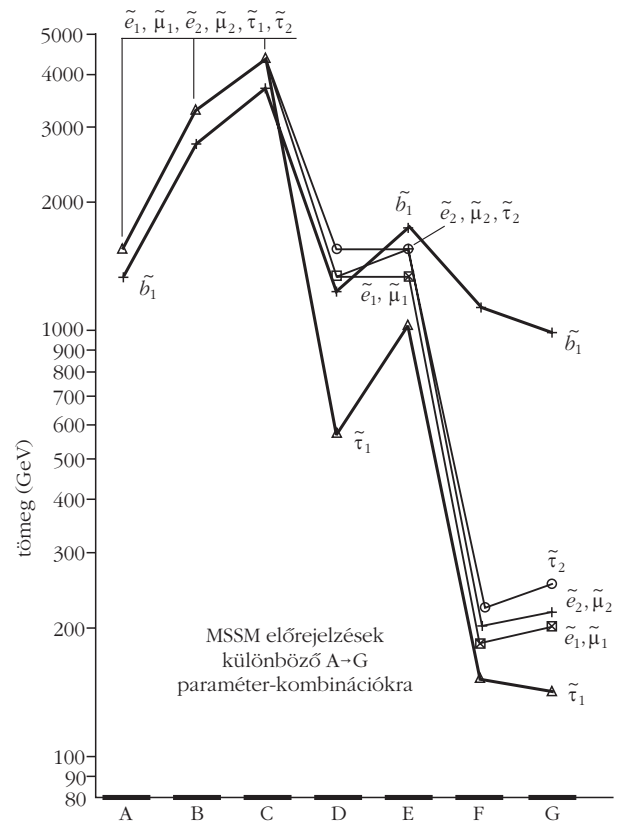
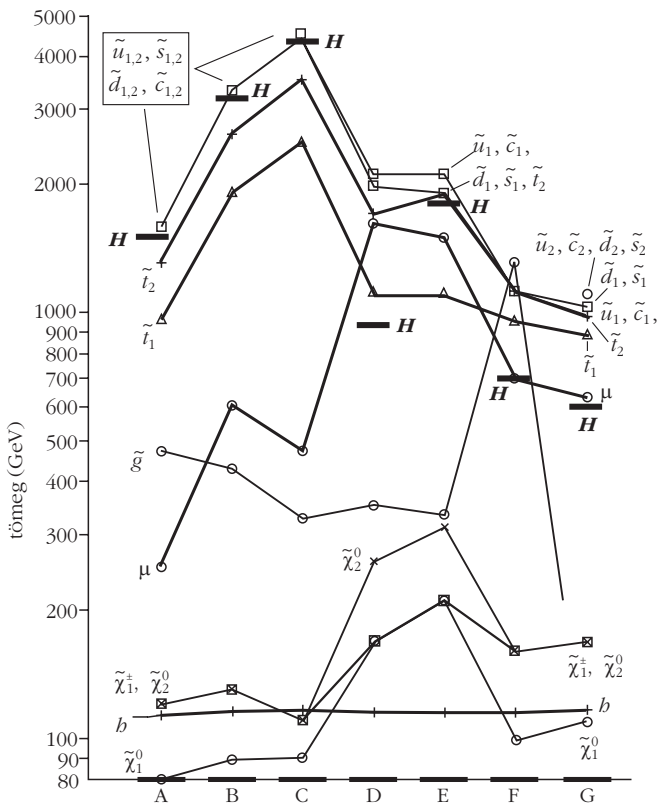
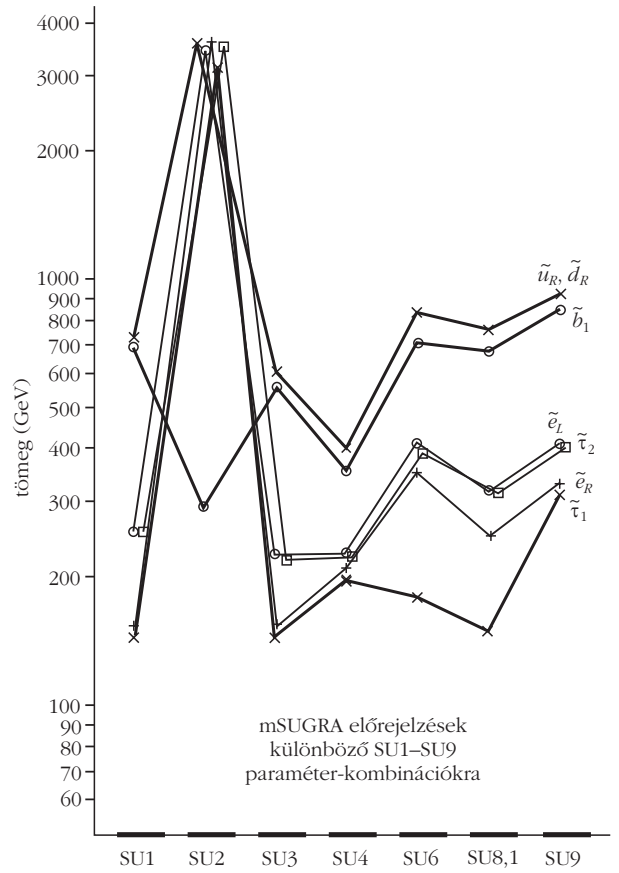
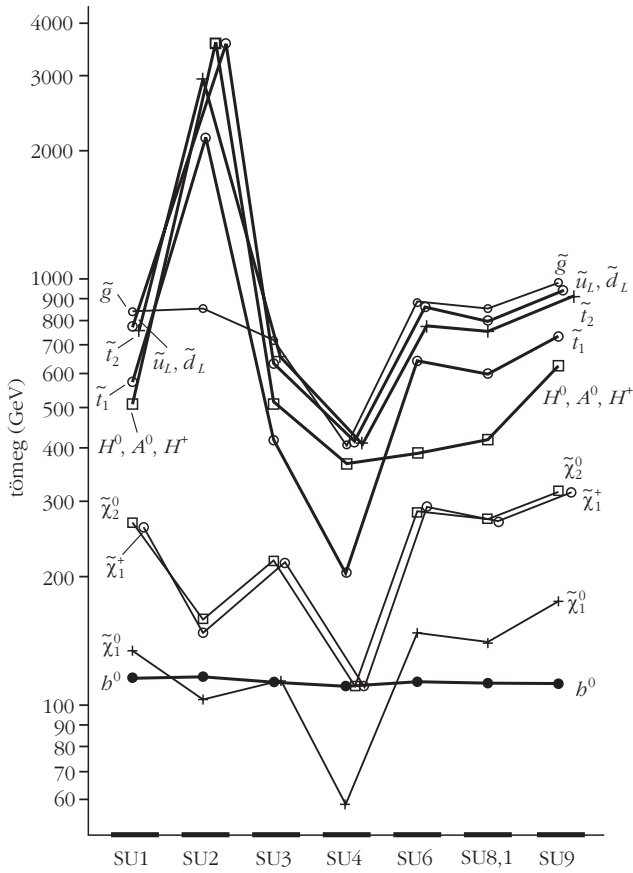
- Az m_H és m_A tömegek lényegesen nagyobbak a b Higgs-bozon tömegénél, értékeik ~ 400 -tól ~ 4000 GeV-ig terjedő tartományban vannak.

- A szkvarok közül a \tilde{t}_1 , a szleptonok közül a $\tilde{\tau}_1$ tömege kiugróan alacsony.

Vannak más minimális szuperszimmetrikus modellek is, például a GMSB (gauge mediated supersymmetry breaking) vagy az AMSB (anomaly mediated SUSY breaking) modellek. Ezekben is redukálni lehet a kontrollparaméterek számát néhányra, de ezek különböznek az mSUGRA-paraméterektől. E modellek főleg a szuperszimmetria-sértés mechanizmusában különböznek az MSSM – mSUGRA-tól. Az irodalmi hivatkozásokat lásd például a [6] összefoglaló munkában.

A *GMSB-modell* fő jellegzetessége, hogy mindig a gravitínót jósolja a legkönnyebb szuperszimmetrikus részecskének, amelynek tömege 1 eV-től néhány száz MeV-ig terjedő tartományban van. A GMSB általában a részecskék tömegeit kicsinek jósolja, különösen a $\tilde{\chi}_1^0$ -ét és az \tilde{e}_R -ét, illetve (bizonyos esetekben) a $\tilde{\tau}_1$ szleptonét és a \tilde{t}_1 szkvarját.

Az *AMSB-modell*ben a legkönnyebb szuperszimmetrikus részecske a $\tilde{\chi}_1^0$, $\tilde{\nu}$, esetleg $\tilde{\tau}_1$ lehet, bár a töltött részecskéket kozmológiai okokból ki lehet zárni. A szkvarok elég nehezek. Az első két családba tartozó balos és jobbos töltött szleptonok közel degeneráltak.



3. ábra. MSSM előrejelzések a SUSY-részecskék tömegeire. Felül: MSSM – mSUGRA előrejelzések az ATLAS Collab. [7] alapján. Alul: Kane és mts. [8] előrejelzései.

**A Minimális Szuperszimmetrikus Standard Modell
(MSSM) részecskéinek várható bomlásai
Pape, Treille [6] alapján**

szkvarkok	szleptonok
$\tilde{q} \rightarrow \tilde{g} + q$	$\tilde{l} \rightarrow \tilde{\chi}_i^\pm + \nu, \tilde{\chi}_i^0 + l^\pm$
$\tilde{q} \rightarrow \tilde{\chi}_i^\pm + q', \tilde{\chi}_i^0 + q$	$\tilde{\tau}_i \rightarrow \tilde{\nu}_\tau + W^\pm, H^\pm$
$\tilde{b}_i \rightarrow \tilde{t}_j + W^\pm, H^\pm$	$\tilde{\nu}_\tau \rightarrow \tilde{\tau}_i + W^\pm, H^\pm$
$\tilde{t}_i \rightarrow \tilde{b}_j + W^\pm, H^\pm$	$\tilde{\tau}_i \rightarrow \tilde{\tau}_j + Z^0, H^0$
$\tilde{t}_i \rightarrow \tilde{t}_j + Z^0, H^0$	gluínók
$\tilde{b}_i \rightarrow \tilde{b}_j + Z^0, H^0$	$\tilde{g} \rightarrow \tilde{q} + \bar{q}$
$\tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{\chi}_1^+ + c$	$\tilde{g} \rightarrow \tilde{\chi}_i^\pm + q + \bar{q}, \tilde{\chi}_i^0 + q + \bar{q}$
neutralínók	$\tilde{g} \rightarrow \tilde{\chi}_i^0 + g$
$\tilde{\chi}_i^0 \rightarrow \tilde{l} + l, \tilde{\nu} + \nu$	charginók
$\tilde{\chi}_i^0 \rightarrow \tilde{\chi}_j^0 Z^0$	$\tilde{\chi}_i^\pm \rightarrow \tilde{l} + \nu, \tilde{\nu} + l$
$\tilde{\chi}_i^0 \rightarrow \tilde{\chi}_j^\pm W^\mp$	$\tilde{\chi}_2^\pm \rightarrow \tilde{\chi}_1^\pm + Z^0$
$\tilde{\chi}_i^0 \rightarrow \tilde{\chi}_j^0 H^0$	$\tilde{\chi}_i^\pm \rightarrow \tilde{\chi}_i^0 + W^\pm$
$\tilde{\chi}_i^0 \rightarrow \tilde{\chi}_i^\pm H^\mp$	$\tilde{\chi}_2^\pm \rightarrow \tilde{\chi}_1^\pm + H^0$
$\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow \tilde{\chi}_1^0 \gamma$	$\tilde{\chi}_i^\pm \rightarrow \tilde{\chi}_j^0 + H^\pm$

Az MSSM részecskéinek bomlása

Az MSSM szerint a részecskéeknek és az ugyanazon szupermultipletthez tartozó szuperpartnereiknek ugyanolyan mértéksajátságai vannak, így feltehetőleg ugyanolyan erősséggel hatnak kölcsön. Ennek megfelelően bizonyos bomlások történhetnek erős (például $\tilde{q} \rightarrow q + \tilde{g}$), mások elektroyenge (például $\tilde{q} \rightarrow q \tilde{\chi}_i^0, \tilde{q} \rightarrow q' \tilde{\chi}_i^\pm$) kölcsönhatási erősséggel. Az MSSM részecskéinek bomlásarányai számíthatók különböző végtermékekre a megfelelő Feynman-diagramok és -szabályok alkalmazásával. A fontosabb bomlásmódokról a 4. táblázat ad áttekintést.

Az ISASUGRA7.69 programmal számított tömegeloszlásokat és a részecskék bomlásánál fellépő elágazási arányokat a 4.b-d ábrákon tüntettük fel. Az mSUGRA-modell m_0 és $m_{1/2}$ paraméterei szerint kijelölhetők bizonyos tartományok, ahol jellemző bomlásmódok léphetnek fel (4.a ábra).

A modellben a legkönnyebb szuperszimmetrikus részecske a $\tilde{\chi}_1^0$ neutralínó, ami a hiányzó energia alapján ismerhető fel.

Az 1-es tartományban a szleptonok könnyebbek, mint a $\tilde{\chi}_1^\pm$ (és $\tilde{\chi}_2^0$) részecskék. Ez esetben a bomláspektrum gazdag lesz szleptonokban. Egy példa e tartományra látható a 4.b ábrán.

A 2-es tartományban csak a $\tilde{\tau}_1$ (esetleg az \tilde{l}_R is) könnyebb, mint $\tilde{\chi}_1^\pm$ és $\tilde{\chi}_2^0$.

A 3, 4 és 5-tel jelzett tartományokban a leptonok nehezebbek, mint a $\tilde{\chi}_1^\pm, \tilde{\chi}_2^0$ részecskék, így a leptonokba nem történik bomlás. Erre a 4.c ábra mutat egy példát.

Az 1–3 tartományokban minden szkvark könnyebb, mint a gluínó. Ha a gluínó jelen van, főleg

$\tilde{q}\bar{q}$ -párba bomlik (mind bal-, mind jobbezes szkvarkokba). A \tilde{q}_R közvetlenül a $\tilde{\chi}_1^0$ neutralínóba megy át, ugyanakkor a \tilde{q}_L (hosszú láncokon át) főleg charginókon és nehezebb neutralínókon keresztül bomlik.

A 4-es tartományban egyes szkvarkok nehezebbek, mint a gluínó, így ezek a szleptonok a gluínóba bomlanak erős bomlással. Mindazonáltal az elektroyenge bomlás charginókba és neutralínókba még fontos lehet.

Az 5-ös tartományban minden szkvark nehezebb, mint a gluínó, lásd a 4.d ábrán. Ekkor a szkvarkok főleg gluínóba bomlanak és a partner kvarkokba. A gluínó aztán elektroyenge kölcsönhatással bomlik tovább.

A 4.b és c ábrák szerint szuperszimmetrikus részecskék b -ba is bomolhatnak. Ugyanakkor H, A, H^\pm Higgs-bozonok túlságosan nehezek ahhoz, hogy ezekbe történjen átmenet.

Megjegyzendő, hogy az előbbi következtetések csak szigorúan vett mSUGRA-modellre érvényesek.

A szuperszimmetrikus részecskék tömegei meglehetősen tág határok között lehetnek, ami a bomlása-játságokat alapvetően befolyásolhatja.

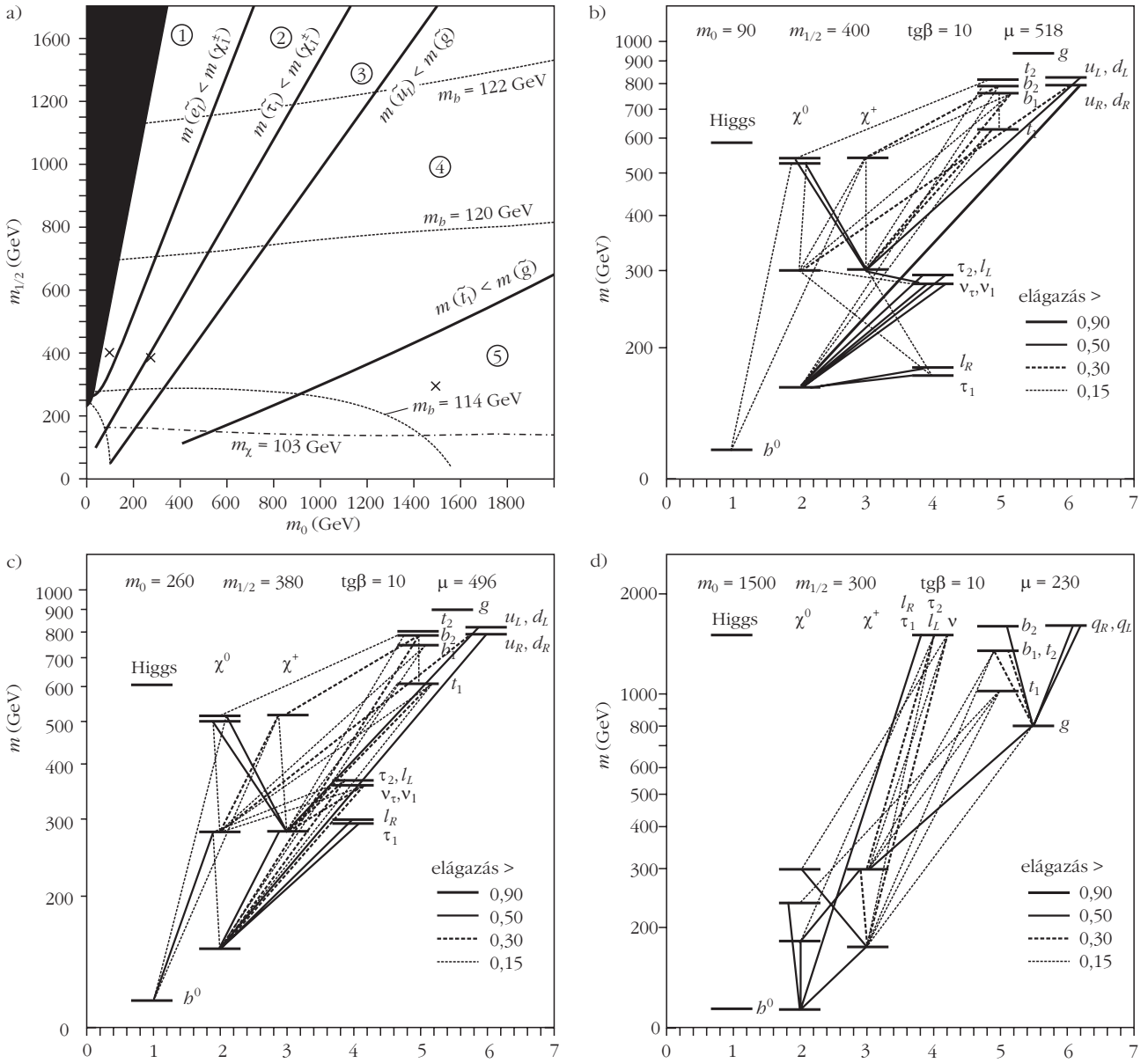
Az R_p paritás feltételezett megmaradásából következően egy szuperszimmetrikus részecske bomlástermékei között páratlan számú szuperszimmetrikus részecskének kell lennie. Következésképpen a legkisebb SUSY-részecske stabil kell legyen, mivel nem tud mibe bomolni. Kozmológiai érvek alapján a legkönnyebb SUSY-részecske semleges, így a legjobb jelölt erre a legkönnyebb neutralínó, a $\tilde{\chi}_1^0$. Várhatóan a legkönnyebb szuperszimmetrikus részecske csak a gyenge kölcsönhatásban vesz részt, így a detektorban nem hagy jelet, jelenlétét csak a hiányzó impulzus árulja el.

A semleges MSSM Higgs-bozonok (b, H, A) legfontosabb bomlásmódjai általában hasonlóak az SM Higgs-részecskéjéhez. Különösen áll ez az MSSM legkönnyebb semleges Higgs-részecskéjére, a b -ra.

Mindazonáltal vannak különbségek is. Az MSSM-ben öt Higgs-bozon van (b, H, A, H^\pm), továbbá sok új SUSY-részecske, amelyek a bomlássémát befolyásolhatják. Az MSSM Higgs-bozonjainak bomlásvalószínűségei (és előállítási hatáskeresztmetszetei) nagymértékben függenek attól, hogy milyen a csatolásuk a fermionokhoz és a mértékbozonokhoz.

Az MSSM részecskéinek előállítás és detektálása

A számítások arra utalnak, hogy pp -ütközésben az LHC energiájánál szkvarkok és gluínók erős kölcsönhatás révén nagy hatáskeresztmetszettel állnak elő. A hatáskeresztmetszeteiket az m_q , illetve m_g tömegek függvényében az 5. ábra mutatja. Mivel a szkvarkok és gluínók várható tömegei általában nagyobbak a szleptonok, neutralínók, charginók tömegeinél (lásd 3. ábrákat), a szkvarkok és gluínók lesznek (kaskád bomlásaik révén) a SUSY-részecskék fő forrásai az LHC-nál.



4. ábra. a) A szuperszimmetrikus részecskék bomlása szempontjából elkülöníthető (1 → 5) tartományok az mSUGRA m_0 és $m_{1/2}$ paramétereinek síkján. X-ek jelölik azokat a pontokat, amelyeknél a bomlások elágazási arányait számolták [a b), c), d) ábrákon]. Szaggatott görbék a b^0 Higgs-bozon, pont-vonás görbék a χ_1^\pm charginók azonos tömegeihez tartoznak. A számításokat $\tan\beta = 10$, $A^0 = 0$ és $\mu > 0$ esetre végezték. b), c), d) ábrák. Az mSUGRA-modell SUSY-részecskéinek számolt tömegei és fontosabb elágazási tényezői. (Az ábrákon a SUSY-részecskék jelölésénél a felső \sim jeleket elhagytuk.) Pape, Treille [6] alapján, ISASUGRA 7.69 programmal számolt eredmények.

A protonok összetett részecskék, így a pp -ütközési hatáskeresztmetszetek számításánál több lehetséges reakciót is figyelembe kell venni. Ezek lehetnek a következők:

$$\begin{aligned}
 q\bar{q} &\rightarrow \tilde{q}\tilde{q}, \\
 gg, q\bar{q} &\rightarrow \tilde{g}\tilde{g}, \tilde{q}\tilde{q}, \\
 gq &\rightarrow \tilde{g}\tilde{q}, \\
 q\bar{q} &\rightarrow \tilde{q}\tilde{q}.
 \end{aligned}$$

Ha az R_p paritás megmarad, szuperszimmetrikus részecske önmagában nem keletkezhet, csak párosával.

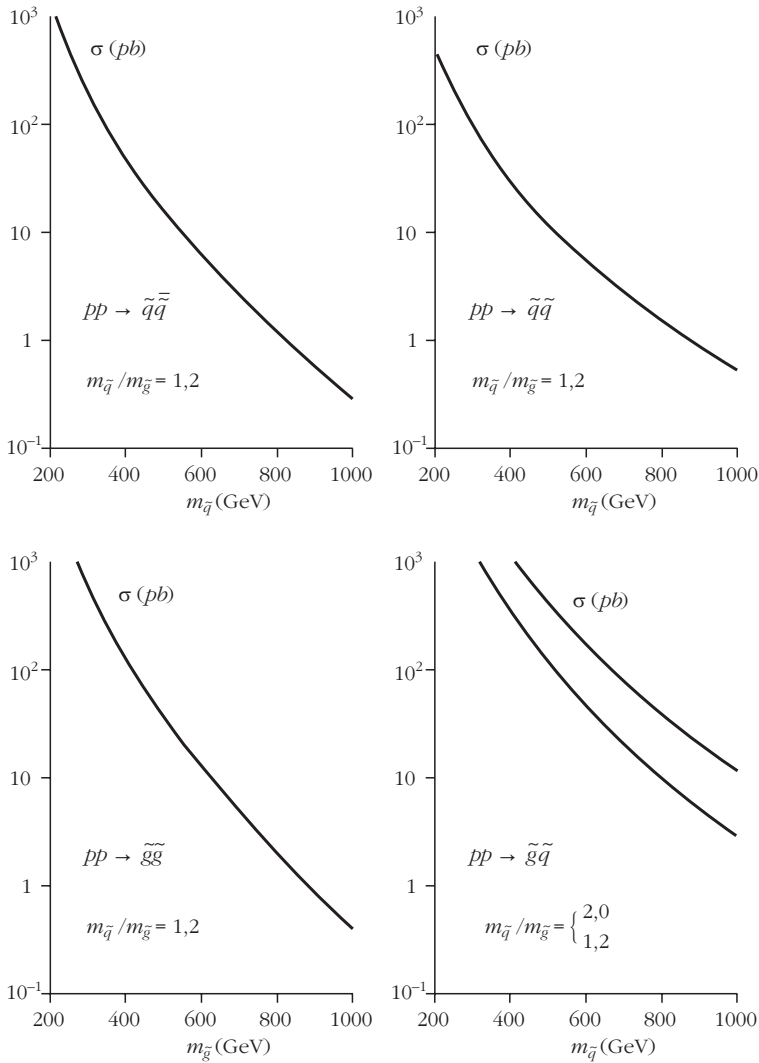
A 3. ábrák szerint a sztop, \tilde{t}_1 , illetve szbottom \tilde{b}_1 SUSY-részecskék várható tömege különösen kicsi,

következésképpen ezek igen nagy hozammal állhatnak elő az LHC-nál.

