

fizikai szemle



BOLYAI FARKAS

1775 - 1856

BOLYAI JANOS

1802 - 1850

2004/12

Handwritten mathematical notes and formulas in Hungarian, including terms like "multiplicata", "potentia", "coefficient", "series", and "negativ".

A Magyar Tudományos Akadémia
Fizikai Tudományok Osztálya,
az Eötvös Loránd Fizikai Társulat,
a Magyar Biofizikai Társaság,
a Magyar Nukleáris Társaság és
az Oktatási Minisztérium
folyóirata

Főszerkesztő:

Berényi Dénes

Szerkesztőbizottság:

Barlai Katalin (Csillagászat),
Faigel Gyula,
Gnädig Péter (Négyszögletes kerék),
Horváth Dezső (Mag- és részecskefizika)
Jéki László, Kanyár Béla (Sugárvédelem),
Németh Judit, Ormos Pál (Biofizika),
Pál Lénárd, Papp Katalin,
Sükösd Csaba (Vélemények),
Szőkefalvi-Nagy Zoltán (Biofizika),
Tóth Eszter,
Turiné Frank Zsuzsa (Megemlékezések),
Ujvári Sándor (A fizika tanítása)

Szerkesztő:

Hock Gábor

Műszaki szerkesztő:

Kármán Tamás

A lap e-postacíme:

fizsem.elft@mtesz.hu

A folyóiratba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A címlapon:

Bolyai-szobor Marosvásárhelyen
(Csorvássy I. és Márton I. alkotása)
– Bolyai János levele atyjához
(Teleki Téka, Marosvásárhely)

TARTALOM

<i>Gábos Zoltán</i> : A klasszikus gravitációelméletéről	397
<i>Barta András, Mizera Ferenc, Horváth Gábor</i> : Miért érdemes az égboltfény polarizációját az ultraibolyában érzékelni?	401
<i>Hajdu János</i> : Teller Ede hozzájárulása a szabad elektronok diamágnesességének elméletéhez	408
<i>Kenéz Lajos</i> : Plazmafizikai kutatások elektron-ciklotronrezonanciás ionforráson	411

MEGEMLEKEZÉSEK

<i>Füstöss László</i> : A műegyetemi Fizika Tanszék 150 éve	415
FIZIKUSNAPTÁR	422

A FIZIKA TANÍTÁSA

Beszámoló a 23. Mikola Sándor fizikaverseny soproni döntőjéről (<i>Kotek László</i>)	423
----------------------------------------------------------------------------------------	-----

AKADÉMIAI OSZTÁLYKÖZLEMÉNYEK

Az MTA Fizikai Tudományok Osztályának ülése Debrecenben (<i>Máté Zoltán</i>)	426
--------------------------------------------------------------------------------	-----

HÍREK – ESEMÉNYEK

Jubileumi majális a debreceni ATOMKI-ban (<i>Máté Zoltán</i>)	427
Visszaemlékezés az ATOMKI alapításának 50. évfordulóján (<i>Berényi Dénes</i>)	427
<i>Gábos Zoltán</i> professzor 80 éves (<i>Karácsony János, Néda Árpád</i>)	428
NASA-elismerés magyar kutatóknak (<i>Jéki László</i>)	430
Rátz tanár úr életműdíj – 2004	430
Ericsson-díjak – 2004	430
KÖNYVESPOLC	430

Z. Gábos: The classical theory of gravitation

A. Barta, F. Mizera, G. Horváth: Reasons for detecting skylight polarization in the U.V. region

J. Hajdu: E. Teller's contribution to the theory of diamagnetism of free electrons

L. Kenéz: Plasma physics: Studies on ion sources using electron-cyclotron resonance

COMMEMORATIONS

L. Füstöss: 150 years Department of Physics at Budapest Technical University

PHYSICISTS' CALENDAR

TEACHING PHYSICS

The final round of the 23rd "Mikola Sándor" Physical Competition (*L. Kotek*)

PROC. OF DEPT. FOR PHYS. SCI. OF THE ACADEMY

The session of the Physics Department of the Hungarian Academy of Sciences held at Debrecen, commemorating the 50-year-jubilee of the ATOMKI Institute (*Z. Maté*)

EVENTS, BOOKS

Z. Gábos: Die klassische Theorie der Gravitation

A. Barta, F. Mizera, G. Horváth: Gründe für die Messung der Polarisation des Himmelslichts im Ultraviolett

J. Hajdu: E. Tellers Beitrag zur Theorie des Diamagnetismus freier Elektronen

L. Kenéz: Plasmaphysikalische Untersuchungen an Ionenquellen mit Elektron-Zyklotron-Resonanz

ZUR ERINNERUNG

L. Füstöss: 150 Jahre Lehrstuhl für Physik an der Budapester Technischen Universität

PHYSIKERKALENDER

PHYSIKUNTERRICHT

Die Endrunde des Mikola-Sándor-Wettbewerbs in Physik (*L. Kotek*)

MITTEILUNGEN DER ABT. PHYS. WISS. DER AKADEMIE

Die Sitzung der Abteilung für Physik der Ungarischen Akademie der Wissenschaften in Debrecen anlässlich des 50-Jahre-Jubiläums des Instituts ATOMKI (*Z. Maté*)

EREIGNISSE, BÜCHER

Э. Габош: О классической теории гравитации

А. Барта, Ф. Мизера, Г. Хорват: Почему выгодно измерять поляризацию света неба в ультрафиолетовом диапазоне

Я. Гайду: Вклад Э. Теллера в теорию диамагнетизма свободных электронов

Л. Кенез: Плазменная физика: исследование источника ионов

НА ПАМЯТЬ

Л. Фюштеш: 150 лет физической Кафедре Будапештского Технического Университета

КАЛЕНДАРЬ ФИЗИКОВ

ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

Отчёт о финише физического Конкурса им. Миколы г. Шопрон, 2004 (*Л. Kotek*)

СООБЩЕНИЯ АКАДЕМИИ НАУК

Заседание Физического Отдела Венгерской Академии Наук в Дебрецене, праздновавшее 50-летний юбилей института ATOMKI (*З. Мате*)

ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ, КНИГИ

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

A Fizikai Szemle az Akadémia által 1862-ben elindított Matematikai és