Hadronütköztetőknél szleptonpárok is előállhatnak Drell–Yan-kölcsönhatás (lásd például Fényes [10]-ben) révén:

$$\begin{aligned}
 pp &\rightarrow \tilde{l}_{BAL} \tilde{l}_{BAL}, \tilde{l}_{JOBB} \tilde{l}_{JOBB}, \tilde{\nu} \tilde{\nu} \quad Z' \text{ közvetítéssel, vagy} \\
 &\rightarrow \tilde{l}_{BAL} \tilde{\nu} \quad W' \text{ közvetítéssel.}
 \end{aligned}$$

Ezek elektrogyenge folyamatok, amelyek hatáskeresztmetszete sokkal kisebb, mint a szkvarokkhoz vezető erős kölcsönhatásnál. Baer és mts. [11] számításai szerint pp -ütközésben 14 TeV tömegközépponti energiánál az $\tilde{e}_R \tilde{e}_R$, $\tilde{e}_L \tilde{e}_L$, $\tilde{\nu}_L \tilde{\nu}_L$ és $\tilde{e} \tilde{\nu}_L$ párok maximum 1 pb hatáskeresztmetszettel állhatnak elő (ha $m_{\tilde{l}} \geq 100$ GeV)



5. ábra. Szkvarkok és gluínók számított előállítási hatáskeresztmetszetei a tömegek függvényében az LHC 14 TeV tömegközépponti energiájánál, másodrendű közelítésben. *Beenakker* és mts. [9] alapján.

és a sleptonok tömegének növekedtével a hatáskeresztmetszetek rohamosan csökkennek.

Hadronok ütköztetésénél $q\bar{q} \rightarrow \tilde{\chi}_2^0 \tilde{\chi}_1^\pm$ reakció is létrejöhet direkt folyamatban. Mindazonáltal a neutralínók és charginók fő forrása az LHC-nál inkább a szkvarkok és gluínók bomlása lehet.



A SUSY-részecskék kísérleti kimutatása szempontjából alapvető jelentőségű, hogy a szkvarkok és gluínók erős kölcsönhatás révén nagy hatáskeresztmetszettel keletkeznek pp -ütközésekben, a TeV-es tartományban. A várható bomlásláncok erősen függnak attól, hogy a gluínók tömege hogy viszonylik a szkvarkokéhoz.

6. ábra. Az LHC CMS detektorának lehetőségei szkvarkok, gluínók és Higgs-bozonok kísérleti kimutatására, mSUGRA-számítások alapján. A kimutatást főleg $E_T^{\text{hiányzó}}$ + jetek analizisére alapozzák. A vastag görbék az 5σ felfedezési határt jelzik, ami erősen függ az elérhető időintegrált luminozitástól. A vékony görbék azonos szkvark, gluínó és Higgs-bozon tömegekhez tartoznak. Tömegek GeV-ben. A sötéttel jelzett tartományok kizárhatók. *Abdullin* és mts. [12] alapján.

Ha $m_g > m_{\tilde{q}}$, a várható bomláslánc: $\tilde{g} \rightarrow \tilde{q}\bar{q}$, $\tilde{q} \rightarrow q\chi$; ha $m_g < m_{\tilde{q}}$, például $\tilde{q} \rightarrow \tilde{g}q$, $\tilde{g} \rightarrow q\bar{q}\chi$ bomlás léphet fel.

A közbenső tartományban sokféle bomlás lehetséges, például $\tilde{q}_L \rightarrow \tilde{g}q$, $\tilde{g} \rightarrow \tilde{b}b$, $\tilde{b} \rightarrow b\chi$.

A neutralínók várhatóan nem hagynak nyomot a detektorban, ezért a folyamat hiányzó energiáját kell mérni, főleg a nyalábra merőleges irányban ($E_T^{\text{hiányzó}}$).

A 6. ábra az LHC CMS detektorának lehetőségeit mutatja szkvarkok, gluínók és Higgs-részecskék felfedezése szempontjából, mSUGRA-számításokra alapozva. Az ábrán az m_0 , $m_{1/2}$ paraméterek síkján a kimutatási határokat a SUSY-részecskék tömegének, valamint az elérhető időintegrált luminozitás függvényében adják meg. Ütközőnyalábos gyorsítóknál a reakcióhozam a reakció hatáskeresztmetszetével (σ) és a luminozitással (L) a következő kapcsolatban áll:

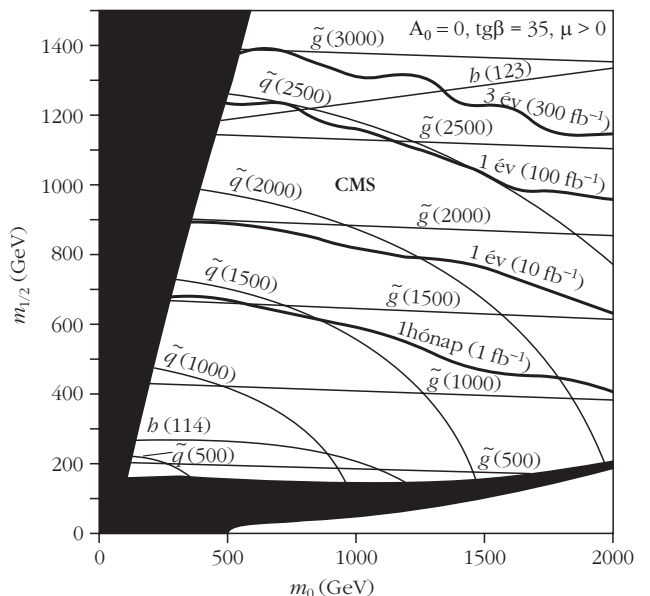
$$R = \sigma L.$$

A luminozitást $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ egységekben szokták megadni, de a cm^2 helyett használható a barn (vagy annak tört része) is (1 barn = 10^{-24} cm^2 , 1 pbarn = 10^{-12} barn, 1 fbarn = 10^{-15} barn). A luminozitás nem túl nagy intenzitások esetén:

$$L \approx \frac{f n^+ n^-}{A},$$

ahol n^+ , illetve n^- az ütköző részecskecsoportokban lévő részecskék száma, f a csomók ütközési frekvenciája, A pedig a nyalábkeresztmetszet az ütközési pontban.

A CERN-i CMS együttműködés újabban közzétett eredményei megemelték a kísérleti



határt. Kizárható a \tilde{q} (500 GeV) léte, valamint a \tilde{g} (500 GeV) léte is $m_0 < 350$ GeV alatt [CERN Courier, 2011. január, 7. o.]. A 6. ábrához hasonló ábra található az ATLAS együttműködés [7] közleményében. Az ATLAS együttműködés szerint az mSUGRA előrejelzésekből a \tilde{q} (750 GeV) és \tilde{g} (750 GeV) SUSY-részecskék léte 95%-os konfidenciaszinten kizárható [CERN Courier, 2011. április, 8. o.]. Az elért időintegrált luminozitások mind a CMS-, mind az ATLAS-kísérletekben 35 pbarn^{-1} volt, míg a tömegközépponti energia a pp -ütközésekben $s^{1/2} = 7 \text{ TeV}$. Az elért csúcsluminozitás: $8,4 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ [CERN Courier, 2011. június 5. o.]. A szeptemberi szám szerint [13. o.] a \tilde{q} (750 GeV) és \tilde{g} (750 GeV) léte az m_0 paraméterter többségében kizárható. Úgy látszik, hogy a kísérleti adatok az MSSM legegyszerűbb változatát nem részesítik előnyben, de a felderítendő lehetőségek tartománya még óriási.

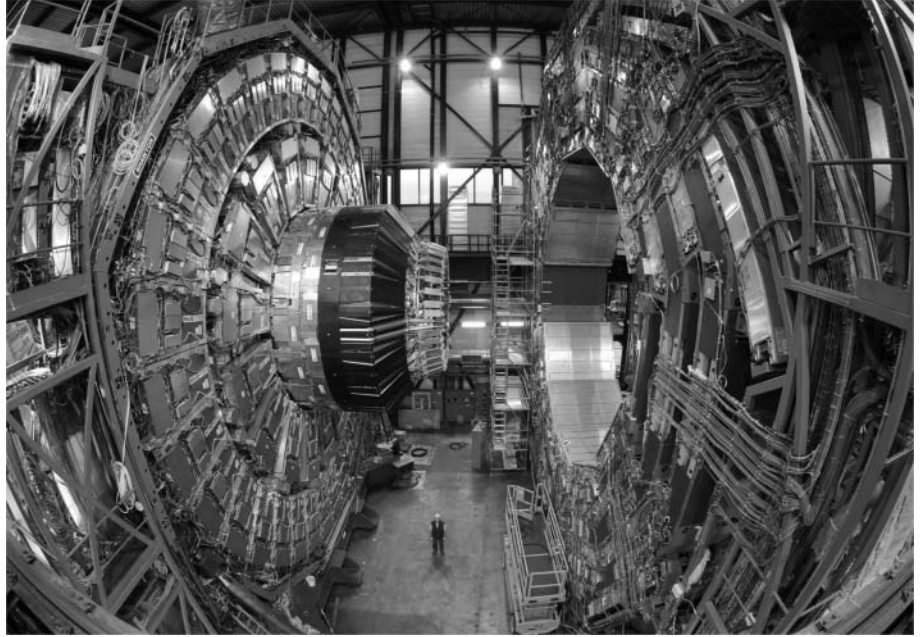
Összefoglalás, kitekintés

Összefoglalóan megállapítható, hogy a CERN-i Nagy Hadronütköztető (LHC) *kítűnő lehetőséget biztosít a szkvarok és gluínók megtalálására*. Ha 1 fb^{-1} időintegrált luminozitás és 14 TeV tömegközépponti energia elérhető, a hiányzó energia plusz egy vagy több lepton detektálása elegendő érzékenységet biztosít a szkvarok és gluínó SUSY-részecskék megtalálására széles tömegtartományban. A hiányzó (transzverz) energia plusz jetek vizsgálata lehetőséget adhat a tömeg durva meghatározására.

A SUSY-részecskék megbízható azonosítását elősegítheti a $\tilde{g} \rightarrow \tilde{\chi}_i^0 q \bar{q}$, $\tilde{g} \rightarrow \tilde{\chi}_{1,2}^\pm q \bar{q}$, $\tilde{q} \rightarrow \tilde{\chi}_1^+ q'$, $\tilde{q} \rightarrow \tilde{\chi}_{1,2}^0 q$, $\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow \tilde{l}^\pm l^*$ és más elektrogyenge bomlásláncok vizsgálata. Ezzel *megnyílna az út a szleptonok, charginók, neutralínók felfedezésére is*, különösen ha tömegük $< 0,5 \text{ TeV}$.

Az MSSM öt Higgs-bozonjának (b^0 , H^0 , A^0 , H^\pm) előállítási esélyei is jók a $t\bar{g}$ és az m_A paraméterek széles tartományában, ha 300 fbarn^{-1} időintegrált luminozitást sikerül elérni [7]. Ezen belül is különösen jó a lehetőség a b megtalálására, ami valószínűleg sok tekintetben hasonló sajátságokat mutat, mint a Standard Modell Higgs-bozonja. Lehetőség nyílna a $\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow b \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow b b \tilde{\chi}_1^0$ folyamat tanulmányozására is, amelynek hozama jelentős lehet.

Ugyanakkor nyilvánvaló, hogy elengedhetetlen a detektorok pontos kalibrálása, a háttéreffektusok gondos számításba vétele.



7. ábra. A CERN-i CMS detektor építése közben.

A felfedezésen túl szükség van a részecskék tömegének és más kvantumjellemzőinek meghatározására, valamint a szuperszimmetria-sértés mibenlétének (mSUGRA, GMSB, AMSB stb.) tisztázására. Az is eldöntésre vár, hogy az észlelt kísérleti tények mely modellek előrejelzéseit támasztják alá, illetve zárják ki (MSSM, nem minimális SUSY, R_p paritás esetleges sérülése, szuperhúr, technicolor stb.).

Egy *később megépítendő 500 GeV-es elektron-pozitron ütköztető* kevesebb SUSY-részecske előállítására adna lehetőséget, de sok szlepton és gauginót detektálhatna. Különösen fontos, hogy lehetőséget adna precíziós tömegmérések elvégzésére és a részecskék sajátságainak, bomlási jellemzőinek pontosabb meghatározására. A nagyobb precizitás alapvetően fontos lehet a különböző modellek alátámasztása (vagy kizárása) szempontjából, valamint szükség van rá a SUSY-sértés mechanizmusának tisztázásához is.

Irodalom

1. P. Langacker: *The standard model and beyond*. CRC Press, Taylor and Francis, London 2010.
2. Particle Data Group, *Review of particle physics*, *J. Phys. G* 37 (2010) 075 021.
3. S. Weinberg, *Sci. Am.* (1999. december) 36.
4. P. Binétruy: *Supersymmetry: theory, experiment, and cosmology*. Oxford Univ. Press, Oxford 2006.
5. D. J. H. Chung, L. L. Everett, G. L. Kane, S. F. King, J. Lykken, Lian-Tao Wang, *Phys. Rep.* 407 (2005) 1.
6. L. Pape, D. Treille, *Rep. Prog. Phys.* 69 (2006) 2843.
7. ATLAS Collaboration: *Experimental performance of the ATLAS experiment III*. CERN-OPEN-2008-020.
8. G. L. Kane, J. Lykken, S. Mrenna, B. D. Nelson, L. T. Wang, T. T. Wang, *Phys. Rev. D* 67 (2003) 045 008. L. [5]-ben is.
9. W. Beenakker, R. Hopker, M. Spira, P. M. Zerwas, *Nucl. Phys. B* 492 (1997) 51.
10. Fényes T.: *Részecskék és kölcsönhatásaik*. Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen 2007.
11. H. Baer, B. W. Harris, M. Hall Reno, *Phys. Rev. D* 57 (1998) 5871.
12. S. Abdullin és mts.: Summary of the CMS potential for the Higgs boson discovery. *Eur. J. Phys. C* 29 (2005) 41; *J. Phys. G* 28 (2002) 469.

NAGYFELBONTÁSÚ PÁSZTÁZÓ ELEKTRONMIKROSKÓP AZ EÖTVÖS EGYETEMEN

Havancsák Károly, Lendvai János
ELTE Természettudományi Kar

2010 őszén az Eötvös Loránd Tudományegyetem *Európai Léptékkal a Tudásért, ELTE* című pályázatával körülbelül 3 milliárd forint támogatást nyert el, amiből 750 millió forintot új műszerek, így egy nanokutató-sokra is alkalmas, kétsugaras pásztázó elektronmikroszkóp beszerzésére fordított. Az új elektronmikroszkópos laboratórium a Természettudományi Kar Fizikai Intézetében nyert elhelyezést. Ez az elektronmikroszkóp a világszínvonalat képviseli. Felszereltsége, mérési lehetőségei Európában is a legjobbak közé sorolják. A pásztázó elektronmikroszkóp FEI Quanta 3D típusú, nagyfelbontású, kétsugaras készülék. A két sugár azt jelenti, hogy az elektronforráson kívül ionforrással is rendelkezik. Az elektronnyaláb és az ionnyaláb egyaránt alkalmas arra, hogy mikroszkópi képet készíthessünk, ugyanakkor az ionnyaláb az anyagminta felületének megmunkálását is lehetővé teszi. Az *1. ábrán* az egyetemen felszerelt mikroszkópot láthatjuk.

Az alábbiakban bemutatjuk, hogy mire képes ez a mikroszkóp, és kiragadott példákon keresztül azt, hogy az ELTE TTK kutatói milyen vizsgálatokhoz használják az új eszközt. Az új mikroszkóp bemutatása előtt ismerkedjünk meg általában a pásztázó elektronmikroszkópok működésének alapjaival.

A minta-elektron kölcsönhatás „termékei”

A hagyományos optikai mikroszkóp felbontóképessége a diffrakciós korlát miatt optimális esetben sem jobb 200–300 nm-nél. A 20. század elején a tudomány

1. ábra. Az ELTE TTK Quanta 3D kétsugaras pásztázó elektronmikroszkópja.

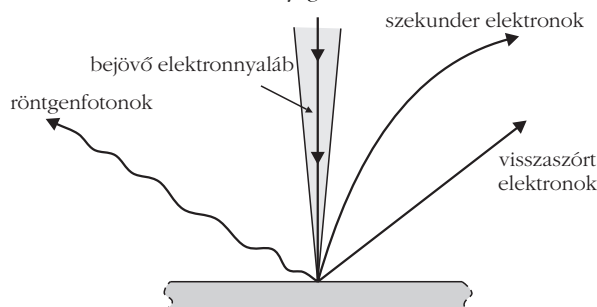


fejlődése azonban ennél jobb felbontást igényelt, és ekkorra már a technikai feltételek is adottak voltak az elektronmikroszkópok kifejlesztéséhez. A fejlesztések két irányban indultak el. Ennek eredményeként *Ernst Ruska* munkássága nyomán 1931-ban működni kezdett az első átvilágító, azaz transzmissziós elektronmikroszkóp (TEM), amelynél az elektronsugár a vékony (jellemzően 100–500 nm vastagságú) mintát átvilágítva, elektromágneses lencserendszeren áthaladva az optikai mikroszkópéhoz hasonló, párhuzamos képalkotást használva hoz létre nagyított képet. A párhuzamos képalkotás azt jelenti, hogy a mikroszkópi kép valamennyi képpontja egyszerre jön létre. A másik irány a pásztázás elvét alkalmazza, amely a soros képalkotást használja. Ennek során a kép pontjai nem egyszerre, hanem pontról-pontra, időben egymás után jönnek létre.

Az első pásztázó elektronmikroszkópot (scanning electron microscope = SEM) *Max Knoll* hozta létre 1935-ben. Az első kereskedelmi pásztázó elektronmikroszkóp azonban csak az 1960-as években jelent meg. Azóta a SEM jelentős fejlődésen ment keresztül és rendkívül elterjedt eszközzé vált, több tízezer példány működik szerte a világon. A népszerűség oka egyrészt az, hogy a vizsgálandó minta előkészítése viszonylag egyszerű, szemben az átvilágító mikroszkóppal, vékonyítást nem igényel. Másrészt, bár jobbára csak a minta felületének közeléből kapható információ, a legjobb mikroszkópokkal szerkezeti, topografikus és összetételbeli adatokat is nyerhetünk. A pásztázó elektronmikroszkópban a fókuszált elektronnyaláb a minta felületét pásztázza, miközben különböző „termékeket” vált ki a felületből. Mivel a pásztázó elektronmikroszkópban többnyire vastag mintát használunk, ezért általában a bombázó nyaláb nem jut át a mintán. Ilyenkor a kölcsönhatás „termékei” csak a minta nyaláb felőli oldalán jelennek meg, ahogyan azt a *2. ábra* mutatja. A mikroszkópban a képek létrehozására az alábbi „termékeket” használjuk:

– *Szekunder elektronok.* Elsősorban gyengén kötött, külső héjon lévő elektronoktól erednek, amelyeket a nyaláb kiüt a helyükről. Ezeknek az elektronoknak

2. ábra. Az elektron-anyag kölcsönhatás termékei.



kicsi az energiájuk, zömmel 5–10 eV energiával rendelkeznek. Összegyűjtve topografikus (felületi) információt adnak a pásztázó elektronmikroszkópiában.

– *Visszaszórt* (backscattered) *elektronok*. Az eredeti nyalábból rugalmas, nagyszögű szórást szenvedett elektronok. Ezek energiája általában 10 keV nagyságrendű. A visszaszórt elektronokkal létrehozott kép rendszámkontrasztot mutat, ami azt jelenti, hogy a különböző elemeket tartalmazó képrészek jól elkülönülnek a képen.

– *Röntgenfotonok*. A mintát bombázó elektronnyaláb rendelkezik akkora energiával, hogy a minta atomjainak belső héjáról elektront üthessen ki. Az ilyen elektronhiány magasabb energiájú elektronpályáról betöltődik, miközben a két héj energiakülönbségének megfelelő energiájú röntgenfoton keletkezik. Minthogy ez az energia jellemző az öt kibocsátó atomra, ezért – a mintából távozó röntgenfotonok energiáját megmérve – információt nyerhetünk a minta kémiai összetételére.

Van olyan pásztázó elektronmikroszkóp is, amely vékony minták esetén a minta túlfelületén megjelenő jelekből is tud képet készíteni (scanning transmission electron microscope = STEM). Az ELTE TTK új mikroszkópja is ilyen. Ilyenkor a minta túlfelületén megjelenő „termékek” is felhasználhatók képalkotásra. Az ilyen kép hasonló információt hordoz, mint a transzmissziós elektronmikroszkóp képe, hiszen ugyanazokat a nyalábokat használja (előre és kis szög alatt rugalmasan szórt elektronok). A képalkotás módja természetesen ilyenkor is a pásztázó mikroszkópra jellemző soros leképezés, és a felbontóképesség körülbelül egy nagyságrenddel elmarad a manapság használatos TEM-ekétől.

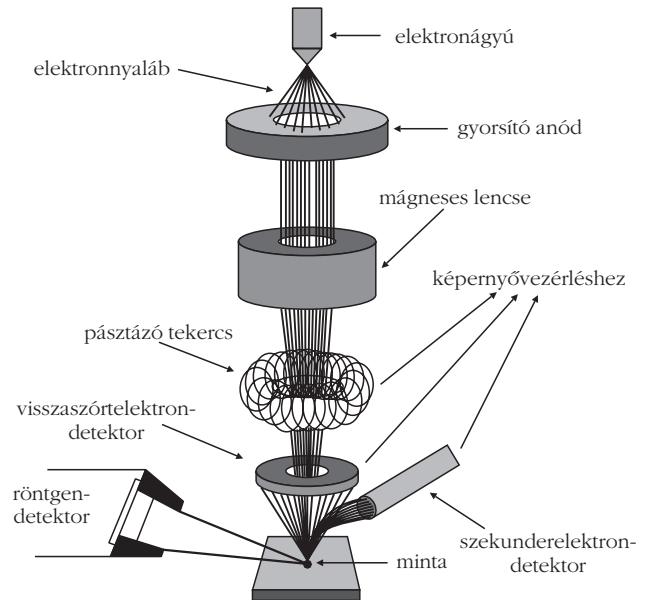
A pásztázó elektronmikroszkóp felépítése

A pásztázó elektronmikroszkóp fontosabb egységei: elektronforrás, objektív lencse, pásztázó tekercsek, detektor(ok), mintatartó. A pásztázó elektronmikroszkóp elvi felépítését a 3. ábra mutatja.

Az elektronmikroszkópokban az elektronok forrása az elektronágyú. Az elektronágyúban az elektronok a katódból izzítás hatására (izzókatódos forrás) vagy pedig kihúzó elektromos tér hatására (téremissziós forrás) lépnek ki. A Quanta 3D mikroszkóp forrása egy harmadik típusba tartozik. Itt termikus is segített téremissziót alkalmaznak (Schottky-forrás). A forrás anyaga volfrám, amelynek felülete kis elektronkilépési energiával rendelkező cirkónium-dioxiddal (ZrO_2) van bevonva.

A katódból kilépő elektronokat elektromos tér gyorsítja a szükséges energiára. A pásztázó elektronmikroszkópokban az elektronok maximális energiája általában $E_{max} = 30$ keV, és ez az energia a kisebb energiák felé állítható.

A forrásból kilépő nyalábot elektromágneses elven működő lencse fókuszálja. Az elektronmikroszkópokban alkalmazott elektronlencsék a Lorentz-erőhatás alapján működő mágneses lencsék.



3. ábra. A pásztázó elektronmikroszkóp felépítése.

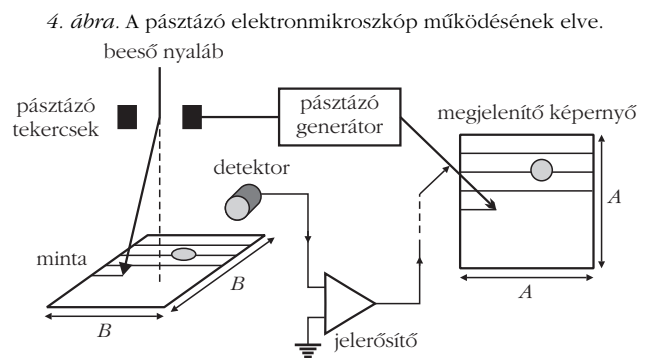
A lencse fókusz távolsága és a nyaláb mérete a mintán az elektromágneses áramával szabályozható. A nyaláb minimális átmérője a mintán ~ 1 nm.

A pásztázó tekercsek segítségével a nyaláb sorról-sorra végigpásztázza a minta felületét. Az elektronnyaláb által a mintából kiváltott szekunder elektronokat (SE), visszaszórt elektronokat (backscattered electron = BSE) és röntgenfotonokat a minta felett elhelyezett detektorok érzékelik. A legegyszerűbb pásztázó elektronmikroszkópokban csak szekunderelektron-detektor van, a Quanta 3D mikroszkóp azonban mindhárom „termékre” rendelkezik detektorokkal.

A képalkotás elve

A kép létrehozásában a lencséknek nincs közvetlen szerepe, ezért a pásztázó mikroszkópok esetén nem is érvényes a felbontásra vonatkozó Abbe-feltétel. A soros képalkotás esetén a felbontást meghatározó tényezők: a nyaláb mérete a minta felületén, a nyaláb által a felület alatt gerjesztett térfogat, illetve a mintából kilépő termék energiája.

Hogyan jön létre a kép? A képalkotás elvét a 4. ábra mutatja. A minta felületét pásztázó elektronnyaláb



4. ábra. A pásztázó elektronmikroszkóp működésének elve.

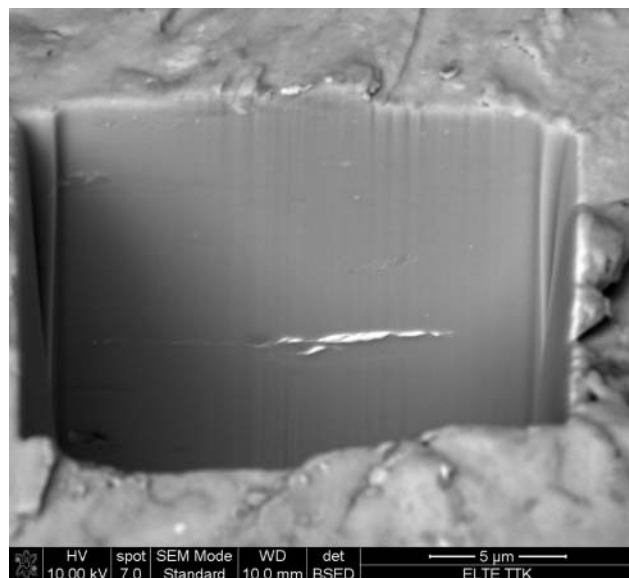
lábót egy pásztázó generátor vezérli. Ugyanez a generátor vezérli pontról-pontra a képernyő pontjainak aktiválását. A nyaláb által kiváltott elektronok vagy röntgenfotonok intenzitását az adott termékre érzékeny detektor érzékeli. A detektorok jele modulálja a megjelenítő képernyő képpontjainak intenzitását. Ha a minta felületének emissziója változik, akkor ez a változás látszik a képernyőn, és így alakul ki a képernyőn pontról-pontra a minta felületének emisszióját jellemző kép. A kép mérete állandó, hiszen ez a képernyő mérete. A nagyítás attól függ, hogy a minta felületén mozgó elektronnyaláb mekkora felületet pásztáz. Ha kis felületrészt pásztázunk, akkor nagy a nagyítás (ez akár milliószoros is lehet), ha nagyobbat, akkor csökken a nagyítás.

A mikroszkópban az elektronnyaláb vákuumban halad, de a mikroszkóp egyes részeiben a vákuum értéke különböző. A legnagyobb vákuumot a forrás igényli, itt 10^{-7} Pa a nyomás. A legkisebb vákuumérték a mintatérben van, ahol 10^{-2} – 10^{-3} Pa uralkodik. A két érték között a mikroszkóp oszlopa mentén elhelyezett vákuumszivattyúk hatására a nyomás folytonosan változik.

A pásztázó elektronmikroszkóp működéséből következik, hogy az elektronnyaláb töltést juttat a felületre. Az nem engedhető meg, hogy a töltés felhalmozódjon a minta felületén, mert a felhalmozódó töltések elektromos tere kölcsönhat a pásztázó nyaláb elektronjaival, ami meghamisítja a képet, lehetetlenné téve a felületi objektumok vizsgálatát. Vezető minta esetén nem nehéz megakadályozni a feltöltődést. Elegendő ehhez az, hogy a mintát vezető ragasztóval rögzítsük a leföldelt mintatartóhoz.

Ha a minta szigetelő (például kőzetek, biológiai minták), akkor a töltés elvezetésének hagyományos megoldása az, hogy vékony vezető réteggel vonják be a felületet. Ez a réteg általában arany vagy szén, amelyet párologtatással lehet a felületre juttatni.

5. ábra. A FIB-bel kialakított keresztmetszeti felületen vizsgálható minta belsejének szerkezete.



A Quanta 3D mikroszkóp sajátosságai

A mikroszkóp üzemmódjai

A Quanta 3D mikroszkóp többféle üzemmóddal is rendelkezik. Vezető minták esetén a nagyvákuum üzemmód használatos. Mint ahogy korábban megjegyeztük, ilyenkor a minta felületéről könnyen eltávolízik a rájutó elektromos töltés, így nem zavarja a képalkotást. Szigetelő minták vezető réteg rápárolgatásával vezetővé tehető, és így nagyvákuumos üzemmódban vizsgálhatók. Ebben az üzemmódban a szekunderelektron-detektorral ideális esetben 1 nm maximális felbontás érhető el. A szekunderelektron-képek topografikus információt hordoznak és jellemzőjük, különösen kisebb nagyítás esetén, a nagy mélységélesség.

A párologtatás nem mindig előnyös. Különösen nem előnyös a nanoméretű objektumok esetén, hiszen elfedi, sőt megváltoztatja a felület tulajdonságait. Ezért a Quanta 3D mikroszkóp más megoldást is kínál. Az *alacsonyvákuumos üzemmódban* a mintatérben 30–130 Pa nyomású vízgőz van. A vízgőzben haladó elektronnyaláb ionizálja a molekulákat. Az így keletkező pozitív ionok a mintára jutva képesek semlegesíteni a felületre jutó negatív töltéseket (elektronokat).

A vezető és szigetelő mintákon kívül létezik a minták harmadik csoportja, mégpedig általában a biológiai eredetű minták, amelyek víztartalmuk gyors elvesztése miatt nehezen viselik a vákuumot. Az ilyen minták mérésére a Quanta 3D mikroszkóp harmadik üzemmódot kínál. Ebben az üzemmódban a minta 1000 Pa (~10 torr) nagyságrendű nyomáson közel 100% páratartalmú közegben van, így nem következik be vízvesztés. Ezt az üzemmódot *környezeti üzemmódnak* nevezzük.

Minden üzemmódban lehet szekunder- és visszászórtelektron-képet készíteni, valamit röntgenanalízist végezni.

Fókuszált ionsugaras berendezés

A kétsugaras Quanta 3D mikroszkóp második nyalábjára fókuszált ionsugár (focused ion beam = FIB). Az ionágyú Ga-ionokat gyorsít $E_{\max} = 30$ keV maximális energiára. Az ionnyaláb forrása, fókuszálása és pásztázása sok tekintetben hasonlít az elektronnyaláb esetében elmondottakhoz. Az ionsugár jelenléte megsokszorozza a mikroszkóp lehetőségeit. Az ionnyaláb ugyanis akkora energiával rendelkezik, hogy porlasztás útján képes a minta felületének alakítására. Például az ionnyalábbal a minta felületébe belevágva és egy sima felületet kialakítva, a keresztmetszet mentén is lehetségessé válik a minta tulajdonságainak vizsgálata. Az 5. ábrán ilyen keresztmetszeti bemetszést láthatunk. Az ionnyalábbal a minta elvékonyítása is lehetséges, amivel a transzmissziós elektronmikroszkóp számára készíthetünk vékony mintákat. Ha a vizsgálatok szükségessé teszik, akkor a mintából kifaraghatók tetszőleges alakú

objektumok, amiket azután további vizsgálatoknak lehet alávetni, esetleg más eszközökben. A *Fizikai Szemle* egy későbbi számában megjelenő cikk foglalkozik például olyan kis objektumok (néhány 100 nm átmérőjű oszlopok, mikropillárok) mechanikai tulajdonságainak vizsgálatával, amelyeket a FIB berendezéssel készítettünk el.

A FIB berendezés nanolitográfia készítésére is alkalmas. Ez azt jelenti, hogy akár néhányszor 10 nm szélességű Pt, C vagy szigetelő réteg leválasztása is lehetséges a minta felületére. A leválasztandó anyag atomjait prekursor gáz tartalmazza, amelyet fúvókák juttatnak a minta felületére. Ahol az ionnyaláb éri a felületet, ott a prekursor gáz szétbomlik, és a leválasztandó atomot a felületen hagyja. Az ilyen leválasztás segíti a keresztmetszeti és a TEM minták készítését, de alkalmas területek megjelölésére vagy nanoméretű elektromos hozzávezetések készítésére is.

Röntgenanalízis

A minta felületéről távozó röntgenfotonok a mintában található elemekre jellemző energiával rendelkeznek, számuk pedig első közelítésben arányos az elemek koncentrációjával. Az energia és a beütésszám mérésével tehát kvalitatív és kvantitatív elemanalízis végezhető.

A hagyományos röntgendetektor lítiummal adalékolt szilícium félvezető detektor. Ennek hátránya a viszonylagos lassúság, és az, hogy állandóan folyékony nitrogén hőmérsékleten kell tartani. A Quanta 3D mikroszkóp újfajta, úgynevezett szilícium drift detektorral rendelkezik. A szilícium drift detektor anyaga nagytisztaságú szilícium, ezért működés közben elegendő Peltier-elemes hűtést alkalmazni, amely körülbelül – 60 °C fokon tartja a detektort. A detektor holtideje kicsi, ezért gyors jelfeldolgozást tesz lehetővé, ami azt jelenti, hogy másodpercenként 10^5 foton fogadására alkalmas. Az energiafelbontás is jobb a hagyományos félvezető detektorokhoz képest. A Mn K_{α} 5,9 keV energiájú vonalára az energiafelbontás $\Delta E = 130$ eV.

Elemanalízis végezhető a minta egy pontján, vagy egy kijelölt területén. Ilyenkor az elsődleges eredmény röntgenspektrum formájában jelenik meg. A spektrumból meghatározható a minta elemösszetétele és az is, hogy az elemek milyen koncentrációban vannak jelen. A koncentrációmérés pontossága standard minta nélkül 1–5%. A mérendő mintával azonos elemösszetételű és ismert koncentrációjú standard minta birtokában a koncentrációmérés relatív pontossága akár 0,1% is lehet.

A röntgenanalízis felhasználható elemtérképek készítésére. Ilyenkor a nyaláb a minta felületét pásztázza, és az elemspektrum vonalai közül kiválaszthatók azok, amelyeknek felületi eloszlását különböző színekkel megjeleníteni kívánjuk. Az elemtérképek egymásra és az elektronokkal készített képekre is rakhatók, így az egyes felületi objektumok elemösszetétele láthatóvá tehető és könnyen azonosítható.

Visszaszórt elektronok diffrakciója

A visszaszórt elektronok diffrakcióra is alkalmasak (electron backscattered diffraction = EBSD). A transzmissziós elektronmikroszkópban vékony mintákon kapható diffrakciós kép egykristály esetén diffrakciós pontokból álló ábrát ad, amely ábrából a kristályszerkezetre és a kristály orientációra vonatkozó információ nyerhető. Hasonló információ nyerhető a pásztázó elektronmikroszkópban a visszaszórt elektronok által létrehozott diffrakciós képből. Azonban a pásztázó elektronmikroszkópban általában vastag mintákat használunk, ezért a diffrakciós ábra nem pontokból áll, hanem diffrakciós sávokat (Kikuchi-sávokat) látunk. A Kikuchi-sávok irányából és egymáshoz viszonyított helyzetéből meghatározható a mintát alkotó kristályszemcsék kristályszerkezete és orientációja. Az ilyen ábra alkalmas a minta textúrájának vizsgálatára is. A különböző orientációjú szemcsék különböző színekkel jeleníthetők meg, és így a minta kijelölt területéről orientációs térkép készíthető. A diffrakciós kép egy a mikroszkópon belül elhelyezkedő fluoreszcens ernyőn jelenik meg, ezt egy mögötte elhelyezkedő CCD-kamera digitális képpé alakítja és megjeleníti a képernyőn. Az ilyen detektort Hikari-kamerának nevezünk. A *Fizikai Szemle* egy további számában az EBSD képek készítéséről és felhasználásáról olvashatunk további érdekességeket.

Az ELTE TTK-n a SEM/FIB rendszerrel kapcsolatos kutatások

A fentiekben láttuk, hogy a Quanta 3D SEM/FIB rendszer sokoldalú kísérleti munkát tesz lehetővé. Ennek megfelelően a Természettudományi Karon rendkívül széles skálán használjuk ki a mikroszkóp adta lehetőségeket. Szubmikronos és nanotartománybeli fizikai, kémiai, biológiai, anyagtudományi, geológiai és interdiszciplináris kutatások folynak a mikroszkópon. Már eddig több mint 50 kutatási témában használtuk azokat a lehetőségeket, amelyeket a kétsugaras rendszer kínál. Valamennyi témát itt most nem tudjuk felsorolni, de jellemzőképpen néhányat közülük megemlíthetünk.

Nanoméretű kolloidális gömböcskék előállítására és tulajdonságainak vizsgálata gyógyszerhordozó tulajdonságainak megismerése céljából. A részecskék méreteloszlásának, alakjának és felületi tulajdonságainak vizsgálatában a SEM/FIB rendszer egyedülálló.

FIB-bel kialakított 100–1000 nm átmérőjű *fém egykristály hengerek* (mikropillárok) *előállítása és vizsgálata*. Az ilyen mikropillárok különleges mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek, amelyek a kialakítást követően nanoindentérral vizsgálhatók.

Ferromágneses nanorészecskék előállítására és tulajdonságainak, méreteloszlásának vizsgálata. Az ilyen ferromágneses nanorészecskék a humán gyógyászatban irányított gyógyszertranszport céljaira használhatók.

A *régészet* is kezdi meghódítani a nanotartományt. Az egyik régészeti témában a Kárpát-medencében feltárt avarkori kengyelek vas anyagának származása

és a megmunkálás technológiája a kutatás tárgya. A másik régészeti téma azt vizsgálja, hogy a középkori magyar aranyművesek milyen eljárással készítették a ruhák, ékszerek és kegytárgyak díszítésére használt nemesfém lemezeket és huzalokat.

Több kutatócsoport is vizsgálja a rendkívül nagy deformációval előállított *nanoszemcsés fémek tulajdonságait*. Az ilyen anyagok kiemelkedően jó mechanikai, elektromos és korrózióálló tulajdonságokat mutatnak.

Egy másik csoport *meteoritok szerkezetét* vizsgálja. A kétsugaras mikroszkóppal vizsgálhatók például azok a nagynyomáson létrejövő fázisok, amelyeket a légkörbe való belépés során kialakuló lökéshullám hozott létre.

Biológusok, geológusok és fizikusok együtt vizsgálják a budai meleg forrásokban élő *baktériumtörzsek* barlangképződésben és a rádium-felhalmozásban játszott szerepét. A mikroszkóp környezeti üzemmódja vizes környezetben is vizsgálhatóvá teszi a baktériumtelepeket.

Geológusok vizsgálják az ősi vulkáni kőzetekben bezáródott *olvadékszárványok tulajdonságait*. A zárványok feltárásában a fókuszált ionnyaláb egyedülálló lehetőséget kínál.

Számos más téma is használja a Quanta 3D mikroszkóp különleges tulajdonságait, hiszen nagy előny, hogy ezek a tulajdonságok egy rendszerben találhatóak, és az is, hogy egy ilyen világszínvonalú eszköz használata céljából nem kell távoli országok kutatóintézetét felkeresni.

A rendszer külső felhasználók számára is nyitott. A kétsugaras mikroszkópon máris több egyetemen kívüli hazai és külföldi csoport dolgozik.

Befejezés és köszönetnyilvánítás

Jó döntésnek bizonyult az ELTE TTK-n, hogy a kutatóegyetemi pályázat nyújtotta finanszírozási lehetőséget nem elaprózta, hanem nagyműszerek vásárlására fordította. Ezek egyike a Quanta 3D kétsugaras mikroszkóp. A mikroszkópon együtt dolgoznak fizikusok, vegyészek, biológusok, geológusok és régészek, hiszen a témák többsége interdiszciplináris jellegű. Az együttműködés egymás eredményeinek megismerésén túl az együttgondolkodást, a problémák közös erővel történő megoldását is jelenti, ami új minőséget is teremt. Az eszközt 2010 őszén telepítettük, és a közös munka eredményeképpen azóta több mint 50 olyan publikáció és konferencia-előadás született, amelynek létrejöttében a kétsugaras rendszernek döntő szerepe volt.

Aki a rendszer tulajdonságaival és a rajta folyó kutatási témákkal kapcsolatban szeretne bővebb információhoz jutni, annak rendelkezésére áll a projekt honlapja, a submicro.elte.hu internetes címen.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg (a támogatás száma TÁMOP 4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0003).

VÖRÖS LIDÉRCEK – GIGANTIKUS »TŰZIJÁTÉK« A FELSŐLÉGKÖRBE

Bór József,^a Barta Veronika^{a,b}

^aMTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, Sopron

^bNyugat-Magyarországi Egyetem, Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola, Sopron

A zivatarfelhők fölött nagy magasságban megjelenő felvillanások egyik típusa a „vörös lidérc”, amit a nemzetközi szakirodalomban *red sprite* néven tartanak számon. A sprite-ok az angolszász mitológia szárnyas tündérei, akik például az őszi levelek elszíneződéséért is felelősek. Zivatarfelhők fölötti névrokonaik mindössze annyiban hasonlítanak hozzájuk, hogy nehéz őket megfigyelni, valamint fölfedezésük legalább annyi kérdést vetett föl, illetve olyan élénk (tudományos) érdeklődés irányult feléjük (különösen az

első években), mintha valóban tündért fogtak volna. Nevüket mégis e hasonlóságok alapján kapták. A *vörös lidérc* elnevezés is csupán ezt igyekszik tükrözni, ezért e jelenségek éppen csak annyiban kapcsolhatók a hazai mondák lidérceihez/lúdvérceihez, mint a világűr barna/fehér törpéi (csillagai) a kerti törpékhez.

Kialakulás és morfológia

A vörös lidércek légköri elektromos kisülési jelenségek, amelyek a meteorológiai értelemben vett felsőlégkörben, azaz a zivatarfelhők teteje és az (éjszakai) ionoszféra alsó határreége közötti térrészben alakulnak ki. Ez közepes szélességeken 15–100 km-es magasságtartománynak felel meg. A felsőlégköri kisüléshez szükséges elektromos tér intenzív troposzférikus villámkisüléseket követően jöhet létre aktív zivatargó-

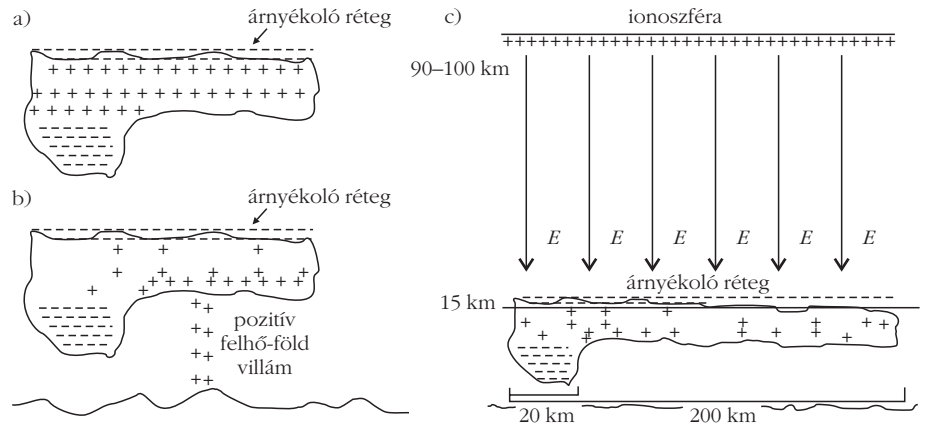
Az MTA GGKI-ban végzett munkát az OTKA T-034039, TS-40848, NI-61013, K-72474 témái és a Magyar Űrkutatási Iroda pályázati támogatásai segítették. A nemzetközi kapcsolatok kialakításában az European Cooperation in Science and Technology (COST) *A villámkisülés fizikája és hatásai* (The Physics of Lightning Flash and Its Effects) című P18-as számú akciója játszott számottevő szerepet. A szerzők köszönetet mondanak *Sátori Gabriellának* a kutatómunkában nyújtott hasznos tanácsaiért.

cok fölött (1. ábra). Az 1.a ábra az elektromos töltések zivatarfelhőkbeli általános, nagyléptékű eloszlását szemlélteti. Egy pozitív felhő-föld villámot követően (1.b ábra) a felhőben maradó negatív töltések újrendeződéséhez szükséges rövid ideig a felhő és a szabad töltéseket tartalmazó ionoszféra alsó határretege között egy kvázistacionárius elektromos tér alakul ki (1.c ábra).

A felsőlégkörben fölépülő elektromos tér erőssége a troposzférikus villámkisülés függőleges töltésmomentum-változásának¹ függvénye, mivel jó árnyékolást föltételezve a (példában) pozitív töltések eltávolítása egyenértékű egy azonos nagyságú és kiterjedésű, de ellentétes előjelű töltésgóc semleges környezetben való elhelyezésével. Így például egy magasabban elhelyezkedő és/vagy nagyobb töltés nagyobb térerősség kialakulásához vezet. Amennyiben ez a térerősség meghalad egy kritikus értéket, bekövetkezhet a kisülés a zivatarfelhő teteje és az ionoszféra közti térrészben (2. ábra).

A fönti elképzelést még 1925-ben vetette papírra C. T. R. Wilson [1], aki – följegyzései szerint – maga is látni vélte ennek megfelelő felvillanásokat zivatarok fölött. A jelenség hivatalos fölfedezése mégis mintegy 65 évvel későbbre datálódik, amikor John Winckler és két munkatársa éjszakai sarki fény (Aurora borealis) észlelés tesztelése közben véletlenül kapott lencsevégre néhány vörös lidérctet. A hiteles felvételeknek köszönhetően a légkörkutatók figyelme a zivatarfelhők fölé irányult, ahol a fokozott megfigyeléseknek köszönhetően nemcsak vörös lidérceket, hanem számos további, szintén elektromos aktivitáshoz kapcsolható fénjelenséget is sikerült észlelni. A változatos jelenségcsoportot alkotó felsőlégköri elektro-optikai emissziók (FEOEM, a szakirodalomban *transient luminous events* – TLEs) közül e cikkünkben a vörös lidércekről esik több szó. Az érdeklődő olvasó például az egyik szerző doktori értekezésében találhat további részleteket e jelenségekről [2].

A vörös lidércek első észlelései után már behatárolható volt, hogy ezen emissziók 60–80 km-es magasságban alakulnak ki. A későbbi, nagysebességű (10^3 – 10^4 képkocka/másodperc) videofelvételek arra is rávilágítottak, hogy a lidérc jellemzően a környező elektromos térben lefelé haladó, fókuszált, kvázi-önfenntartó kisülési frontként (*streamer*) jelenik meg. Az elsődleges streamer az alsóbb légrétegekbe érve egyre több szárra ágazik. A kezdeti alakot a kisülési front központi csatornájából induló, fölfelé haladó, esetenként szintén

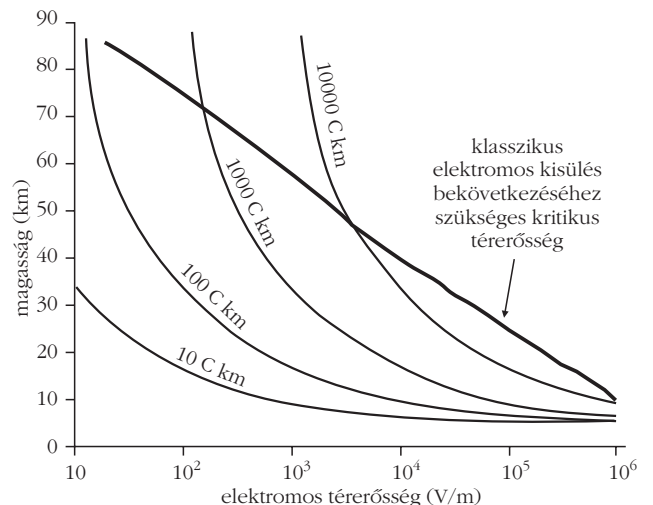


1. ábra. Kvázi-stacionárius elektromos tér kialakulása a zivatarfelhő fölött pozitív felhő-föld villámkisülés után (forrás: <http://www.ess.washington.edu/Space/AtmosElec/spriteinfo.html>).

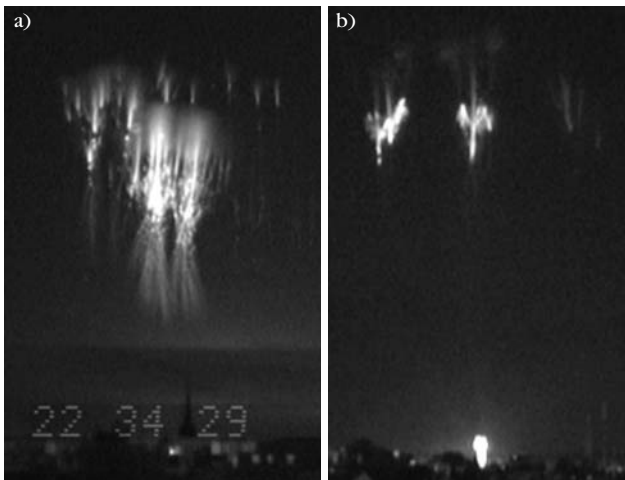
elágazó további hasonló streamerek követhetik, amelyek nagyobb magasságban diffúz emissziófelhőbe mehetnek át. Így a jelenség a különböző esetekben az egyszerű oszlopos alaktól a faágakhoz hasonlóan elágazó változaton keresztül az összetettebb – répára, medúzára vagy madárra emlékeztetőig – különböző végső formát ölthet (3. és 4. ábra). A teljes alakzat csak a hosszabb (több ezredmásodperces) expozíciós idejű filmkockákon vagy fényességtartó (*peak hold*) felvételeken jelenik meg, mivel a kisülési frontok áthaladása után a kisülési csatorna általában nem marad fényes.

A kisülés alapfolyamata alig néhány ezredmásodperc alatt lejátsszódik. A lefelé haladó kisülési frontokban keletkező szabad elektronok a környező elektromos térben fölfelé mozognak, és a kisülési csatorna felső szakaszában koncentrálnak, ami okozhat koncentrációs hullámot okozhatnak, aminek következtében a csatorna felső hányada fölfénylik [3]. Ez az emisszió többször tíz ezredmásodpercig is fennmaradhat. A kutatók szerint valószínűsíthető, hogy az egyes esetekben fölfelé induló és elágazó kisülési frontokat is ilyen töltésrezervoár táplálja, az elmélet e része azonban még igazolásra vár.

2. ábra. Elektromos térerősség különböző magasságokban, eltérő függőleges töltésmomentumú villámkisülések után – Wilson-diagram [7].



¹ A villámkisülés függőleges töltésmomentum-változása a kisülés során átáramlott töltések mennyiségének és a kisülő töltéscentrum magasságának szorzata.

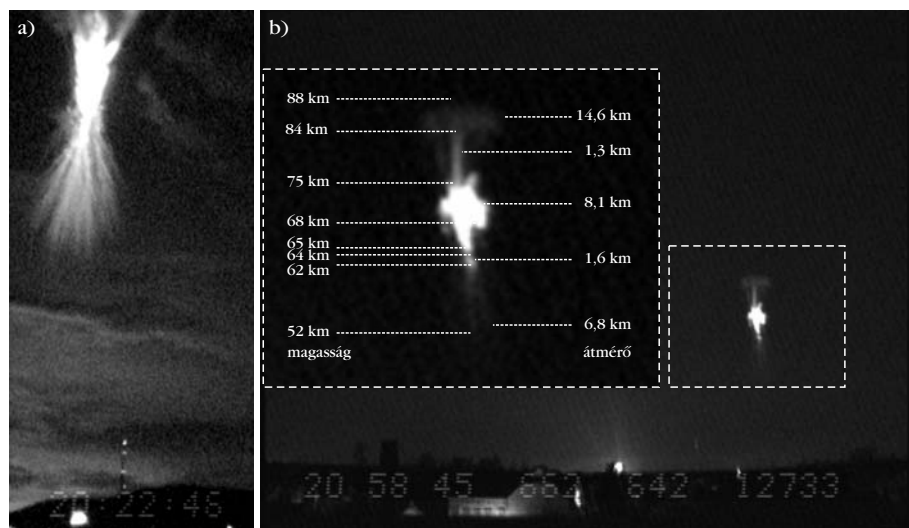


3. ábra. Sopronból fényképezett vörös lidércek. a) Oszlopok és medúzák a Cseh Köztársaság fölött 2009. augusztus 2-án (Universal Time Coordinated = 22:34:29,059, észlelő: Bór József). b) Madárta emlékeztető alakzatok Ausztria fölött 2008. augusztus 7-én (UTC = 22:56:42,893, észlelő: Barta Veronika). Alul a soproni sörgyár kivilágított víztornya látható.

Megfigyelések szerint mind a lefelé, mind a fölfelé haladó kisülési frontok elágazásánál, illetve kereszteződésénél a környezetüknél fényesebb tartományok, „gyöngyök” (*beads*) jöhetnek létre. A gyöngyök élettartama a kisülési frontokéhoz képest hosszú; ugyancsak akár többször tíz ezredmásodpercig is láthatók maradnak. Az elektromos eredetű fölfénylések mellett nem zárható ki az ionizáció hatására bekövetkező kémiai átalakulások közben gerjesztett légköri összetevők hosszabb időállandójú relaxációjától eredő fénysugárzás sem. Ezeknek a lassabban elhalványuló emisszióknak köszönhetően a vörös lidércek egyes (főleg központi) részei valamivel könnyebben észlelhetők (3.a ábra).

A vörös lidércek méretei tekintélyt parancsolóak (4. ábra). Az oszlop alakúak átmérője néhányszor

4. ábra. Sopronból fényképezett répa alakú vörös lidércek. a) Szlovénia fölött, a megfigyelőhelytől 100–120 km-re 2010. augusztus 8-án (UTC = 20:22:46,369, észlelő: Barta Veronika). Alul a körülbelül 60 m magas soproni TV adótorony látható a megfigyelőhelytől légvonalban körülbelül 1 km-re. b) A cseh–német határ közelében 2007. július 21-én (UTC = 20:58:45,652, észlelő: Bór József). Alul a soproni sörgyár kivilágított víztornya látható.



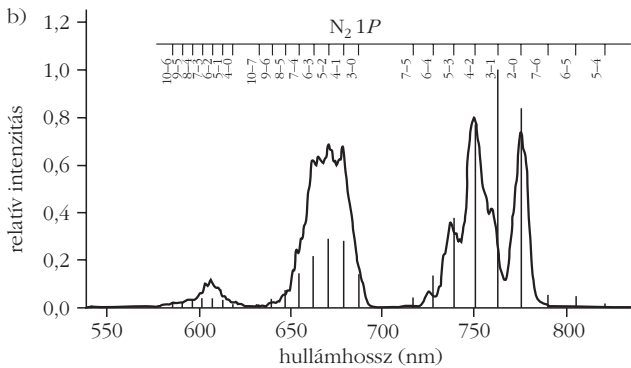
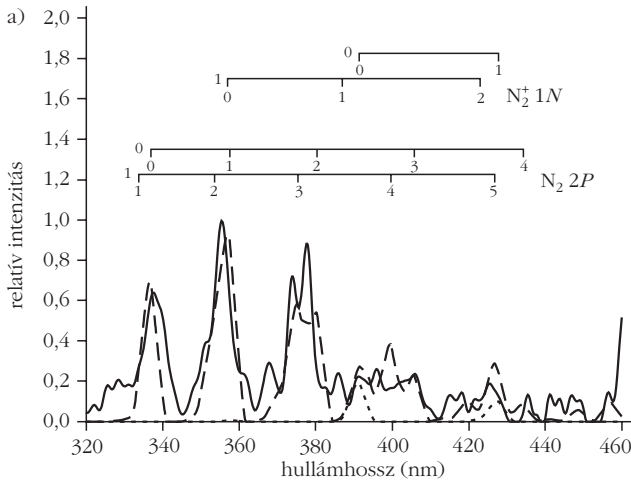
száz méter és 1,5 km közötti, míg hosszuk széles határok között változik, megközelítheti a 15–20 km-t is. A répa alakú lidércek központi, legfényesebb részének hossza is ebbe a mérettartományba esik, míg legnagyobb átmérőjük meghaladhatja a 8–10 km-t. A lefelé elágazó „hajszályökerek” szélsőséges esetben egészen a felhőtetőig leérhetnek, a felső diffúz emissziófelhők teteje pedig 85–90 km-es magasságig ér, átmérőjük 10–15 km-es (4.b ábra). A felsőlégköri kisülések a troposzférikus villámok kisülési csatornáit kialakító elővillámoknak/előkisüléseknek felelnek meg, csak a felsőlégkörben nem következik be a fő villámkisülés (*return stroke*). Összehasonlításképpen a troposzférikus elővillámok kisülési csatornája 1–10 m átmérőjű [4]. A méretek eltérése elsősorban a felsőlégkörben uralkodó, nagyságrendekkel alacsonyabb légnomásnak és -sűrűségnek tulajdonítható.

A vörös lidércek ritkán fordulnak elő magányosan. Jellemzőbb, hogy több elem jelenik meg egyszerre (3. ábra), vagy alkalmanként gyorsan egymás után. A nagyobb csoportok által elfoglalt terület vízszintesen az 50 km-es átmérőt is elérheti, mint például a nagyszámú, kiemelkedően fényes elemet tartalmazó, medúzához hasonlitos összetett eseményeknél.

Sugárzásuk összetétele

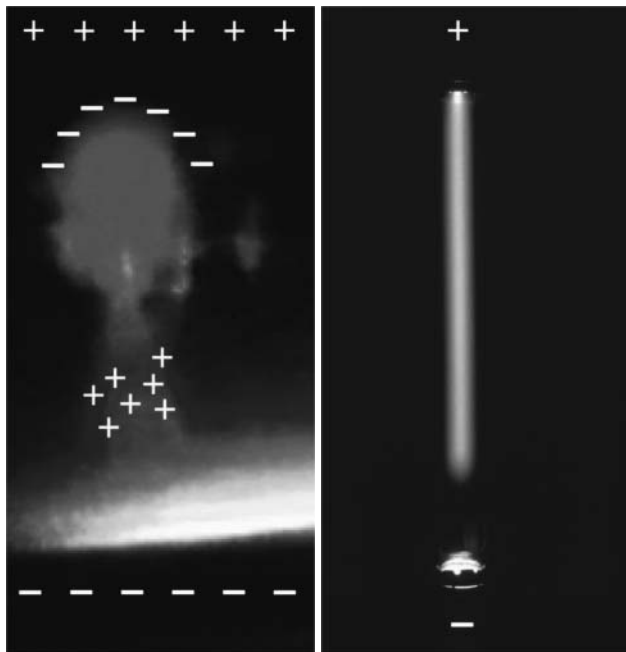
Az emissziók optikai spektrumát 50–60 km-es magasság fölött a szabad elektronokkal való ütközések közben gerjesztett semleges nitrogénmolekulák relaxációjából eredő vörös és közeli infravörös sugárzás uralja (5. ábra). A jelenség nevében a „vörös” jelző erre utal. Ehhez a csökkenő magassággal egyre nagyobb mértékben adódik hozzá az egyszeres pozitív töltésű nitrogén molekulaionok hasonló mechanizmusból eredő, ám kék színű járuléka. A kékes szín a lidérc alsóbb indáinál dominánsná is válik. A vörös lidércek fénysugárzásához nagyon hasonló az alacsony nyomású kisülési csövekben létrehozott gázkisülése (6. ábra).

A FEOEM-ek fényességét általában a sarkifény-kutatásban használatos rayleigh egységekben (R) adják meg. 1 R 10^{10} olyan foton, amely az észlelés irányában végtelen, 1 m² keresztmetszetű oszlopban keletkezett, és az oszlop keresztmetszetén az észlelő felé 1 s alatt lépett ki. Például az éjszakai égbolt sugárzása 250 R körüli. Az emissziók élettartamát pontosabban fotométeradatok alapján lehet meghatározni. A vizsgálatok szerint a legfényesebb vörös lidércek sugárzása többször 10 MR (1 MR = 10^6 R)



5. ábra. Vörös lidérc mért spektruma. a) A felső részen a N_2 molekula $2P$ gerjesztésének és a N_2^+ ion $1N$ gerjesztésének relaxációs sorozatához tartozó hullámhosszak láthatók. A folytonos vonal a mért spektrum, a szaggatott pedig modellszámítás eredménye [5], 3.8 ábra). b) A felső részen a N_2 molekula $1P$ gerjesztésének relaxációs sorozatához tartozó hullámhosszak láthatók, a függőleges vonalak a sarki fény (Aurora borealis) elektronbecsapódások következtében várható emisszióinak modellezett intenzitását mutatják ([6], 3. ábra).

6. ábra. Vörös lidérc a valóságban (bal oldalon) és a kisülési csőben (jobbra) [7].



és néhány tized MR között változik, de rövidebb időskálára lebontva a kisülési frontoké az $5 \cdot 10^5$ MR-t is elérheti.

A vörös lidércek teste az optikai sávon kívüli frekvenciatartományban is sugározhat észlelhető intenzitású elektromágneses hullámokat a benne átfolyó áram változása révén. Ilyen sugárzást a nagyon alacsony frekvenciatartomány alsó hányadában, 1500 Hz alatt észleltek. A mért jelintenzitás arra utal, hogy a vörös lidércek testében bekövetkező függőleges töltésmomentum-változás esetenként akár az 1200 Ckm-t is meghaladhatja, azaz összemérhető lehet a jelenséget kiváltó troposférikus villám kisülésével.

Modellezésük

A klasszikus elektromos kisülés tulajdonságain alapuló modellek a vörös lidércek testében lejárló fizikai folyamatokat a folyékony plazmára alkalmazott magneto-hidrodinamikai megközelítéssel írják le. Az ezekre a modellekre épített számítógépes szimulációk számot adnak a lidérc alacsonyfrekvenciás sugárzásáról, és jól visszaadják a jelenség nagyléptékű struktúráit: a felső diffúz tartományt, az alsó szálak szerkezetét, valamint meghatároznak egy középső „átmeneti” tartományt is. A streamerek elágazásainak statisztikai jellemzőit sikeresen modellezik a fraktáltulajdonságok fölhasználásával. E modellek hátránya, hogy nem adnak magyarázatot a jelenség morfológiai sokszínűségére, nem értelmezik a kisülési frontok fejlődését, és nem szolgáltatnak a megfigyelésekkel egyező streamerméreteket. Nem lehetséges továbbá e modellek keretén belül értelmezni azon vörös lidérc megjelenését, amelyeknél a keltő villámuk függőleges töltésmomentum-változása jóval a kritikus érték alatti volt.

E hiányosságok egy részét a vörös lidérc kialakulását lavinakisüléssel (*runaway breakdown*) magyarázó elméletek áthidalják. A lavinakisüléses modellek nagyenergiájú elektronok keletkezését feltételezik a környező kvázistacionárius tér fönnállása alatt. Ezek a térben gyorsulva a légkör alkotóit szabad elektronok keletkezése közben ütközéssel ionizálják. Amennyiben az elektronok két ütközés között több energiát nyernek a tértől, mint amennyit az ütközésben elveszítene, elektronlavina jön létre, és a keletkező ionok relaxációs sugárzását mint vörös lidércet észlelhetjük. Mivel a légkör sűrűsége a jelenség kialakulásának magasságában közel 5 nagyságrenddel kisebb, mint a tengerszinten, a töltött részecskék szabad úthossza ennyiszor nagyobb. Nagyenergiájú, szabad elektronok ugyanakkor keletkezhetnek például a galaktikus kozmikus részecskék légkörben való ütközéses fékeződése során, így a lavinakisülés kialakulhat. A lavinakisülésen alapuló szimulációk néhány répa alakú emisszió esetében szolgáltatnak a megfigyelésekhez leginkább közeli eredményeket.

Nem zárható ki az sem, hogy a kisülés beindulásához szükséges térerősség kialakításához akár a kvázistacionárius teret kialakító forrásvillám, akár vala-

mely azt szorosan követő másik villámkisülés elektromágneses impulzusa is hozzájárul [8]. Bár az impulzus csupán nagyon rövid időre növeli meg a térerősséget, ez is elegendő lehet, tekintve, hogy a streamerek spontán kialakulásához szükséges elektromos térnél gyengébb is elegendő ezek előrehaladásához és fennmaradásához. Ugyanakkor meg kell jegyeznünk, hogy a kritikus térerősség értéke nem állandó, hanem helyileg csökkenhet – például meteoritikus testek égésének hatására – a kipárolgó fémionok révén megnövekvő vezetőképesség miatt.

Az oszlop alakú vörös lidércek legtöbb megfigyelt tulajdonságát pontosan visszaadó elmélet szerint az elsődleges streamer(ek) kialakulása a forrásvillámlás után a nagyobb térerősség alatt álló teljes tértartományon átvonuló ionizációs hullám destabilizációjának következménye [3, 9]. E modell arra is rámutat, hogy a semleges légkör sűrűségének és az alsó ionoszféra elektronsűrűségének gradiense a lefelé haladó kisülési frontoknak kedvez. Ez segíthet megválaszolni azt a kérdést, hogy a vörös lidércek miért szinte kizárólag pozitív polaritású villámkisülések után jelennek meg.

Észlelésük, előfordulásuk

A vörös lidércek közvetlen optikai megfigyelése hatalmas méreteik ellenére egyáltalán nem egyszerű, szabad szemmel majdnem reménytelen vállalkozás. A zivatarfelhők fölé kell látnunk, amihez a zivartartól távolabb kell lennünk. Legalább a cél irányában tiszta égbolt és jó látási viszonyok is szükségesek. Ha mindez adott, akkor is igen ébernek kell lenni, hiszen a jelenség rendkívül gyors lefolyása miatt egy rosszul időzített pislogáskor elszalaszthatjuk a fölvi villanást. A feladatot nehezíti, hogy bár a zivatarok irányát (amelyek lehetnek akár a látóhatár alatt is) villámtérkép vagy műholdas felhőképek alapján be lehet határolni, legalábbis egyelőre nem tudjuk előre jelezni, hogy pontosan hol és mikor következnek be egy-egy lidérc fölbukkanása. Ehhez járul még, hogy az éjszakai égbolton a rendkívül rövid időre megjelenő vörös és lilás színeket nehezen érzékeli a szemünk.

Nappal több tényező miatt sem láthatunk vörös lidérceket. Egyrészt a szórt napfény teljesen elfedi a nagyságrendekkel gyengébb emissziókat. Másrészt a nappali ionoszféra alsó határrétege jóval közelebb húzódik a földfelszínhez, ezért a felsőlégköri kisülések 50–60 km magasan alakulhatnak ki, amihez a nagyobb légsűrűség miatt jóval nagyobb térerősség szükséges (2. ábra). Az ekkora térerősséget előidéző igen nagy függőleges töltésmomentum-változású villámkisülések rendkívül ritkák.

Az emissziók megfigyeléséhez célravezetőbb, a hitelesség szempontjából pedig egyenesen nélkülözhetetlen egy megfelelő észlelő- és rögzítőegység alkalmazása. Az optikát illetően érdemes minél nagyobb fénygyűjtőképességű (kisebb f-értékű) választásra törekedni, valamint az is előny, ha mind az optika, mind a kamera CCD-je (vagy az alkalmazott

fotemuulzió) a közeli infravörös tartományban is érzékeny. A lidércek alsó, szálas szerkezetének kékes sugárzását még érzékeny megfigyelőegységgel is csak ritkán sikerül megörökíteni. Ennek oka, hogy az eleve kisebb intenzitású kék fényből – a Rayleigh-szórás miatt – a légkörön át vezető hosszú út során kevés foton jut el a kameráig.

Az expozíció többi paraméterének behangolásánál a minél nagyobb érzékenység mellett olyan beállítást érdemes választani, aminél a képen a csillagok és az égbolt sötétje között a legnagyobb kontraszt van, miközben a kép zajossága a lehető legkisebb. Fényképezőgép használatakor sorozatfelvétel készítésével van a legnagyobb esélyünk vörös lidércek megörökítésére. A fényképeken vagy videofilmen általában könnyebb fölfedezni e jelenségeket. A kamerák digitális vagy digitalizált felvételeit, de akár élőképet is számítógépen futó eseményfelismerő szoftver segítségével elemezve az emissziók megtalálása még egyszerűbb. A kutatók által alkalmazott legegyszerűbb összeállításokban 1,4 vagy kisebb f-értékű objektívet, normál CCIR vagy EIA videószabványú (monokróm, 25 vagy 30 váltott soros képkocka/másodperc), a meteor megfigyeléseknél is alkalmazott analóg videokamerákat használnak. A digitalizált képsorokon az eseményészleléshez legtöbb helyen a japán fejlesztésű „UFO Capture” program szolgál.

A vörös lidércek (és általában a FEOEM-ek) tulajdonságainak megismerése céljából megfigyelési kampányokat szerveznek, amelyekben az anyagi lehetőségek szerint ballonos, repülőgépről vagy műholdról folytatott megfigyelésekkel összehangolt földfelszíni észleléseket is folytatnak. A telepített földfelszíni optikai észlelések az adott belátható területen jellemző FEOEM előfordulásokról gyűjthetnek információt. A műholdas megfigyelés hosszú távon globális lefedettséget biztosít, egy időben azonban itt is csak egy korlátozott térrészt lehetséges monitorozni.

A közvetlen optikai megfigyelés mellett a vörös lidércek közvetett észlelése is lehetséges. Alacsonyfrekvenciás rádiósugárzásuk révén több ezer km távolságban is észlelhetők, mivel a rádióhullámok csillapítása e frekvenciákon különösen alacsony a Föld-ionoszféra hullámvezetőben. A felsőlégköri kisülések infrahanghullámokat is keltenek, amelyek a forrástól legfeljebb 1000 km távolságban – karakterisztikus mintázatuk alapján – fölismerhetők.

Mind a közvetlen műholdas, mind a közvetett elektromágneses észlelések alapján a vörös lidércek globális átlagos előfordulási gyakoriságát kétpercenként 1-2 eseményben határozták meg. A lidércek a zivatarok globális eloszlását követve főleg szárazföldek fölött jellemzők, de vízfelületek fölött is megfigyelhetők. Megjelenésük a zivatarok érett, illetve hanyatló fázisában várható, amikor a nagy töltésmomentumú pozitív felhő-föld kisülések is gyakoribbak. Egy átlagos zivatar fölött néhány (több tíz) esemény figyelhető meg a zivatar teljes élettartama alatt, de ritkán előfordul, hogy egyetlen kiterjedt zivatarrendszer fölött több száz jelenséget is sikerül lencsevégre kaptani.

Környezeti hatásuk

A vörös lidércek teljesebbé tették a globális elektromos áramkörrel alkotott képet, lévén az aktív zivatarok és az ionoszféra közötti töltés- és energiaáramlás közvetlen bizonyítékai. A vizsgálatok alapján ugyanakkor e jelenségek (és általában a FEOEM-ek) szerepe csekély a földfelszín és az ionoszféra közötti 250–300 kV-os potenciálkülönbség alakításában. Fő szerepet inkább a zivatarok és az elektromosan töltött csapadékot hullató felhők által generált kis áramsűrűségű, de kiterjedt vezetési áramok játszanak, miközben az impulzív FEOEM-ek és villámkisülések járuléka a különböző polaritású események egymást kiegyenlítő hatása miatt csupán 1% körüli. Alkalmanként azonban a vörös lidérc testén átfolyó áram közel 1 V-tal is csökkentheti az ionoszféra potenciálját [10].

A vörös lidércek mezoszférikus átmeneti vezetőképességi anomáliáknak is tekinthetők, amelyek elektromos tulajdonságaira például a nagyon alacsony frekvenciájú (very low frequency – VLF, 3–30 kHz) hullámok terjedésére gyakorolt hatásuk alapján lehet következtetni. Ezt a gyakorlatban katonai VLF-adók jeleinek monitorozásával vizsgálják. A VLF-hullámok szórás mintázata a szórócentrum méretére utal, a jelperturbáció nagyságrendje az ionizáció mértékét jelzi, a perturbáció relaxációs tulajdonságaiból pedig az ionizáció mértékének függőleges változására lehet következtetni. A mérések alapján az ionizáció nem terjed túl a lidércek optikailag megfigyelt testén, mértéke viszont 4–6 nagyságrenddel is meghaladhatja a környezetükben levőét. Az ehhez tartozó elektronkoncentráció közelítőleg megegyezik az éjszakai ionoszféra „E” rétegére jellemző értékkel (10^4 – 10^5 cm⁻³).

Az emissziók kialakulása során a kisülési frontokban az elektromos energia akár 50%-os hatásfokkal is fordítható főleg ózon, NO_x, atomos hidrogén és nitrogén, valamint negatív ionok képződésére. Az NO_x vegyületek transzportfolyamatokkal a sztratoszférába jutva ózonszökkenést okozhatnak. Ez motiválta a vörös lidérceknek a semleges légkör összetételére gyakorolt hatását vizsgáló kutatásokat. A műholdas mérések azonban nem mutattak ki szignifikáns különbségeket villámaktivitásban különböző területek (szárazföld-óceán, közepes – alacsony szélességek) fölötti NO_x koncentrációk között. A mért NO_x koncentráció változása a villámaktivitás időszakos változásával sem mutatott korrelációt. Ez alapján a vörös lidérceknek valószínűleg nincsen globális hatása a semleges légkör összetételére, a helyi hatásuk ugyanakkor jelentős lehet [11].

Jelentőségük

A fölfedezésük óta eltelt alig több mint 20 év alatt a vörös lidércek számos tulajdonságát sikerült megismerni és sikeresen modellezni. A velük kapcsolatos kérdések közül azonban sok máig is válaszra vár. A kialakulásukhoz kellő szükséges és elegendő feltéte-

lek nem teljesen ismertek. Például a nagy függőleges töltésmomentumú villámkisülések közül sem lehet mindegyik után vörös lidércet megfigyelni, és nem egyértelmű a felhőn belüli villámkisülések szerepe sem az emissziók keletkezésében.

Tisztázatlan, hogy milyen tényezőktől függ a lidércek végső formája, mérete, fényessége, száma és konfigurációja egy-egy eseményen belül, valamint a zivatar élete során.

A streamerek elágazását és fölhasadását vezérlő fizikai mechanizmusok feltárása is várat magára.

A vörös lidércek jelentősége ismeretlen tulajdonságaik lehetséges hasznosíthatóságában rejlik. A főnti kérdések megválaszolása magában rejtje annak lehetőségét is, hogy e jelenségek megfigyelésével többet tudhatunk meg a zivatartevékenységről, a villámkisülésekről, a mezoszféra és az alsó ionoszféra állapotáról, valamint a tartományok és jelenségek változásairól, dinamikájáról.

Vörös lidércek kutatása Magyarországon

A vörös lidércekkel kapcsolatos tudományos kutatásokba az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézete először 2003-ban kapcsolódott be. Ekkor az EuroSprite2003 FEOEM megfigyelési kampány során észlelt vörös lidércek keltóvillámjainak töltésmomentum-változásait határozták meg a távoli villámok alacsonyfrekvenciás sugárzásának analízisével [2]. A kutatóintézet Nagycenk melletti Széchenyi István Geofizikai Observatóriumában az 5–30 Hz-es extrém alacsony frekvenciasávban működő Schumann-rezonancia mérőrendszerből [12] származó adatok földolgozásával további európai és tágabb nemzetközi FEOEM megfigyelési kampányok eredményeihez járultak hozzá. 2007-ben a nemzetközi tapasztalatok fölhasználásával egy optikai FEOEM megfigyelőállomást létesítettek Sopronban, amellyel 2007 óta Sopron közel 600 km-es körzetében eredményesen folytatnak főleg vörös lidérc észleléseket [2].

Irodalom

1. C. T. R. Wilson: The electric field of a thunderstorm and some of its effects. *Proceedings of the Physical Society of London D* 37 (1925) 32–37.
2. Bór József: *Villámkisülésekhez társuló felsőlégköri elektro-optikai emissziók és Schumann-rezonancia tranziensek vizsgálata*. Ph.D. disszertáció, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron, 2010.
3. A. Luque, U. Ebert: Sprites in varying air density: Charge conservation, glowing negative trails and changing velocity. *Geophysical Research Letters* 37 (2010) L06806, doi:10.1029/2009GL041982
4. M. A. Uman: The lightning discharge. In: *International Geophysics Series* vol. 39 (1987) (W. L. Donn, ed.) Academic Press, New York, USA (a hivatkozott tartalom az 5.4. fejezetben található)
5. M. J. Heavner: *Optical spectroscopic observations of sprites, blue jets, and elves: Inferred microphysical processes and their macrophysical implications*. Ph.D. dissertation, University of Alaska, Fairbanks, USA, 2000.
6. D. L. Hampton, M. J. Heavner, E. M. Wescott, D. D. Sentman: Optical spectral characteristics of sprites. *Geophysical Research Letters* 23 (1996) 89–92.

7. E. R. Williams: Sprites, elves and glow discharge tubes. *Physics Today* 54/11 (2001) 41–47.
8. J. A. Valdivia, G. Milikh, K. Papadopoulos: Red sprites: Lightning as a fractal antenna. *Geophysical Research Letters* 24 (1997) 3169–3172.
9. A. Luque, U. Ebert: Emergence of sprite streamers from screening-ionization waves in the lower ionosphere. *Nature Geosciences* 2 (2009) 757.
10. M. J. Rycroft, A. Odzimek: Effects of lightning and sprites on the ionospheric potential, and threshold effects on sprite initiation, obtained using an analog model of the global atmospheric electric circuit. *Journal of Geophysical Research* 115 (2010), A00E37, doi:10.1029/2009JA014758
11. C. J. Rodger, A. Seppälä, M. A. Clilverd: Significance of transient luminous events to neutral chemistry: experimental measurements. *Geophysical Research Letters* 35 (2008) L07803, doi: 10.1029/2008GL033221
12. G. Sători: Schumann resonance observations. In: *Geophysical Observatory Reports of the Geodetic and Geophysical Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences, Nagyecsk Geophysical Observatory (2005–2006)*, Hillebrand nyomda Kft., 2007, ISBN 798-963-8381-22-4

VÖRÖS LIDÉRCEK ÉSZLELÉSE AMATŐR SZEMMEL

Goda Zoltán
Baja

Ha egy nyári estén távoli zivatar fényeit vesszük észre, érdemes figyelmünket a zivatarfelhő fölötti égboltra irányítani, ahol szokatlan jelenségnek lehetünk tanúi. Időről-időre vörös színű villanásokat figyelhetünk meg, amelyek éppen csak egy pillanatra láthatóak. A vörös lidércek (angolul: *red sprites*) rendkívül rövid életű, felsőlégköri elektromos kisülési jelenségek, amelyek villámtevékenység hatására alakulnak ki. Mintegy 40–50 km magasságban, a mezoszférában jelennek meg, ahol a légkör már nagyon ritka. A vörös lidércek változatos alakban tűnhetnek fel, az egyszerű oszlopformától a bonyolultabb, medúzára vagy fára emlékeztető alakzatokig (1. ábra). A jelenség vörös színű, rajta sárgásabb fénylések, gyöngyök alakulhatnak ki. Mindössze néhány ezredmásodpercig tartó, halvány tűnemények, de megpillantásuk feledhetetlen élmény. Szabadszemes észlelésük és fényképezésük igencsak nehézkes, ám nem teljesen reménytelen feladat. Ha figyelembe vesszük néhány jellemzőjüket, jó eséllyel magunk is megfigyelhetjük őket.

1. ábra. A vörös lidércek változatos formában tűnhetnek fel az égen (a szerző felvétele).



A vörös lidérceket mindössze néhány évtizede ismerjük. Habár e rövid idő alatt sok új információt sikerült gyűjteni róluk, máig több kérdés nyitott maradt. Az amatőr észlelők legfontosabb kérdése, hogy vajon láthatók-e szabad szemmel. Műszerek nélkül észlelhetünk olyan jelenséget, amely mindössze néhány ezredmásodperces halvány villanás az égen? Bár a vörös lidércek mind élettartamuk, mind pedig fényerejük alapján az emberi észlelőképesség határán vannak, szemünk és agyunk közös munkájának köszönhetően képesek vagyunk észlelni őket.

Megfigyelésük

Vörös lidércek észleléséhez különleges körülmények kellene. Mivel megfigyelésükre igen ritkán adódik lehetőség, érdemes előre felkészülni az észlelésre. A sikeres megfigyeléshez mindenképpen szükség van egy éjszaka kialakuló zivatarrá, lehetőleg erős villámtevékenységgel. A lidércek jóval a zivatarfelhő fölött jelennek meg. Ahhoz, hogy megfelelően észlelni tudjuk őket, a zivatarnak az észlelőponttól 100–200 km távolságban kell lennie. (A zivatar pontos helyének meghatározásához érdemes radar-, műhold- és villám térképeket használni.) E távolságból tiszta égbolt esetén már jól látszik a zivatar villogó fénye, és ha jó rálátásunk van a horizontra, akkor a zivatarfelhő teteje is. Különösen fontos a megfelelő észlelőpont kiválasztása. A legjobb egy sík terület, a városok fényszennyezésétől távol, ahol messzire, a horizontig elláthatunk. Ha a fejünk fölött jól látszik a Tejút, akkor megfelelően sötét helyet sikerült találnunk. Fontos, hogy az észlelést ne zavarja felhőzet, légköri pára vagy

por. A légszennyező anyagok jelentős része a légkör legalsó rétegeiben fordul elő, így ezeket, mint zavaró tényezőket kiiktathatjuk, ha magasabb pontról, például hegytetőről észlelünk. Fontos, hogy a Hold fénye ne zavarja a megfigyelést, így célszerű a holdfázis első vagy negyedik negyedében folytatni a megfigyelést. Számba véve a sikeres észlelés feltételeit, látható, hogy vörös lidércek megfigyelésére csupán néhány alkalom adódik egy évben.

Ha megfelelő távolságban aktív zivatar tartózkodik és semmi zavaró tényező nem akadályozza a megfigyelést, akkor a villámok fénye, villogása jól látható. Mivel a vörös lidércek pozitív felhő-föld villámok (CG+) hatására alakulnak ki, mindenképpen szükséges az ilyen villámok jelenléte. Egy zivatarban átlagosan néhány ezer-tízezer villám keletkezik. Ezek többsége, mintegy 80%-a felhő-felhő villám (IC), amely a zivatarfelhő két pontja között sül ki, azaz a földfelzínnel nem kerül kapcsolatba. A lecsapó vagy felhő-föld villám kétféle lehet: negatív (CG-) vagy pozitív (CG+). A negatív lecsapó villámok gyakoribbak, a pozitív villámok pedig jóval nagyobb energiájúak. Átlagosan 2–3-szor gyakrabban fordulnak elő a negatív lecsapó villámok, mint a pozitívak, azaz egy átlagos zivatarban a pozitív lecsapó villámok aránya 5–7%. A felhő-felhő és a lecsapó villámok aránya a zivatar típusától és viselkedésétől is függ. Tapasztalat szerint, arányaiban a legtöbb lecsapó villám az alacsony felhőalappal rendelkező, lassú mozgású zivatarokban alakul ki. A pozitív (CG+) villámok mindig a zivatarfelhő üllőjéből indulnak ki, ezért – oldalról nézve – legtöbbször a zivatarfelhő két szélén látható. A lidércek tehát valamivel nagyobb eséllyel figyelhetők meg a zivatar két széle fölött. Fontos, hogy a lidércek nem közvetlenül a felhő fölött jelennek meg, hanem jóval távolabb, mintegy 40–60 km-es magasságban. E területet legegyszerűbben úgy találhatjuk meg az égbolton, ha kinyújtjuk kezünket a zivatar felé és a horizonttól fölfelé két arasznyi távolságot mérünk. A második araszunk jelöli az égbolt azon területét, ahol a lidércek megjelenésére számíthatunk.

Fényképezésük

A vörös lidércek fényképezése speciális technikát igényel. Mivel éjszaka, gyenge fényviszonyok mellett fotózunk, ezért elengedhetetlen a stabil állvány és a távkioldó. Rögzített gyújtópontú, nagy fényerejű objektívet használunk, hiszen a vörös lidérc gyenge fényerejű jelenség. Az objektív legnagyobb rekesznyíláson f1.4, f2.0 fényerőt kell biztosítani. Ennél gyengébb fénygyűjtőképességű objektívek már nem adnak értékelhető

képet. A megfelelő látószög beállításához 20–40 mm közötti gyújtótávolságú objektívet válasszunk, ennek látószöge lefedi az égen azt a tartományt, amelyen belül a jelenség megjelenhet. A fényképezőgép érzékenységét legalább ISO800-ra célszerű állítani, ez a legtöbb digitális gépnek nem jelent gondot. A fényképezőgépet állíthatjuk sorozatfelvételtre is, néhány másodperces expozíciós idővel. Utóbbi megválasztásánál a háttér fényessége szab határt. A nagy fényérzékenység és a több másodperces expozíciós idő miatt különösen fontos, hogy a közelben ne legyenek fényforrások, lehetőség szerint fényszennyezéstől mentes területen fényképezzünk. Ha az expozíciós idő alatt túlságosan kifényesedik a háttér, akkor a lidérc elveszik benne és nem fog látszani a fényképen.

Hazai észlelésük

A vörös lidércek észlelése nem könnyű feladat, idén azonban sikerült őket hazánkból szabad szemmel megfigyelni, sőt több színes fénykép is készült róluk. 2011. június 23-án az esti órákban egy hidegfront előtt zivatarok alakultak ki a nyugati országrészben. Ezek lassan haladtak észak-keleti irányba, és fél tíz körül már a Balaton fölött tartózkodtak. A zivatarokban előforduló villámok száma nem volt sok, mindössze 5000 kisülést regisztrált óránként az Országos Meteorológiai Szolgálat. Két tényező azonban különösen jónak mutatkozott aznap este. A levegő nagyon tiszta volt, a pár nappal korábbi hidegfront kisöpörte a fülledt, poros levegőt a Kárpát-medencéből. A legnagyobb zivatar, bár nem volt túl heves, hol gyengült, hol pedig erősödött, és az átlagosnál több lecsapó villám volt benne. Este fél tízkor még nem volt teljesen sötét, mikor az első lidérceket sikerült megfigyelnem és lencsevégre kapnom Bajáról, alig több, mint 100 km távolságból (*címkép*). A sok pozitív lecsapó villámnak köszönhetően a következő fél órában hat alkalommal tudtam észlelni és fényképezni a jelenséget. A felvillanásokat jól lehetett látni, színük, részleteik egyértelműen kivehetők voltak. Nagysebességű kamerák felvételeiből tudjuk, hogy a lidércek fentről lefelé terjednek, azonban e mozgást szabad szemmel nem lehetett látni. A mozgalmal fél óra után az észlelőponthoz közelebb is kialakultak zivatarcellák, gyorsan beborult az ég, így a megfigyelést nem tudtam folytatni.

Vörös lidércek megfigyeléséhez több feltétel megléte szükséges, amelyek egy zivatarszezonban néhány alkalommal biztosan fennállnak. Érdemes ilyenkor eltölteni néhány órát a csillagos ég alatt, kis szerencsével a zivatar ritka és különleges kísérő jelenségét, a vörös lidércet is megfigyelhetjük.

Szerkesztőség: 1121 Budapest, Konkoly Thege Miklós út 29–33., 31. épület, II.emelet, 315. szoba, Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Telefon/fax: (1) 201-8682

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

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

Kéziratokat nem őrizzük 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 egyezményen.

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

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

A XXI. ÖVEGES JÓZSEF ORSZÁGOS FIZIKAVERSENY DÖNTŐJE

Csákány Antalné, Budapest
Juhász Nándor, Szeged
Ósz György, Győr
Vida József, Eger

Az Öveges József Fizikaverseny kiírója és rendezője az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Általános Iskolai Oktatási Szakcsoportja. Kilenc éve társrendező Győr-Moson-Sopron Megye Közgyűlése, Győr Megyei Jogú Város Polgármesteri Hivatala, Győr-Moson-Sopron Megye Pedagógiai Intézete. Nyolc éve a Kazinczy Ferenc Gimnáziumban dől el, hogy az Öveges József Fizikaverseny döntőjében kik a legjobbak. Hagyományainkhoz híven az országos döntőre meghívást kaptak a határainkon túl fizikát magyar nyelven tanuló diákok legjobbjai is. A 72 hazai versenyző mellett Erdélyből és a Partiumból (Romániából) 4, Csallóközből (Szlovákiából) 3, Vajdaságból (Szerbiából) 2 versenyző érkezett.

A verseny fővédnökei *Göncz Árpádné* (akinek nagybátyja volt *Öveges József*) és a Magyar Innovációs Szövetség.

Az országos döntő a versenyzők számára ebben az évben is térítésmentes volt. A Nemzeti Erőforrás Minisztérium és a szponzorok anyagi támogatása, a Szakcsoport vezetése, a versenybizottság és a helyi szervező kollégák hathatós segítsége mind hozzájárult a sikeres lebonyolításhoz.

A verseny krónikája

A versenyzők 2011. május 27-én (pénteken) érkeztek. A regisztráció színhelyén tartalmas poszterek mutatják be *Eötvös Loránd* életét és munkásságát, amelyeket *Plósz Katalin* tanárnő nagyon alapos kutatómunkával állított össze.

Az ünnepélyes megnyitóra a győri Széchenyi István Egyetem Varga Tibor Zeneművészeti Intézetének dísztermében, a gyönyörűen felújított egykori zsinagógában került sor. A díszelnökségben foglalt helyet: *Kádár György*, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat főtítkárhelyettese, *Szakács Imre*, Győr-Moson-Sopron Megye Önkormányzatának elnöke, *Széles Imre*, a Győr-Moson-Sopron Megyei Pedagógiai Intézet igazgatója, *Kiss Gyula*, a Versenybizottság társelnöke, *Lévainé Kovács Róza*, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Általános Iskolai Oktatási Szakcsoportjának elnöke, *Németh Tibor*, a Győri Kazinczy Ferenc Gimnázium igazgatója, *Hadházy Tibor*, a Nyíregyházi Főiskola főiskolai tanára, a zsűri elnöke és *Vida József*, az egri Eszterházy Károly Főiskola főiskolai tanára, a versenybizottság elnöke.

A megnyitó ünnepély programját *Ósz György*, a versenybizottság titkára vezette, aki név szerint köszöntötte a megjelent magas rangú vendégeket, a közönség so-

raiban helyet foglaló *Csákány Antalné*, a Szakcsoport korábbi elnökét, a versenyzőket és felkészítő tanáraikat. Örömmel jelentette be, hogy a 9. Európai Unió Természettudományos Diákolimpián a két magyar aranyérmes csapatban volt három olyan tanuló, akik korábban az Öveges-verseny döntőjében is szerepeltek.

A verseny egyik fővédnöke, *Göncz Árpádné* versenyzőkhöz, felkészítő tanárokhoz és szervezőkhöz írott levelét *Fülöp Viktorné* olvasta fel. Ezt követően a megnyitóünnepség résztvevői egy Liszt-zongoraművet, majd egy Vajda János verset hallgathattak meg. Ezután *Hoffmann Rózsa*, a Nemzeti Erőforrás Minisztérium oktatásért felelős államtitkára versenyzőkhöz szóló köszöntő szavait olvasta fel *Horváthné Fazekas Erika* tanárnő, a Szakcsoport vezetőségének tagja.

A megnyitó ünnepség folytatásaként *Németh Tibor*, a Győri Kazinczy Ferenc Gimnázium igazgatója jó házigazdaként kívánt minden versenyzőnek sikeres szereplést és kellemes győri emlékeket, majd *Kiss Gyula*, a Versenybizottság társelnöke az ELFT Általános Iskolai Oktatási Szakcsoportja nevében köszöntötte a megjelenteket. Röviden értékelte a verseny eddigi történetét és hasonlóan sikeres folytatást kívánt a következő évekre is mind a szervezőknek, mind a versenyzőknek. Ezt követően *Kádár György*, az ELFT megújult vezetősége nevében köszöntötte a tanulókat. Reményét fejezte ki, hogy a mostani versenyre való felkészülési munkát folytatni fogják a középiskolában is, és négy év múlva az egyetemek fizika szakára vagy a műszaki egyetemre jelentkezők között is találkozik majd a nevükkel. Az üdvözlő szavak után *Szakács Imre*, a Győr-Moson-Sopron Megyei Közgyűlés elnöke hivatalosan is megnyitotta az országos döntőt.

A megnyitó után a versenyzők és kísérőik a helyi kollégák vezetésével sétát tettek a történelmi belvárosban, megtekintették a Káptalan domb épületegyüttesét és a bazilikát, majd a Széchenyi téren, *Czuczor Gergely* és *Jedlik Ányos* kettős szobránál koszorút helyeztek el. Ezt követően a *Czuczor Gergely* Bencés Gimnáziumban megcsodálták a *Jedlik*-kiállítást, ahol még ma is működő találmányokkal találkoztak a kis fizikusok.

Este a zsinagógában nagy sikerű hangversenyt adtak a Széchenyi István Egyetem Varga Tibor Zeneművészeti Intézetének ütős hallgatói, majd az épület történetéről, művészi értékéről és a *Vasilescu* modern képzőművészeti állandó gyűjteményről (20. századi modern magyar festészet válogatott darabjairól) *Varga Balázs* tárlatvezető adott érdekes, színes ismertetést.



Tóth Pál tanár úr „áldozata”

2011. május 28-án 8 órakor kezdődött a verseny. A döntő feladatait Vida József és Csákány Antalné (Budapest) állították össze, a kísérleti feladatot *Janóczki József*, a fizikátörténeti feladatot *Ősz György* készítette, a lektorálást *Hadházy Tibor* és *Molnár Miklós* végezték.

Délelőtt, az első fordulóban a gondolkodtató tesztekre és a két összetett, számolást is igénylő feladat megoldására került sor. Amíg a versenyzők a kitűzött feladatokkal foglalkoztak, addig Lévainé Kovács Róza, Kiss Gyula és Horváthné Fazekas Erika a felkészítő tanárokkal beszélgetett a verseny jövőjéről, a következő évek versenyének terveiről, lebonyolításáról.

Ebéd után az önállóan elvégzendő kísérlet, a fizikátörténeti feladatsor, és a helyszínen bemutatott kísérlet elemzése várt még a versenyzőkre.

A verseny befejezése utáni az Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet munkatársai figyelemfelkeltő műszeres bemutatót tartottak: *Kovács Péter* és *Kiss Márta* a gravitációs tér erősségének méréséről, *Csontos András* a mágneses elhajlásról, *Nagy Attila* a radioaktív sugárzásról beszélt, *Pattantyús-Ábrahám Miklós* a

földradar módszert mutatta be. Néhány eszközt láthatunk: gradiométert, földinduktort, majd egy gamma-detektort is bemutattak működés közben.

Este, a vacsora után a Révai Gimnázium dísztermében folytatódott a verseny izgalmainak levezetése. *Antos László*, a Magyar Innovációs Szövetség ügyvezető igazgatója néhány fotóval illusztrálta a magyar fiatalok tudományos sikerét, akik az ifjúsági innovációs verseny díjazottjaiként nyerték el a jogot, hogy külföldi természettudományos versenyeken képviseljék hazánkat. Biztatta a jelenlevőket, hogy a jövő évi versenybe kapcsolódjanak be.

Ezt követte az a FIZIBUSZ kísérleti bemutatója, amit *Tóth Pál* tanár úrnak és az ELMŰ-nek köszönhetünk. Az egész napi feszültségek oldásához hatásosnak bizonyult ez a bemutató. A versenyzők és felkészítő tanáraik fáradtságuk ellenére nagy figyelemmel kísérték minden kísérletet, emlékezetes élményekkel gazdagodtak és nagy tapsal köszönték meg a bemutatót.

Az eseménydús nap végére a zsűri is befejezte munkáját. Számítógépes adatrögzítéssel, feldolgozással elkészült a ranglista.

2011. május 29-én, vasárnap a Győr-Moson-Sopron Megyei Közgyűlés dísztermében került sor az ünnepélyes eredményhirdetésre. Az ünnepség díszelnökségében foglalt helyet *Kroó Norbert* akadémikus, az ELFT elnöke, *Göncz Kinga*, az Öveges-család képviselőjében, *Széles Imre*, a Győr-Moson-Sopron Megyei Pedagógiai Intézet igazgatója, Győr Megyei Jogú Város képviselőjében *Rózsavölgyi László*, a Kulturális Oktatási és Sport Bizottság elnöke, *Antos László* MISZ igazgató, *Németh Tibor*, a győri Kazinczy Ferenc Gimnázium igazgatója, *Hadházy Tibor*, a zsűri elnöke és *Vida József*, a versenybizottság elnöke, valamint *Lévainé Kovács Róza*, a Szakcsoport elnöke.

A Kazinczy Ferenc Gimnázium tanulói részleteket olvastak fel Eötvös József és Eötvös Loránd levelezéséből, majd *Horváthné Fazekas Erika*, a Szakcsoport vezetőségi tagja *Szent-Györgyi Albert* gondolatait idézve nyitotta meg az ünnepséget.

Hogyan szerepeltem? – a záróünnepség



Kroó Norbert, az ELFT elnöke adja át a díjat.



Kró Norbert akadémikus köszöntőjében a verseny találó névválasztásáról, Öveges József személyéről, felejtethetlen kísérletezéseiről beszélt, és annak fontosságáról, hogy minél korábban be kell vezetni a fiatalokat a tudományba. Általános iskolában kell megtapasztalni a feladatok megoldásának örömet, amely további munkára, kísérletezésre ösztönöz.

A versenyt Hadházy Tibor értékelte. Megelégedettségét fejezte ki a sok szép, ötletes megoldás miatt, de szót ejtett a hiányosságokról is. A számolásos feladatokra jól felkészültek a versenyzők. A kísérlet és a kísérlet elemzése gyengébb teljesítményt mutatott. A teszt nehezebb volt az elmúlt évinél, a fizikatörténeti feladat jó megoldása sok ismeretet igényelt más tudományok területén is. Gratulált mind a 81 döntősnek eddigi sikereikhez és a fizikával való további intenzív foglalkozásra buzdította őket. Megköszönte a felkészítő tanárok munkáját, a szülők segítségét.

Kiss Gyula, a versenybizottság társelnöke szólította a díjazott versenyzőket. A 23 díjazott versenyző Kró Norbert akadémikustól, az ELFT elnökétől vehette át a Hoffmann Rózsa oktatásért felelős államtitkár által aláírt okleveleket és a jelentős jutalmakat.

A különdíjak közül kiemelendő Göncz Kinga Európai Parlamenti képviselő ajándéka. Egy hosszú hétvégére Brüsszelbe vagy Strasbourgba, az Európai Parlamentbe hívta meg a legkisebb településről érkezett tanulókat és tanárukat. Következett a tizenegy támogató által felajánlott díjak kiosztása, amit tizenhat tanuló és tizenhat felkészítő tanár vehetett át. Összességében a versenyzők közel fele részesült valamilyen elismerésben.

Zárszóként Rózsavölgyi László Győr Megyei Jogú Város Önkormányzata és a vendéglátók nevében búcsúzott.

Ebben az évben sem lehetett volna megszervezni a versenyt az iskolákban lelkesen dolgozó, nagy hivatástudattal rendelkező és elkötelezett fizikatanárok, az intézmények érdekeit jól képviselő, a tehetséges tanulók fejlődését szem előtt tartó igazgatók, a

Feladatmegoldás közben



megyei bázisiskolák hathatós közreműködése nélkül. Köszönet illeti áldozatos munkájukat. A ma fizikából versenyző fiatalok lesznek a jövő kutatói, fejlesztőmérnökei és felelős döntéseket hozó állampolgárai, józan, megfontolt gondolkodásukon és tevékenységükön múlik a nemzet jövője, gazdaságának fejlődése.

A XXI. Öveges József Országos Fizikaverseny szervezésében, lebonyolításában a fentebb említettek kivül az alábbi kollégák voltak a közreműködők: *Antoni Istvánné, Czinke Sándor, Csátóné Zsámbéki Ildikó, Gesztesi Péterné, Gesztesi Péter, Halász Tibor, Horváthné Perger Zsuzsanna, Jubász Nándorné, Jubász Nándor, Kleizerné Kocsis Mária, Krakó László, Nikházy Lászlóné, Pál Zoltán, Pápai Gyuláné, Poócza József, Szénási Istvánné, Kukorelliné Szabó Mónika, Nagy Zsigmondné, Szabó Miklós, Tasi Zoltánné, Tóth Zsuzsanna, Varga István, Várbegyi Lászlóné, Vidáné Papp Csilla, Wernerné Pöheim Judit, Wöller Lászlóné.*

A verseny első fordulójának feladatsorát *Pápai Gyuláné* és *Zátonyi Sándor*; a második forduló feladatsorát Csákány Antalné és Vida József készítette.

(A verseny részletes leírását és a feladatsorokat tartalmazó kiadvány a Társulat titkárságán megvásárolható. Itt tekinthetők meg a beszámolóban nem közölt fizikatörténeti feladatok is.)

Kitűzött feladatok

Tesztek

Az első 12 feladatnál az igaz állítások betűjelét karikázd be, a hamisakét húzd át! Az utolsó tesztnél ezzel ellentétesen járj el! Minden helyes válasz 1 pontot ér. Így a tesztekre összesen 54 pontot kaphatsz, ha minden válaszlehetőség igaz vagy hamis voltáról jól döntesz.

1. feladat

- Az autó sebességmérő órája az autó pillanatnyi sebességét méri.
- A fürdőszobamérleg testünk tömegét méri.
- Egy ellenállás két vége között akkor van feszültség, ha áram folyik át rajta.
- A hőmérsékletmérés pontossága szempontjából nem mindegy, hogy mekkora a hőmérő tömege.

2. Egy kétágú közlekedőedénybe higanyt töltünk, majd az egyik szárát lezárjuk.

- Lehet, hogy mindkét szárban azonos magasságban vannak a higanyszintek.
- Biztos, hogy mindkét szárban azonos magasságban vannak a higanyszintek.
- Ha a közlekedőedény szárainak nem azonos a keresztmetszete, akkor semmilyen körülmények között nem lehetnek azonos magasságban a higanyszintek.
- Ha a közlekedőedényt a földszintről felvisszük a III. emeletre, akkor a zárt szárban megemelkedik a higanyszint.

3. feladat

a) Elektromos töltéseket például úgy állíthatunk elő, hogy puha ronggyal megdörzsölünk egy műanyag rudat.

b) Termikus kölcsönhatás közben annnyival nő az egyik test energiája amennyivel csökken a másiké.

c) Termikus kölcsönhatás közben annnyival csökken az egyik test hőmérséklete amennyivel nő a másiké.

d) Lehet, hogy a termikus kölcsönhatás közben annnyival csökken az egyik test hőmérséklete amennyivel nő a másiké.

4. Hosszú zsinórra 4 kicsiny fémgolyót erősítünk. A zsinórt függőlegesen tartjuk úgy, hogy a legalsó golyó a talajon legyen. Elejtve a zsinórt a golyók egyenletes kopogását halljuk, ha a golyók talajtól való távolsága:

a) 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm;

b) 5 cm, 20 cm, 45 cm, 80 cm;

c) 5 cm, 10 cm, 20 cm, 40 cm;

d) soha nem hallhatunk egyenletes kopogást ilyen körülmények között.

5. Zsuzsi szeme olyan helyzetben van, hogy az átlátszatlan magas falú edény alján lévő korongot nem látja. Ha azonban vizet öntünk az edénybe, akkor, annak ellenére, hogy Zsuzsi nem mozdította meg a fejét, és senki nem nyúlt se az edényben lévő koronghoz, se az edényhez, Zsuzsi mégis meglátja a korongot. Hogyan lehetséges ez?

a) Sehogy.

b) Csoda történt.

c) A korongból induló fénysugár a vízből való kilépéskor úgy törik meg, hogy Zsuzsi szemébe jut.

d) Zsuzsi szeméből induló fénysugár eljut a koronghoz.

6. Egy vezetős szakaszon átfolyó áram erőssége 10-ed részére csökken. Mi lehet az oka?

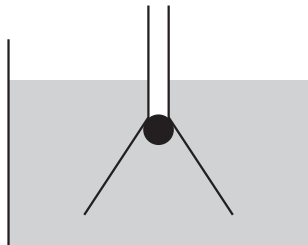
a) A vezetős szakasz ellenállása 10-szeresére nőtt.

b) Csökkent a vezetős szakasz hőmérséklete.

c) 10-szeresére nőtt a vezetős szakaszra jutó feszültség.

d) 10-edére csökkent a vezetős szakaszra jutó feszültség.

7. Folyadékban lévő, lefelé fordított tölcsérben egy golyó van. A golyó fölött levegő, alatta a folyadék. Ha a golyó jól elzárja a folyadék feláramlását a tölcsér szárába, a golyó nem esik ki a tölcsérből. Ezt annál könnyebb létrehozni, minél



a) kisebb súlyú a golyó;

b) nagyobb a folyadék sűrűsége;

c) nagyobb a tölcsér szárának keresztmetszete;

d) hosszabb a tölcsér szára.

e) nagyobb a légnyomás;

f) mélyebbre nyomjuk a tölcsért a folyadékban.



Túl a 8. feladaton

8. Egy asztal szélére helyezett vonalzónak körülbelül a fele túlnyúlik az asztal szélén. Ilyenkor viszonylag kis erővel lebillenthető az asztalról. Ha azonban a vonalzó az asztalon lévő részére ráborítunk egy nagy felületű papírt, például egy szétnyitott újságot, és úgy sújtunk le a vonalzó asztalon túlnyúló részére, akkor előbb törik el a vonalzó, mint ahogy lebillenne az asztalról.

a) Csak akkor törik el a vonalzó, ha elég gyors az ütés.

b) Az ütés sebességének nincs szerepe a jelenség létrejöttében.

c) Fontos, hogy minél nagyobb felületű legyen a vonalzót leborító papír.

d) A légnyomásnak fontos szerepe van a jelenség létrejöttében.

9. Egy felfüggesztett rugóra ráakasztunk egy 50 g tömegű piros golyót, a golyóra pedig egy 10 cm hosszú fonálon egy 100 g tömegű zöldre festett vasdarabot.

a) A rugó 1,5 N erővel húzza a felfüggesztést.

b) A rugót 0,5 N erővel húzza a golyó.

c) A golyót 1,5 N erővel húzza a vasdarab.

d) A vasdarabra ható eredő erő 0.

10. Egy 40 cm hosszú merev fémhuzal bal oldali végéből 10 cm hosszú darabot visszahajlítunk.

a) Eredetileg a közepén kellett alátámasztani ezt a fémhuzalt, hogy egyensúlyban legyen. A bal oldali végének visszahajlítása után az alátámasztási helyet jobbra kell csúsztatni, ha ismét egyensúlyba akarjuk hozni a fémhuzalt.

b) A visszahajlítás után már sehogyan sem lehet egyensúlyba hozni a fémhuzalt.

c) A visszahajlítás után az óramutató járásnak megfelelő irányban megnő a forgatónyomaték.

d) Ha az eredeti helyén hagyjuk az alátámasztást, a visszahajlítás után a fémhuzal visszahajlított vége lebillen.

11. Elvégeztük a következő kísérletet: egy nagyobb fazékba – körülbelül a feléig – vizet töltöttünk, majd a víz-

re helyeztünk egy üres műanyag (például jégkrémes) dobozt. A dobozba két nagyobb burgonyát tettünk, amely a burgonyákkal együtt úszott a vízben. Ekkor bejelöltük a fazék belső oldalán a víz szintjét. Ezután a burgonyákat áttettük a dobozból a vízbe, amelyek – természetesen – lemerültek a fazék aljára, és figyeltük a fazék belső oldalán a víz szintjének a változását.

a) Miután a burgonyákat a dobozból áttettük a vízbe, a víz szintje a fazékban emelkedett.

b) Miután a burgonyákat a dobozból áttettük a vízbe, a víz szintje a fazékban csökkent.

c) A víz szintje az átrakás után nem változott.

d) Ha sós víz van az edényben, lehet, hogy nem változik az edényben lévő víz szintje.

12. A Nap felé közeledik egy üstökös. Az igaz állítások betűjelét karikázd be, a hamisakat húzd át!

a) A két égitest gravitációs erőt fejt ki egymásra. Ilyenkor a Napra nagyobb erő hat, mint az üstökösre.

b) Az üstökös nagyobb sebességgel közeledik a Naphoz, mint a Nap az üstököshöz.

c) Minél közelebb kerül az üstökös a Naphoz, annál nagyobb erő hat a Napra.

d) A Naphoz közeledve az üstökösre egyre nagyobb erő hat.

13. Válaszd ki és karikázd be a helytelen állítás betűjelét, az általad igaznak véltet húzd át!

a) A víz térfogata $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on a legnagyobb.

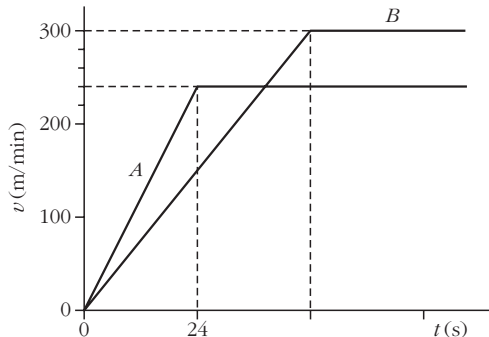
b) Határozott mennyiségű víz térfogata és sűrűsége is $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on a legnagyobb.

c) Határozott mennyiségű víz sűrűsége $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on a legnagyobb.

d) Határozott mennyiségű víz sűrűsége $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on a legkisebb.

Számolós feladatok

1. Az *ábrán* két kerékpáros mozgását ábrázoltuk, amelyek egyszerre indultak el a starthelyről ugyanazon az egyenes úton.



a) A gyorsulást követően mekkora sebességgel haladt tovább a két kerékpáros?

b) Mekkora volt a gyorsulásuk?

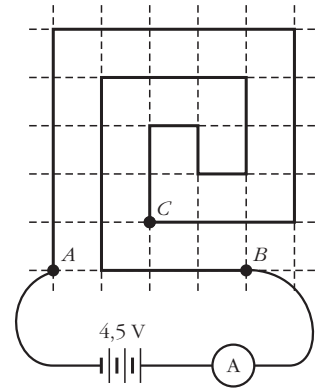
c) Mekkora utat tett meg a két kerékpáros külön-külön a gyorsulásuk időszakában?

d) Határozd meg, hogy az indulástól számítva mikor érte utol a B az A-t!

e) Mekkora utat tett meg a két kerékpáros a találkozásig külön-külön?

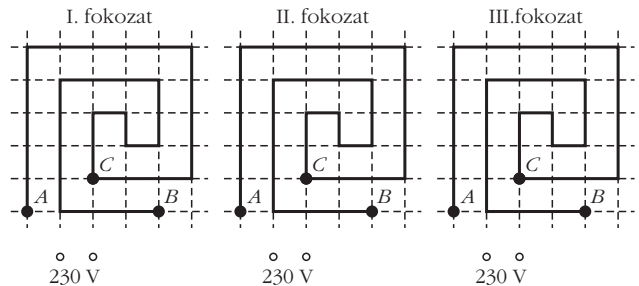
f) Az indulástól számítva mikor érte el a B az A végsebességét?

2. Jancsi a régi, már nem használt főzőlapot szét szerelte, és kíváncsiságból méréseket végzett vele. Ehhez felhasznált egy $4,5\text{ V}$ -os zsebtelepet és egy áramerősség-mérő műszert. A főzőlap fűtőszálából három ponton talált kivezetést (az *1. ábrán* *A*, *B* és *C* betűkkel jelölve). Az *A* és *B* pont között mért áramerősség 45 mA volt (a rajz e két pont közötti mérést mutatja). A kapcsológombok helyzetéből és a feliratokból kiderült, hogy korábban, a használat során a főzőlapot három különböző fokozatban lehetett működtetni.



1. ábra

a) Ismert, hogy a II. fokozat nagyobb teljesítményű, mint az I., a III. fokozaton pedig a legnagyobb teljesítményt adja le a főzőlap. Hogyan kapcsolódik a fűtőszál a hálózatra az egyes esetekben? Egészítsd ki az alábbi ábrákat a vezetékek berajzolásával!



b) Indokold, miért jelentenek különböző fokozatot, azaz különböző teljesítményt a különböző megoldások!

c) Hányszorosa a II. és a III. fokozat teljesítménye az I. fokozaténak?

Kísérleti feladat

Az asztalon találsz egy „FEKETE DOBOZ”-t. A dobozban egy ellenállásokat tartalmazó áramkört rejtettünk el. A két nyomógombos kapcsoló felhasználásával, az izzó fényerejéből levont következtetések alapján, határozd meg, milyen áramkört rejtettünk el a dobozban!

A dobozon lévő *F* és *P* betűkkel jelölt nyomógombos kapcsolók a kérdéses áramkör egy-egy helyén addig zárják az áramkört, ameddig a nyomógombot lenyomva tartjuk. Ezekkel a kapcsolókkal lehet szabályozni, hogy a dobozban lévő ellenállások közül mikor, melyikén folyjon át áram.

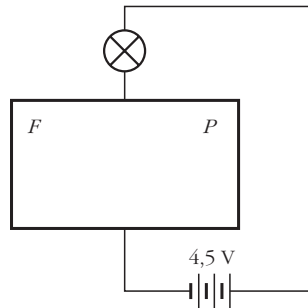


Kísérleti feladat megoldása közben

a) A kísérletek során szerzett tapasztalataidat röviden írd le (célszerű táblázatba foglalni), majd fogalmazd meg a következtéseidet!

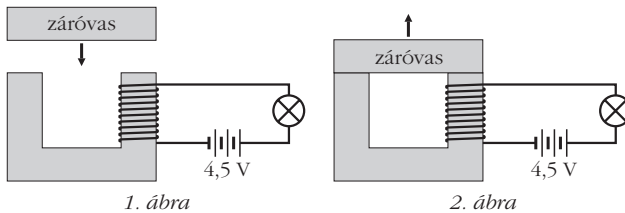
b) Tapasztalataid alapján egészítsd ki az *ábrát* a „FEKETE DOBOZ”-ban lévő áramkör kapcsolási rajzával!

c) Fentiek alapján állítsd nagyság szerinti sorrendbe a dobozban lévő ellenállásokat!



Kísérletelemző feladat

Az iskolai transzformátor U alakú vasmagján 1200 menetes tekercs van. A tekercsrel sorba kapcsolunk egy zsebizzót és egy 4,5 V-os zsebtelepet, hogy zárt áramkör jöjjön létre.



1) Figyeld meg és jegyezd fel, hogyan változik az izzó fényereje, ha a záróvasat

- ráejtjük az U vasmagra (1. *ábra*), illetve
- lerántjuk az U vasmagról (2. *ábra*)!

2) Magyarázd meg a látottakat mindkét esetben!

Díjazott versenyzők

1. díjat nyert *Öreg Botond*, a budapesti Szabó Lőrinc Kéttannyelvű Általános Iskola és Gimnázium tanulója, *Varga Zsuzsanna* tanítványa, 165,5 ponttal, továbbá szintén első díjat érdemelt

Csóka Bence (gyöngyösi Berze Nagy János Gimnázium, Szakiskola és Kollégium, *Kissné Császár Erzsébet*, 163,5)

Kiss-Illés Gergely (Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium, *Richlik-Horváth Katalin*, 162,5)

Béres András (budapesti Piarista Gimnázium, *Kiss Gergely*, 162)

2. díjat nyert *Kucsma Levente István* (egri Dobó István Gimnázium, *Hóbor Sándor*, 160)

Janczer Barnabás (Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium, *Horváth Gábor*, 158)

Szanyi Erik (budapesti Veres Péter Gimnázium, *Erdősi Katalin*, 157,5)

Berta Dénes (SZTE Juhász Gyula Gyakorló Általános Iskolája, *Horváthné Fazekas Erika*, 157)

Kátay Tamás (debreceni Fazekas Mihály Gimnázium, *Lakatos Tibor*, 156)

Leitereg Miklós (budapesti Veres Péter Gimnázium, Csaba György, 156)

Tene Gábor (tatai Vaszary János Általános Iskola, *Avramcsevné Hegedűs Ildikó*, 156)

3. díjat nyert *Tóth Adrián* (dunakeszi Radnóti Miklós Gimnázium, *Viczenecz Katalin*, *Tölgyesiné Irmes Marianna*, 155,5)

Szöke Márton (budapesti Babits Mihály Gimnázium, *Martonné Czemel Katalin*, 154)

Mézes Márton (szombathelyi Paragvári utcai Általános Iskola, *Ágoston Mária*, 152,5)

Tulassay Zsolt (Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium, Horváth Gábor, 149,5)

Szobota András (miskolci Fráter György Katolikus Gimnázium, *Bacsa Péterné*, 148)

Olosz Balázs (pécsi VKI Mezőszél utcai Általános Iskola, *Tészás Péterné*, *Sebestyén Zoltán*, 147,5)

Lukács Borbély Péter (nagykanizsai Batthyány Lajos Gimnázium és Egészségügyi Szakközépiskola, *Dénes Sándor*, 147,5)

Ez már a kísérletelemző feladat



Ordasi Gábor (budapesti Áldás Utcai Általános Iskola, Rudolf Tamásné, 147)

Virágh Anna (érdi Vörösmarty Mihály Gimnázium, Varga László, 147)

Gnandt Balázs (budapesti Árpád Gimnázium, Gärtner István, 146,5)

Kalocsai Péter (érdi Vörösmarty Mihály Gimnázium, Varga László, 146,5).

A verseny támogatói

Nemzeti Erőforrás Minisztérium, Magyar Innovációs Szövetség, Paksi Atomerőmű Zrt., Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar,

Természettudományi Kar, Villamosmérnöki és Informatikai Kar, Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, Eötvös Loránd Geofizikai Alapítvány, Soft Flow Hungary Kft. – Pécs, LSI Informatika Oktatóközpont Alapítvány, EGIS Gyógyszergyár, Universitas-Arrabona Kht., SZIE Varga Tibor Zeneművészeti Intézet, Magyar Tehetséggyógyító Társaság, Duna Takarékszövetkezet, Vermes Alapítvány – Sopron, Apáczai Kiadó, MOZAIK Kiadó, Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., IDG Hungary Kft., Élet és Tudomány Szerkesztőség, Műszaki Szemle TECHNIKA, Városi Művészeti Múzeum Győr, Vill-Korr Bt., Györlakk Kft., Tourinform Győr, Patrona Hungaricae Gimnázium – Budapest, Révai Miklós Gimnázium – Győr, Czuczor Gergely Gimnázium – Győr, Lipóti Pékség, Győri ÁFÉSZ Sütőüzem.

KÍSÉRLETEZZÜNK OTTHON!

Härtlein Károly
BME Fizikai Intézet

Számos természettudomány alapja a kísérletezés. Sajnos elegendő idő hiányában nem jut idő a tapasztalásra, és legtöbb esetben csak az elmesélés élményét viheti haza a tanuló az iskolából. Ebben a cikkben egy otthoni, több nap alatt elvégezhető kísérlet leírását tűztem ki célul, amely általános és középiskolás tanulóknak egyaránt hasznos tapasztalatot adhat.

A víz környezetünkben mindenütt megtalálható, sok érdekes tulajdonsága miatt érdemes kísérletezni vele. Egyik ilyen tulajdonsága, hogy lehűtése során a szilárd halmazállapot kialakulása közben térfogata megnövekszik. Kevés ilyen anyag van, a fémek közül még a bizmut ilyen. Ennek köszönhetően a megfagyott víz, a jég a víz tetején úszik. Ugyanez a jelenség pusztítja a hegyeket, feszíti szét a sziklákat, és ennek „köszönhető” a télire nem víztelenített vízvezetékek szétfagyása is.

A szükséges eszközök:

- 4 darab 1/3 vagy 1/2 literes ásványvizes palack (buborékos ásványvízé),
- konyhai mérleg,
- hűtőgép, mélyfagyasztási lehetőséggel.

A tennivalók

1. nap

Számozzuk meg a palackokat! Mérjük meg a tömegüket, és jegyezzük fel a jegyzőkönyvbe (lásd a *táblázatot*)! A 1. sorszámú palackot töltsük meg vízzel (csaphőmérsékletű), ügyelve arra, hogy buborékmentesen legyen tele! Ezt úgy érhetjük el, hogy vízben elmerítjük mind a kupakot, mind a palackot, és a víz alatt csavarjuk rá a kupakot a palackra. Ügyeljünk arra, hogy a palackot ne horpasszuk be miközben a kupakot rácsavarjuk! Mérjük meg a vízzel teli palack tömegét és ezt is jegyezzük fel a jegyzőkönyvbe! Ezután tegyük be a mélyfagyasztóba!

2. nap

Vegyük ki a megfagyott vizes palackot, és hasonlítsuk össze egy még eredeti állapotban lévő palackkal! Csapvíz hőmérsékletű vízben olvasszuk ki a jeget, és ismét töltsük meg az első napi módon! Mérjük meg a tömegét és jegyezzük fel! Töltsük fel a 2. sorszámú palackot is, mérjük meg a tömegét, majd azt is rögzítsük a jegyzőkönyvben! Helyezzük el a két palackot a mélyhűtőben!

3. nap

Vegyük ki a palackokat, rakjuk sorba és figyeljük meg az alakjukban bekövetkező változásokat! Csapvíz hőmérsékletű vízben olvasszuk ki a jeget az 1. és 2. palackból! Ismét töltsük meg őket az első napi módon! Mérjük meg a tömegeiket és jegyezzük fel! Töltsük fel a 3. sorszámú palackot is és mérjük meg a tömegét, majd azt is rögzítsük a jegyzőkönyvben! Helyezzük el a három palackot a mélyhűtőben!

Már egy nap után szembetűnő az alakváltozás.



	1. palack tömege üresen	2. palack tömege üresen	3. palack tömege üresen	4. palack tömege üresen
	1. palack tömege vízzel	2. palack tömege vízzel	3. palack tömege vízzel	4. palack tömege vízzel
1. nap		–	–	–
2. nap			–	–
3. nap				–
4. nap				
5. nap				

4. nap

Vegyük ki a palackokat, rakjuk sorba és figyeljük meg az alakjukban bekövetkező változásokat, és hasonlítsuk össze egy még eredeti állapotban lévő palackkal! Csapvíz hőmérsékletű vízben olvasszuk ki a jeget az 1., 2. és 3. palackból! Ismét töltsük meg őket

az első napi módon! Mérjük meg a tömegeiket és jegyezzük fel! Töltsük fel a 4. sorszámú palackot és mérjük meg a tömegét, és azt is rögzítsük a jegyzőkönyvben! Helyezzük el mind a négy palackot a mélyhűtőben!

5. nap

Vegyük ki a palackokat, rakjuk sorba és figyeljük meg az alakjukban bekövetkező változásokat, és hasonlítsuk össze egy még eredeti állapotban lévő palackkal! Csapvíz hőmérsékletű vízben olvasszuk ki a jeget mind a négy palackból! Ismét töltsük meg őket az első napi módon! Mérjük meg a tömegeiket és jegyezzük fel!

A kiértékelés

A mérést kiegészíthetjük fényképekkel, amelyek mérési eredményeket nem fognak szolgáltatni, de jól mutatják, hogy a víz miként „hízalja” meg a palackjainkat. Ábrázoljuk a palackok térfogatának növekedését a napok függvényében!

KÖNYVESPOLC

Almár Iván: KOZMIKUS TÁRSKERESŐ

Exobolygók, asztrobiológia és SETI a XXI. században

Kossuth Kiadó Zrt., Budapest, 2011, 191 oldal

A szerző legújabb könyve a címben szereplő roppant izgalmas téma aktuális aspektusait és eredményeit tárgyalja a tőle megszokott olvasmányos, logikus, alapos és szakszerű módon. Jelen könyve szerves folytatása e témában korábban megjelent munkáinak (*A SETI szépsége*, 1999, *Ha jövő, akkor világűr*, 2007). A félszáz éves kutatásnak ma már könyvtárnyi irodalma és számtalan részterülete van, tudománnyá vált, és régen túlnőtt a sci-fi világán.

A könyv három nagy témakör köré csoportosítja mondanivalóját: (1) Föld-szerű exobolygó(k) keresése, (2) földitől független életformá(k) utáni kutatás és (3) intelligens kozmikus technikai civilizációval való kapcsolatteremtés (SETI). A szerző e hármast a „SETI+” névvel jelöli. Nagy hangsúlyt fektet arra, hogy tisztázza az alapfogalmakat, és hogy világosan megmagyarázza, hogy ő (illetve mások) mit értenek az egyes fogalmakon, definíciókon; mennyire fontos, hogy „egy nyelven” beszéljünk.

A munka 6 fejezetre (*Bevezetés; Bolygót a bolygóhoz; Életet az élethez; Értelmet az értelemhez; Halló! Hát nincs ott senki?; Befejezés*) és egy függelékre tagolódik. Almár Iván könyvét több személyes él-

ménnyel is tarkítja: leírja részvételét és szerepét a SETI-vel foglalkozó különböző nemzetközi bizottságokban, szervezetekben, közvetlen kapcsolatait a téma világhírű művelőivel (*F. Drake, D. Brin, S. Shostak, P. Shuch, J. Tarter, B. Oliver, R. Bracewell, J. Billingham, A. Zajcev, Marx Gy.* és mások). Több magyar kutató jelenleg is eredményesen dolgozik a különböző – a „SETI+”-hoz kapcsolódó – programokban, itthon és külföldön egyaránt.

A második fejezetben részletes összefoglalót kapunk az *exobolygók* felfedezésének módszereiről (spektroszkópiai, fotometriai és asztrometriai módszer, gravitációs-lencse-hatás, direkt leképzés), ezek használhatóságáról. Tény, hogy e módszerekkel – 1995–2011 között – körülbelül 1500 exobolygót sikerült felfedezni, köztük Föld típusú kőzetbolygókat is. A Föld igazi „ikertestvérére” („Föld 2.0 verzió”) azonban eddig még nem akadtunk rá.

A harmadik fejezet a *Földön kívüli élet* kérdését boncolgatja. Az élet definíciója azonban igen nehéz. A szerző rámutat arra, hogy az *asztrobiológia* nem ragadhat le a földi típusú élet keresésénél, amely első sorban a szén, hidrogén, nitrogén, oxigén, foszfor,

kén elemekre épül (CHNOPS-csoport). A „keresd a vizet, a CHNOPS-csoportot és a kellemes meleget” elv jónak látszik, de léteznek a Földön is *extremofil* organizmusok, amelyek hihetetlen szélsőséges körülményeket képesek igen hosszú ideig elviselni. Talán a „keresd az ammóniát és az arzént” stratégia is jó lehet – erről semmit sem tudunk. Esetleg életet találunk a Marson vagy az óriásbolygók egyik-másik holdján (akár metán-etán környezetben). Az élet jelenlétére utaló *biomarkerek* meghatározása és felkutatása ezért igen fontos. Sok vita tárgya a korábban elterjedt *lakható zóna* értelmezése is, hiszen egy bolygó felszíni hőmérséklete nagyon sok tényező függvénye (csillag színképtípusa, a tőle való távolság, bolygóléggör összetétele, felszíni nyomása, bolygótömeg, árnyék- és radioaktív fűtés, vulkánosság, felszíni vagy az alatti víz-, vagy szénhidrogén-óceánok stb.). A Naprendszeren belül kiemelten vizsgálándók a „Föld-analóg helyek”, például a Mars (ahol egészen biztosan volt víz és még mindig van) vagy az Europa és Enceladus holdak. Az élet szempontjából figyelmet érdemel a *pánspermia-elmélet* (S. Arrhenius, F. Hoyle, C. Wickramasinghe), amely a földi (és esetleg más) életet például üstökösök által szállított *kozmosz import*nak tekinti. Az azonban bizonyos, hogy a Földön kívüli élet cáfolhatatlan bizonyítékát még nem találtuk meg. Fontos hangsúlyozni, hogy a biomarkerek és a *technomarkerek* keresése eltérő technikát és stratégiát jelent; esetleges felfedezésük is eltérő jelentőségű.

A negyedik fejezet a *kozmosz intelligencia* kérdéseivel foglalkozik. Ez persze lehet hús-vér élőlény, *humanoid* (ha nem is szén alapon szerveződött) vagy *gondolkodó gép*. Mi is az intelligencia? Szükségszerűen létrejön-e, ha az élet kialakult? Igazából *technikai civilizációt* keresünk az Univerzumban, amely *elektromágneses* (rádió-, optikai) jeleket sugároz, mégpedig hosszú ideig. A küldött jelnek persze egyértelműen ki kell „fénylenie” környezetéből; az adott, igen keskeny (0,1–1 Hz) frekvenciasávban fényesebbnek kell lennie csillagánál, és feltűnő információtartalmat kell hordoznia (ezek a hagyományos SETI-programok). A jelenlegi programok közül kiemelkedik a SETI Institute 2005 óta folyó ATA (Allen Telescope Array) programja (Hat Creek Observatory, CA, USA), amely végső kiépítésében 350, egyenként 6,1 méteres összekapcsolt antennát tartalmaz majd, 10 000 m² (körülbelül 1,5 futballpálya) összfelülettel, amelyek a 0,5–11 GHz tartományban körülbelül 1 milliárd csatornát monitoroznak. A kiválogatott célcillagok (az úgynevezett *habstarok* = habitable star = *lakható zónájú csillagok*) száma több ezer. A projekt összköltsége >26 millió USD. Sajnos az anyagi források egy részét a NASA és a Nemzeti Tudományos Alapítvány (NSF) befagyasztotta. A könyv megjelenése utáni friss hír (2011. augusztus 15.): „A SETI Institute



magánadományoknak (200 ezer USD) köszönhetően ismét kutathatja az intelligens élet nyomát az intézet (egyelőre) 42 antennás rádióteleszkópjával.” A szerző megemlíti, hogy létezik egy SKA (Square Kilometer Array) nevű terv is, amely lényegében az ATA továbbfejlesztett, bővített változata (1 km² antennafelülettel). A kérdések és kételyek ellenére a Föld több pontján épülnek a SETI-programra specializálódott antennarendszerek, és a hatalmas földi és űrtávcsöveken (Keck, ESO VLT, CoRoT, Hubble, Spitzer, Kepler stb.) is biztosítanak valamennyi (optikai) megfigyelési időt az ilyen irányú kutatásokra.

A könyv hangsúlyos részét képezi a szerző által kidolgozott és javasolt különféle skálák (San Marino-skála [2005], Rio-skála [2000], London-skála [2010]) ismertetése. A Rio-skála egy, a SETI-témában tett felfedezés, a London-skála pedig a Földön kívüli élet felfedezésére vonatkozó bejelentés jelentőségének objektív értékelésére, számszerűsítésére szolgál. A skálák megalkotása nagy nemzetközi visszhangot váltott ki; a Rio-, illetve a San Marino-skála használatát az IAA (International Academy of Astronautics) SETI Állandó Munkacsoportja is ajánlja.

A könyv ötödik fejezete (*Halló! Hát nincs ott senki?*) a METI (vagy aktív SETI) problémáját tárgyalja; küldjünk-e

jeleket, üzenetet, vagy válaszoljunk-e egy esetleges „telefonhívásra”? Ugyanis egyre hangosabbak azok, akik szerint nemcsak fülelni kell, hanem sugározni, jelentkezni is, hiszen „ha mindenki csak hallgatózik, akkor sohasem lesz kapcsolat” (A. L. Zajcev). Egy, csupán az ajtórezen hallgatózó civilizációt soha nem fognak felvenni a Galaktikus Klubba! Korábban volt olyan nézet, hogy a híradástechnika és az űrkutatás jövőtől egy kozmikus szemlélő számára a mikro-hullámú tartományban egyre inkább látszunk, ha akarjuk, ha nem. Ez azonban napjainkra változott a digitális technika és a keskeny nyalábban történő, célzott sugárzás miatt – a rádiótartományban már nem vagyunk olyan „ragyogók”, mint korábban. De vajon *kell-e* nekünk a kapcsolat, *kell-e* sugároznunk? *Stephen Hawking* nagyon óvatos. 2010-es véleménye az, hogy *nem kell, sőt veszélyes* (lehet) az *aktív* SETI. Jobb stratégia, ha hallgatunk és meglapulunk, mert ha kiabálunk, akkor esetleg még meghallja „valaki”, és abból igen nagy baj származhat a Homo sapiensre és a Földre. („Az idegenek szinte biztosan léteznek, de az emberek kerüljék el a kapcsolatot velük!”). Zajcev ezt az aggodalmat „METI-fóbiá”-nak nevezi.

Az ötletek 200 éves múltra tekintenek vissza, de – hitelt érdemlően – az első bináris rádiójeleket csak 1974-ben indították útjára Arecibóból (3 TW, 2,38 GHz, körülbelül 3 perc). A XX. század végétől megsaporodtak a kontrollálatlan üzenetküldések a csillagok felé, bár összességében alig érték el a félszáz órát. Vita tárgya, hogy bármely üzenetküldésre vagy

csak konkrét válasz tartalmára vonatkozzon-e szigorú nemzetközi kontroll, hiszen nagyon nem mindegy, hogy mosóporreklámot, a π értékét, a prímszámok sorozatát, vagy a finomszerkezeti állandót sugározzuk-e feltételezetten okos társainknak. Zajcev METI-párti, Michaud viszont óvatosságra int, és alapos haszon/kockázatelemzést javasol – ezt az álláspontot és a SETI folytatásának szükségességét képviseli a szerző is („Valóban csak a SETI az, amit az Univerzum kutatásának tartok, a METI egy rövid és céltalan kiáltás az ismeretlen kozmoszba, amelynek hangja szerintem fokozatosan elhal.” Almár Iván).

Mások éles kritikával illetik a futó programokat, és a korábbiól gyökeresen eltérő SETI-stratégiában gondolkodnak. Időközben a híres, fél évszázados *Drake-formula* is túlhaladottá vált; rájöttünk, hogy tényezőinek nem csupán értéke, hanem értelmezése is bizonytalan. A híres *Fermi-paradoxon* kapcsolatban („Hol vannak a többiek?”) tény, hogy eddig még nem találtunk senkit. De a „bizonyíték hiánya nem jelenti a hiány bizonyítékát”; a „Nagy Csönd” egyáltalán nem verifikálja, hogy egyedül vagyunk az Univerzumban. Magyarozatára sok válasz született (például tényleg egyedül vagyunk, vannak társaink, de még nem fedeztek fel bennünket, nem vagyunk elég érettek a kapcsolatfelvételre). Ezek egyike-másika tetszetős, de igazából nem tudunk semmit. A szerző is felveti: nem biztos, hogy jókor, jó irányban, jó frekvencián, jó stratégiával kutakodunk, és 50 év semmi az Univerzum életében. *P. Morrison* szerint: „a siker esélyeit nehéz meghatározni, ám ha sohasem kutatunk, esélyeink a nullával egyenlők”.

A hatodik, befejező fejezet a szerző körkérdésére a témával foglalkozó szakemberektől beérkezett válaszokat, véleményeket ismerteti. Ilyenek: az életet kell először megérteni, az ATA-projekt téves, az ATA-program bővítendő, a METI veszélyes, tovább kell kutatni az exobolygókat és légkörüket, túl „hangosak” a szkeptikusok, fontosak a különféle skálák, tovább kell fejleszteni a SETI- és METI-programokat és feldolgozásukat stb. Látszik, hogy a vélemények nagyon megoszlanak, és bár jelentősen felgyorsult a SETI fejlődése, áttörő eredmény nincsen. A szerző tudatában van annak is, hogy jelen könyvében számos, nagyon fontos témáról nem esik szó; felsorolja az okokat és a kimaradt témákat. A könyvet M. Michaud parafrázisával zárja: „...már azzal is beérnénk, ha a közgondolkodás kozmikus környezetünket, a közcsелеkvés pedig Földünk globális érdekeit figyelembe venné!”

A könyv függelékben ismerteti a témában született felelős petíciókat, deklarációkat (1982, 2010), valamint a szerző által megalkotott Rio-, San Marino- és London-skálákat egy-egy bejelentés értékének számszerű megítéléséről. A könyvet irodalomjegyzék, a rövidítések és szakkifejezések listája, valamint részletes név- és tárgymutató zárja. A kiadó és a nyomda is kiváló munkát végzett; a külső megjelenítés és a tipográfia méltó az értékes tartalomhoz.

A könyv szakszerű alaposággal járja körül a téma jelenlegi ismeretanyagát, és igen hasznos, kompakt olvasmány valamennyi, a Földön kívüli élet és intelligencia keresésének problematikája iránt érdeklődő számára.

Klopfér Ervin

Jürgen Neffe: ALBERT EINSTEIN IGAZ TÖRTÉNETE

Fordította: Bozsoki Anna-Mária, a 13. fejezetet Gerner József

Typotex, Budapest, 2011, 596 oldal

Albert Einstein (1879–1955) sokadik életrajzát tartjuk a kezünkben. Egyelőre annyi a feltűnő a kötet fedőlapjáról, hogy a mű német nyelven jelent meg először 2005-ben a Rowohlt Verlagnál Hamburgban, majd az angol fordítása „No. 1. nemzetközi bestseller” lett az amerikai kiadás után, sőt a *Washington Post* amerikai napilap „Az év legjobb könyvé”-nek választotta. A kézbevétele után kiderül, hogy a hatalmas terjedelmű kötet 26 sűrűn szedett oldalon hivatkozik a szövegében olvasható tények forrásaira. Ezek Einstein levelei, amiket ő írt barátainak, vagy amiket hozzá intéztek, meg idézetek műveiből, róla szóló könyvekből, utalások újságcikkekre és egyéb hivatalos iratokra. Ebből arra kell következtessünk, *Neffe* ténylegesen egy minden eddigit felülmúló szándékozott életrajzot kívánt írni, még akkor is, ha mondandóját esetenként eléggé közvetlen hangon, úgyszólván regényesen adja elő. Ezt azért tartjuk fontosnak leszögezni, mert az a benyomásunk, sok eddigi ismeretlen, legalábbis háttér-

ben maradt körülménnyel szembeállítottuk az olvasás során. Ez annak elismerése mellett értendő, hogy e sorok írója ugyan sok mindent olvasott már Einstein életéről és alkotásairól, részben különösen érdeklődve magánemberként, részben a relativitáselméletben specializálódott elméleti fizikusként az elmúlt mintegy hatvan év során, mégsem állítja (sohasem állította), hogy mindent olvasott volna ezekről a témákról. (Azt is bevallja, valahogy ingadozó lelkesedéssel nézegeti az *RTL Klub* jeles kulturális műsorszámát, amely Einstein – függőlegesen csikokra szabdalva – portréjának bevezetésével kezdődik, hangsúlyozva ezzel, mennyire jellemzőnek tartják Einsteint a szerkesztők.)

Szóval: Neffe életrajzot írt, mégpedig sajátosat. Mindjárt az elején ezt sajátos bukfenccel kezdi. A helyett, hogy „szokás szerint” a szenzációs 1905-ös esztendő publikációs aranyesőjével kezdené a tudós ifjú életének bemutatását, mindjárt az „1919: a sorsfordító

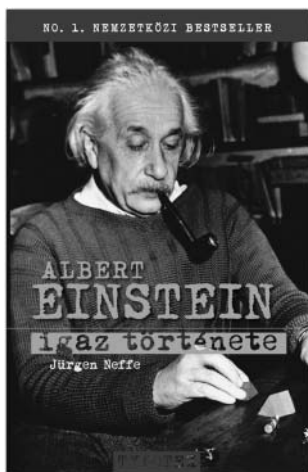
év” című fejezettel indít. Ez az esztendő azért olyan nevezetes, mert ekkor várta a háború utáni Európa a Merkúr perihélium-eltolódásában annak az ominózus évszázadonként 43 szögmásodpercet kitevő eltérésnek a kimutatását, amit nem lehetett semmiféle klasszikus zavar igazolható hatásának betudni. Életrajzírásnak hatásos lehet ez az időátrendezés, Neffe újszerű eljárása ezen a várakozó szituáción keresztül indítja az akkor 40 éves Einstein életrajzának visszaporgetését. Nem kívánjuk elemezni Neffe eljárását, sem itt kivonatolni Einstein fiatalkorának történetét, csak annyit mondanánk, hogy Neffe eljárásának megvannak az előnyei. Alkalma van a viszapillantás során azért elég részletesen leírni az Einstein-család helyzetét (az apa üzleti vállalkozása egyes német városok villanyvilágításának bevezetésére, persze az apóstól kért kölcsönrel – és éppen egyenárammal, ami garantálta a bukást). Az ifjú Einstein eleinte a szülők ipari üzemében ismerkedhetett meg a villamosság elvi és kísérleti oldalával (később ezeket a gyakorlatban is hasznos ismereteket a berni Szabadalmi Hivatalban kamatoztatja), majd amikor a szülők Olaszországban telepedtek le üzleti csődjük után, megelégedte a porosz középiskola militarista szellemét, ő is követte őket. A könyv részletesen elemzi Albert útját előbb

Olaszországba, majd Svájcba, különösen érdekes áttekintést nyújtva olvasmányairól. A továbbiakban bemutatja a zürichi Polytechnikumban folytatott tanulmányokat, a főiskolai barátokat, akik közül nem egy – főleg *Marcel Grossmann* és *Michele Besso* – később igen fontos szerepet játszanak az életében. És persze megjelenik *Mileva Maric*, egy nő a századfordulón, a műszaki főiskolán(!), aki kiváló képességű és akiből Einstein (első) felesége lesz. Ezek után el is jutunk az 1905-ös évhez. Ne csodálkozzék az olvasó, ha Neffe könyvéből nem igazán kap különösebben használható bevezetésfélét a speciális relativitáselméletbe, a Brown-mozgás atomok létét mutogató elméletébe, a fényelektromos hatásban oly fontos szerepet játszó foton koncepciójának titkaiba. Igen fontosak azonban azok az olvasmányélmények, azok az igazolható barátságok, amelyek ezekkel időben egybeesnek.

Az 1920–1933 közötti időszakra térve át, amikor Einstein már túl volt az általános relativitáselmélet nyilvánosságra hozatalán, a kötet Einstein életútjáról (közügyeiről és magánéletéről) meglepően érdekes és részletes elemzést kap az olvasó. Érdemes itt ismételtten hangsúlyozni, hogy nem az életrajzíró Neffe magánfantáziájának szüleményeit látjuk itt a szövegben, hanem a részletek a kötet végén felsorolt, tehát jól dokumentált forrásokon alapulnak. Ebben a szakaszban Einstein berlini éveiről van szó, találkozásáról a sajátos német belpolitikával, az erősödő antiszemitizmussal, a fasizmus megjelenésével. Kiemeli, hogy Einstein mennyire szeretett volna német maradni (ez-

zel szemben milyen szerencse, hogy svájci útlevele volt). Hogyan küzdött (olykor hibás taktikával) az antiszemitizmus örületével, a szakmai kérdésekbe öltöztetett provokációkkal. Tanulságosak ezek a fejezetek, mert megmutatják, hogy Einstein felfedezései hogyan kerültek a „zsidófizika” propaganda-ízű megjelölése alá, nem utolsó sorban *Lénárd Fülöp* (Philip Lenard) pozsonyi születésű Nobel-díjas „kolléga” jóvoltából.

Az 1933 utáni időszak, az amerikai „második haza” befogadó gesztusa Neffe számára érdekesebb mondanivalókat is hordoz, mint az idősödő Einstein eredményei. Egyfelől ez az időszak tényleg érdekes, hiszen Einsteint elkísérték olykor nem egészen alaposan átgondolt korábbi társadalmi akciói az antiszemitizmus ellen, néhanapján a túlzottan baloldali „szövetségesei” (a kommunisták) által támogatott antifasiszta ténykedései, vagy azok emlékei a követségek és a titkosszolgálat jelentései alapján. De számunkra – szakmai szempontból – mégis fontos lett volna ezek mellett értesülni Einstein „utolsó” nagy tudományos akciójáról, amit *Banesb Hoffmann* és *Leopold Infeld* közreműködésével hajtott végre a harmincas években. S minthogy ez Neffe művéből minden említés nélkül kimaradt, most megpróbáljuk röviden összefoglalni.



Az általános relativitáselmélet (ÁRE) a teret és az időt – a speciális elmélet nyomdokain haladva – négydimenziós egységnek tekinti, amelynek geometriai struktúrája nem euklideszi, hanem görbült. (Vagyis olyan téridő, amelyben egy háromszög szögeinek összege nem 180°.) Ilyen geometriákat már *Bernhard Riemann* (1826–1866) is leírt pár évtizeddel korábban. Az ÁRE a gravitációt, ami minden testre, minden anyagi tömegre hat, Einstein szerint a téridő görbületének kialakításával írja le, az Einstein-egyenletek alapján. Ez az egyenletrendszer nemlineáris másodrendű parciális differenciál-egyenletekből áll. Érdekes körülmény, hogy az ÁRE nemcsak a Merkúr bolygó perihélium-elfordulását magyarázza meg – amit kezdetben említettünk –, hanem a nagy tömeg mellett elhaladó fénysugár (euklideszi egyenestől eltérő) görbülését is. És még azt is, hogy az órák különbözően nagy tömegek mellett másképpen járnak (gravitációs vöröseltolódás). Mindezek az effektusok ma már elképesztő pontossággal „vitán felül” beigazolódnak. Csak azok a nemlineáris differenciál-egyenletek!! És éppen ezekkel kapcsolatos a Neffe által teljességgel *mellőzött* vívmány!

Einstein Amerikában B. Hoffmann és L. Infeld közreműködésével bebizonyította, hogy egy koncentrált tömeg körül kialakuló görbült téridőben a téregyenletekből levezethető egy másik tömeg mozgásegyenlete. Egyszerűbben: a gravitációs *erőtér* igazi törvényei tartalmazzák a newtoni típusú *mozgásegyenleteket* is. (Azért csak newtoni *típusúakat*, mert ezek most az ÁRE által előírt korrekciókat is adják.) Elvileg tehát a gravitá-

ciós erőter fizikáját nem *két* hipotézissel (az erőterével és a mozgásával) kell leírni, hanem elegendő *egy* (mert ez tartalmazza a másikat is). Hogy ez első nekifutásra csak a gravitációra vonatkozik igazából, az érthető, mert ekkor, 1938-ban, amikor az Einstein–Infeld–Hoffmann-cikk¹ megjelent hivatalosan még nem volt szó a gravitációs és elektromágneses kölcsönhatáson túl más erőkről. Az a rengeteg erőfeszítés, ami a kölcsönhatásokat egybefoglalva egészítené ki az ÁRE-t, kutatók százait foglalkoztatta a múlt évszázad során, persze magát Einstein elsősorban, de *Novobátzky Károlyt* is, aki az ELTE Elméleti Fizikai Tanszékén volt professzor. Ez a fizika történetének azon korszaka, amikor első lépéseit tette a kvantumelmélet, nem is beszélve arról, hogy akkor még csak a gravitációs és az elektromágneses kölcsönhatás volt ismeretes, az erős (a magfizikában a rövid hatótávolságú) meg a gyenge (a béta-bomlásban megmutatkozó neutrínós) éppen csak kopogtatott a megismerés kapuján. Igaz viszont, hogy Neffe Einstein egységes térelméleti kutatásait ismerteti.

Az életrajz a továbbiakban részletesen tárgyalja Einstein szerepét az atombomba létrehozásában. Közismert tény már, hogy Einstein *Szilárd Leó* közreműködésével – a berlini évekből közelebbről ismert magyar származású kutatóval, akivel az Einstein–Szilárd-hűtőgép elvét kidolgozták és szabadalmaztatták – levelet írt *Roosevelt* elnöknek az „atombomba előállításának” sürgető szükségéről. Kevésbé ismert azonban, hogy a gondolat adójának a megvalósítás fizikai-technikai kidolgozásában egyáltalán nem jutott szerep. Ezért elsősorban Einstein „baloldali összeköttetései”-ből adódó híre tehető felelőssé, ugyanakkor be kell látnunk, Einstein magfizikai ismeretei és technikai adottságai sem voltak igazán alkalmasak erre a feladatra. Annál nagyobb szerep jutott neki az atombomba bevetése után a nemzetközi tiltakozási mozgalmakban. E megmozdulások „hátsó oldaláról” ilyen részletesen igazából csak most értesülhettünk. Neffe bemutatja, hogy az Amerika-elle-

nes Tevékenységeket Vizsgáló Bizottság és az FBI ügyszólván első számú megfigyelési célpontként kezelte Einstein személyét. *Edgar Hoover*, az „örök FBI-főnök” állandó, kiemelten fontos személyiségnek tekintette múltja alapján, számára egyfolytában vastagodott az Einstein gyanús tevékenységeiről szóló anyagok dosz-sziéja. Hogy ebből nem lett óriási, nagy nyilvánosságot kapó botrány, annak a lassan megváltozó körülmények mellett elsősorban Einstein 1955-ben bekövetkezett halála volt az oka.

A kötet olvastán elmondhatjuk, hogy az ismerősnek tűnő témában fantasztikus részletekkel lettünk gazdagabbak – igaz, elsősorban nem a szűk szakmát illetően. Ezért nem is csodálkozhatunk azon, hogy Neffe könyve milyen diadalmenetben részesült épp az amerikai kontinensen, a relativitáselmélet centenáriuma (2005) után pár évvel. Ma végre sok mindent másként ítélnék meg az Egyesült Államokban! A könyv világraszóló karrierjén sincs mit csodálni, erre valóban rászolgált. A kötet tematikai összeállítását illetően sem lehet kifogásunk, hiszen ma már a relativisztikus tudnivalók, a foton és a Brown-mozgás (elmélete) a fizikai ismeretek sokszorosán beigazolódtak, sziklaszilárd és gyakran használt részét képezik, amely megtalálható a középiskolai, de főképpen az egyetemi tankönyvek oldalain. Tényleg úgy érezzük, eljött az idő, hogy a kimondottan szakmai részletek mögött is észrevegyük az emberi erőfeszítéseket, olykor tragikus, de mindenképpen tanulságos mozzanatok, amelyek ma már a történelem vitathatatlan részei. Ebben a tekintetben azt hisszük, a kötetet érő amerikai elismerések jogosak, és örülhetünk, hogy ez a könyv a magyar olvasó asztalára került.

A kiadó vállalkozását és érzékenységét dicséret illeti. A fordítókét úgyszintén. Az ő küzdelmük e hatalmas kötet igazán sokrétű német nyelvével, amely most ráadásul a fizikai szóhasználat szokatlanságával is súlyosbodik, akkor is magasan értékelendő eredményt hozott, ha néhány (kevés) esetben a szakma más szavakat használt volna a fordításban.

Abonyi Iván

¹ The gravitational equations and the problem of motion. *Annals of Mathematics* 39 (1938) 65–100.

HÍREK – ESEMÉNYEK

A TÁRSULATI ÉLET HÍREI

A Magyar Tudomány Ünnepe Győrben

Az ELFT Győr-Moson-Sopron Megyei Területi Csoportja (ELFT GYMSM TCS) a Magyar Tudomány Ünnepe alkalmából a következő programokat szervezi Győrben.

2011. november 10., csütörtökön 16.00 órai kezdettel *Tudományos ülést* tartanak az ELFT GYMSM TCS és a

Nyugat-Magyarországi Egyetem Apáczai Csere János Kar (NYME AK) szervezésében.

– *Barla Ferenc* fizikus, elnök ELFT GYMSM TCS: *Megnyitó*

– *Cseh Sándor* dékán, NYME AK: *A Nap, mint éghajlati kényszer*

– *Farkas Gábor Farkas* osztályvezető főkönyvtáros, OSZK: *Hamlet csillaga*

– *Farkas Bertalan* kutató úrhajós, dandártábornok: *Az emberes űrkutatás múltja, jelene, jövője – Gagarintól napjainkig*

Helyszín: Győr, Liszt Ferenc utca 17. II. számú épület Karácsony Imre nagyelőadó.

2011. november 11., péntek 16.00 órai kezdettel a XI. Győri Könyvszalonn keretében *Beszélgetés Farkas Bertalannal*, beszélgetőtárs: Barla Ferenc.

Helyszín: Győri Nemzeti Színház Pódiumszínpada (Győr, Czuczor Gergely utca 7.)

2011. november 17. csütörtök, 16.00 órai kezdettel az *ELFT GYMS TCS Évkönyvének bemutatása*.

A kötet szerzői: Barla Ferenc (szerk.), Cseh Sándor, Farkas Bertalan, Farkas Gábor Farkas, *Fülöp Viktorné, Máthé Zoltán, Mészáros Péter, Varga Imre*.

Helyszín: MTESZ Székház, nagyelőadó, Győr, Szent István út 5.

A programokra minden érdeklődőt várunk.

HÍREK ITTHONRÓL

Fizikushallgatók XXVI. Nemzetközi Konferenciája

A Magyar Fizikushallgatók Egyesülete (Mafihe) nagy sikerrel rendezte meg Budapesten a *XXVI. International Conference of Physics Students* (ICPS) nevű konferenciát 2011. augusztus 11. és 18. között. Nagy örömünkre szolgál, hogy az immár ötödik magyar rendezésű ICPS-en, szülővárosában ünnepelhettük a konferencia 25-ik születésnapját. Az ezzel kapcsolatban tartott megemlékezésen ott volt az alapítók többsége, *Benatos Patroklos, Horváth Ákos, Lévai Péter és Ván Péter*.

A konferencia szervezésében körülbelül 50 önkéntes magyar hallgató vett részt, akiknek segítségével 410 külföldi fizikushallgatót láttunk vendégül. A hallgatók több mint 100 előadáson és 60 poszteren keresztül mutatták be saját kutatásaikat. A szakmai részt erősítendő a MOL és a Semilab képviselői is beszámoltak egy-egy rövid előadás keretében a náluk folyó munkáról. Ezenkívül öt elismert kutató tartott vendéglőadást, név szerint *Katz Sándor, Kiss László, Krausz Ferenc, Mezey Ferenc* és a Nobel-díjas *Carlo Rubbia*.

A nem-tudományos programok terén is igyekeztünk Magyarországot, Budapestet és a hazai tudományos életet bemutatni. Ennek kapcsán szerveztünk „magyar estet”, ahol néptáncsal és magyar zenével ismerkedhettek a résztvevők, egy délutánt városnézésnek, egy napot pedig kirándulásoknak szenteltünk. A kirándulások során kisebb csoportokban elvittük az érdeklődőket a Balatonhoz, Visegrádra, a Rám-szakadékbba, a Budai Várba és barlangászni a Mátyás-barlangba.

Természetesen nemcsak a fentiekre szolt a konferencia. Az ICPS a legfontosabb találkozási pontja a világ fizikushallgatóinak és diákszervezeteiknek. Ennek formális következménye, hogy a konferencia ad otthont az International Association of Physics Students (IAPS) éves közgyűlésének, ahol a stratégiai kérdések megvitatása mellett a szervezet tisztújítása is zajlik. Büszkén jelentjük, hogy az idei közgyűlés *Ferdinandy Bencét* választotta a szervezet elnökének, akinek személyében a harmadik magyar IAPS elnököt köszönhetjük.

Lakatos Dóra, a Mafihe elnöke

Mit csinált több száz természettudományt tanító tanár az augusztusi végi kánikulában?

Szubjektív beszámoló a *Természettudomány tanítása korszerűen és vonzóan* című konferenciáról

Az épületen kívül 38 °C van, de az ELTE lágymányosi északi tömbjében elviselhető a hőmérséklet. Az Eötvös-terem zsúfolásig tele van, az onnan kiszorulók a szomszéd teremben, kivétítön követhetik az Eötvös-teremben történeteket. Az ELTE Természettudományi Oktatásmódszertani Centruma és az InfoPark Alapítvány által rendezett, az MTA, az ELTE Természettudományi Kara, az InfoPark Alapítvány és a *Természet Világa* által támogatott háromnapos (2011. augusztus 23–25.) konferencia fővédnökei *Pálinkás József*, az MTA elnöke és *Mezey Barna*, az ELTE rektora voltak.

A konferencia különlegessége volt az is, hogy ezúttal nem csak egy szakterület tanárai gyűltek egybe, hanem a fizikatanárokon kívül jelen voltak matematikát, kémiát, biológiát és a földtudományokat oktatók is. Így igazi párbeszéd alakulhatott ki a természettudományok oktatásáról a középiskolai és a felsőoktatási intézményekben tanítók között. Ebből a szempontból valószínűleg hatékonyabb volt a konferencia munkája a tanári anketóknál is, ahol csak magunk vagyunk a szaktárgyunk tanításával kapcsolatos örömmel és problémákkal.

Néhány szám, amely jellemzi a konferenciát:

A 394 részt vevő közül nagyjából 50 volt határon túli, a természettudományokat magyar nyelven tanító tanár. A biológia, a fizika, a kémia, a matematika és a földtudományi szekciókban 100 tanári előadás hangzott el. 40 poszter gazdagította a rendezvényt. A szervezésben pedig 33 hallgató és doktorandusz vett részt.

A konferenciáról *Tapody Éva* e-mailjein kívül a <http://termtudtan.extra.hu> weblapon kaphattak tájékoztatást az érdeklődők.

Az első plenáris előadást *Tudomány és tanári hívatás* címmel Pálkinkás József, az MTA elnöke tartotta. Szólt a természettudományok tanításának nehézségeiről, a korszerű oktatás módszereiről, a pedagógusképzés megújításáról, a szükséges változásokat meghatározó pedagógiai szemléletről. Szorgalmazta (nem először), hogy a kötelező érettségi tárgyak között legyen egy természettudományos tárgy. (A készülő köznevelési törvényből úgy látszik, ismét hiába.) Felhívta a figyelmet arra, hogy erőfeszítés nélkül nem lehet eredményt elérni, hogy tévúton járnak azok, akik azt gondolják, az iskolában pusztán filmek nézésével, beszélgetéssel el lehet jutni a továbbtanuláshoz szükséges ismeretekhez. Szólt arról, hogy kíváncsiság, érdeklődés és legtöbbször valamekkora kényszer is kell az érdeklődés felkeltéséhez, illetve fenntartásához. Hangsúlyozta (nem először) a kísérletek fontosságát, mert sok gyereknek nincsenek alapvető tapasztalatai a jelenségekről. A városi gyerekek közül például sokan még életükben nem gyújtottak tüzet.

Az előadásról készült beszámoló olvasható a http://mta.hu/tudomany_hirei/tudomany-es-tanitas-128476 címen, az MTA honlapján a *Tudomány hírei* között *Tudomány és tanári hívatás* címen.

A második plenáris előadást *Dux László*, a NEFMI helyettes államtitkára tartotta a tanárképzés átalakulásáról. Elmondta, hogy a Bologna-rendszer nagy kárt okozott a tanárképzésben. 4-6 fősre csökkentek az évfolyam-létszámok. Megállapította, hogy vissza kell térni a jól bevált egy ciklusú, két szakos képzéshez. Hangsúlyozta, hogy erősíteni kell a kutató tanári életformát. Most együtt tanulnak a leendő tanárok és a leendő kutatók. Az előzőeknek túl sok, az utóbbiaknak pedig túl kevés az, ami az ilyen előadásokon elhangzik.

A három nap folyamán egyetértés alakult ki a különböző szakterületeket képviselő oktatók között például abban, hogy túl nagy létszámúak az induló évfolyamok, és így sokan megengedhetetlenül kevés tudással jutnak be. Szükség volna valamilyen selekcióra, felvételi vizsgára, vagy az emelt szintű érettségi megkövetelésére (*Klinghammer István*, ELTE, *Csépe Valéria*, MTA, *Hoffmann György*, BME, *Groma István*, ELTE). Szó esett arról, hogy jelenleg rosszul kapcsolódik egymáshoz a közoktatási és a felsőoktatási rendszer. A középiskola és az egyetem egymásra mutat, keresik, ki a felelős az I. évesek felkészületlenségéért; a középiskola, vagy az ott tanítókat nem megfelelően felkészítő egyetem.

A felsőoktatásba belépő I. évesek átlagosan rosszul felkészültek a felsőoktatási tanulmányokra. Nem tud-

nak mérni, pedig a mérési jártasságon kívül még a mérések értelmezése és azok grafikus ábrázolása is fontos volna (*Radnóti Katalin*, ELTE TTK).

A felvettek alsó 2/3-ának nem kielégítő a matematikai tudása, trigonometriai ismereteik hiányosak, bár gyakran nem annyira a konkrét tudás, mint a szemlélet hiányzik (*Groma István*, ELTE TTK). Többen fontosabbnak találták a differenciálással kapcsolatos elemi ismereteket, mint az exponenciális és logaritmikus egyenletek megoldásában való jártasságot (*Radnóti Katalin*, ELTE TTK).

Laczkovich Miklós (ELTE TTK, matematika) szerint a jelenlegi középiskolai tantervi keretek merevebbek, túlszabályozottabbak, mint a '70-es években voltak.

Egyetemi oktatók nehezményezték, hogy a mai iskola túl sok elméletet oktat, hiányzik a manualitás, a gyakorlati képzés (*Klinghammer István*, ELTE).

Mások azt is kijelentették, hogy nem jó időben alakítjuk a gyerekek absztrakciós képességét. Ezzel függhet össze, hogy a diákok számára nehézséget okoz a folyamatok, jelenségek nyelvi megfogalmazása.

Elhangzott, hogy az egyetemre bekerülőeknek sok tévképzetük van (*Radnóti Katalin* ELTE TTK). Az egyik szekció-előadásban *Kuczmann Imre* a saját iskolájában végzett, ezzel kapcsolatos felmérését ismertette. Elmondta, vannak olyan középiskolás diákok, akik úgy gondolják, hogy a nehezebb tárgyak gyorsabban esnek, mint a könnyebbek, a test sebessége a rá ható erővel arányos, az egymást előző autók sebessége azonos stb. stb. Ezek keletkezésének gyökereit a tv-ből származó hírekben, számítógépes játékokból átvett információkban látja az előadó.

Középiskolai tanárok is panaszkodtak a tanulók erőfeszítésének hiányáról. Ezzel kapcsolatban érdekes, újszerűnek tűnő javaslatként hangzott el az, hogy legalább kétféle tantervet kellene készíteni a középiskolások számára (*Honyek Gyula*, ELTE Radnóti Miklós Gyakorló Iskola, vezetőtanár). Az egyik az egyetemi „elit” szakjaira készítene fel, amely szakokra csak felvételi vizsgát követően lehetne bejutni, és egy másikat a többi gyerekeknek. Így több, értékes, a piacon eladható diplomást lehetne képezni. És egyúttal a nem szakirányban továbbtanulók mindennapjait sem kellene megkeseríteni olyan ismeretekkel, amelyekre semmi szükségük nem lesz az életük során, amelyek tanulására egyáltalán nem motiváltak. De mindenképpen szerethetőbb természettudományt kellene tanítani, mondta *Kertész János*, BME egyetemi tanár.

Több oktató is szövé tette, hogy túl sok plusz pontot kapnak a felvételizők a nyelvvizsgáért, azaz a hozott pontok emiatt sokszor nem megbízhatóan tükrözik a felvételiző tudását, nem tájékoztatják megfelelően sem a felvételizőt, sem a szülőt. Szükségesnek tartanák viszont, hogy az országos tanulmányi versenyeken döntőbe jutottak kapjanak plusz pontokat, és ezen versenyek helyezettjeit pedig vegyék fel (*Radnóti Katalin* ELTE TTK).

Javaslatok és ábrándok is megfogalmazódtak.

Széles körű egyetértés mutatkozott abban, hogy *emelni kellene a felvételi követelményeket*. Ismételtelen el-

hangzott: legyen kötelező érettségizni egy természettudományos tárgyból. Több egyetemi oktató is szükségesnek, és a mostani problémák megoldásához elégségesnek tartaná, ha az emelt szintű érettségi felvételi követelmény lenne. *Csépe Valéria* (MTA, főtitkárhelyettes) ezzel kapcsolatban megjegyezte, hogy az MTA Elnökségi Közoktatási Bizottságának 2008. december 15-i állásfoglalása szerint is az emelt szintű érettségi az egyetemi felvételi eljárás szükséges feltétele kell legyen!

Több egyetem oktatói sokadszorra adtak hangot annak a kívánságuknak, hogy az egyes felsőfokú intézmények maguk dönthessenek a felveendő hallgatókról. Ezt a javaslatot általában a főiskolák vétőzzák meg. Jónak tartanák továbbá azt is, ha az emelt szintű érettségi szóbelijén egy egyetemi oktató is jelen lehetne.

Megállapították, hogy segíti a tehetséges tanulók egyetemi tanulmányokra való felkészülését az a már ma is létező gyakorlat, amely lehetővé teszi a középiskolás diákok számára az egyetemi laboratóriumokba való bejárást, mérést.

Bánkódtak viszont amiatt, hogy a tv-kben, rádiókban megszűnt a legtöbb tudományos szerkesztőség, aminek következtében szűkültek az ismeretterjesztési lehetőségek (*Härtlein Károly*, BME).

Ismételten szóba került, hogy meg kellene oldani a fizika és a matematika jobb egymásra épülését mind a középiskolákban, mind az egyetemeken. (Erre évtizedek óta vágyakoznak a fizikatanárok, de érdemi megoldást máig nem sikerült találni.) Általános vélemény, hogy javítani kell az egyetem és a középiskola közötti kapcsolatokat.

Jónak, fontosnak tartják a résztvevők, hogy a fizika tanulmányi versenyeken kísérleti forduló is van.

Több egyetemi oktató is hangot adott annak a véleményének, hogy a tanártovábbképzéseknek *kizárólag* a tanárképző intézményekben volna helye. Jelenleg nagyjából 1800 helyen folyik tanártovábbképzés. Kizárt, hogy mindegyiken megfelelő volna a képzés színvonala.

Schrótt Ágnes (ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Iskola, vezetőtanár) említette, az oktatás jelenlegi problémái származhatnak abból is, hogy az elmúlt évtizedekben sokat változott az iskola társadalmi környezete és a mai gyerekek másként gondolkoznak, mint évtizedekkel ezelőtti társaik, a tanárok egy része mégsem változtatott módszerein.

A tanárok számára igen hasznosak voltak a szakmódszertannal foglalkozó plenáris előadások, amelyeket *Liptai Kálmántól* (Eszterházy Károly Főiskola, TTK dékán) és *Tasnádi Pétertől* (ELTE, TOMC elnök) hallottak.

Mindezek mellett szinte pihenésként hatottak a fizikával kapcsolatos előadások. Előadás hangzott el szén nanoszerkezetekről (*Kürti Jenő*, ELTE TTK), a középiskolások körében végzett felmérésről, amely azt tudakolta, mit tudnak az energiáról (*Jubász András*, ELTE TTK). Ezzel kapcsolatban meglepett, hogy középiskolások nem tudtak elektromos számlát értelmezni, pedig ez tananyag már az általános iskolában is.

Színesítette a konferencián elhangzottakat többek közt *Freund Tamás* akadémikus (PPKE) *Belső vilá-*

gunk hatásai a tanulási és memória folyamatokra: Agyhullámok és kreativitás című előadása. Nagy érdeklődés kísérte *Aszódi Attila* (BME) *Van-e az atomenergiának jövője Csernobil és Fukushima után?* című előadását. A plenáris záróülésen hangzott el *Rátai Dániel: A Leonardo program bemutatása* című előadása, és nem maradhatott el *Hraskó Gábor* (Szkeptikus Társaság) a társas vacsorán elmondott, *Az áltudományos desszert receptje* című előadása sem.

Juhász András (ELTE TTK) és tanítványai hullámkádval, mikrohullámú adó-vevővel, Leybold-műszerek felhasználásával bemutatott fizikai kísérletei nagy érdeklődést váltottak ki.

Rám a legnagyobb hatást *Róka András* (ELTE) *Elektronok színháza (kémiai kísérletek)* című, még ezen a különlegesen magas színvonalú konferencián is kiemelkedő, *vastappsal jutalmazott* előadása tette.

Mivel érte el Róka András a tanártovábbképzéseken szokatlan, hosszan tartó, ütemes tapso? Nem volt semmi különös, „csak” egy kedves, romantikus történetbe burkolt, kellemes zenével és mesés képekkel kísért, látványos kísérleti bemutató. A látszólag üres lombikba bespriccelő piros folyadék megkékült; két, szájával egymás felé fordított, szintén látszólag üres üveghengert szétválasztva éktelen durranást és fényjelenséget észlelhattunk; melegítés hatására a fémhálóról kígyószerű valami tekeredett le stb. stb., egy fél órán át. Egyedül, segítség nélkül, attól a hittől áthatva, hogy „Az elektronok színháza” érdekes. Számomra ez az előadás volt a háromnapos, kiváló előadókat felvonultató konferencia csúcspontja. Engem ismét meggyőzött arról, hogy *nem a kémia* (illetve a fizika) *tebet arról, hogy az egyik legkevésbé kedvelt tárgy az általános és a középiskolákban*. Ha a tanár hisz abban, hogy a tantárgya érdekes, érthető, használható ismereteket tartalmaz, és ez a meggyőződés sugárzik belőle, akkor hallgatói, tanítványai is hinni fognak ebben, és hinni fognak neki. És érdekesnek, tanulásra érdemesnek fogják találni az általa bemutatottakat.

A konferencia záró ülésén a résztvevők *Nyilatkozatot* fogadtak el, amely fő megállapításai és javaslati sok egyezést mutatnak az ELFT elmúlt időkhöz közzétett állásfoglalásaival. Ezt látva felmerül a gondolat, nem volnának-e még eredményesebbek ezek az ELTE-n szerveződő nyári konferenciák, ha az ELFT is részt venne a szervezés munkájában. Ezt a *Nyilatkozatot* a szervezők elküldték a Minisztériumba, az Akadémiára és több médiumnak is, hogy „ország-világ” megtudja, hogyan szeretnék megváltoztatni a természettudományok oktatását azok, akik legjobban látják a jelen helyzet problémáit. („Ember küzdj, és bízza bizzál!”.)

És végül, de nem utolsó sorban, meg kell említeni a szervezésben segítő 33 hallgató munkáját. Kedvesek, segítőkészek, mosolygósak, türelmesek, udvariasak voltak. Bizonyára sok, strandon, nyaralással is eltölthető idejüket áldozták a konferencia résztvevői életének kellemesebbé tételéért. Nekünk, a konferencia résztvevőinek, jól esett látni a másokat segítő, áldozatos tevékenységüket.

Csákány Antalné

Jöjjön látogatóba Magyarország
egyetlen atomerőművébe és
ismerje meg annak biztonságos
működését!



Jövönk energiája



paksi atomerőmű

Tájékoztató és Látogatóközpont
7031 Paks, Pf. 71
Telefon: (75) 508 833
www.atomeromu.hu



Várjuk vendégségbe Magyarországot!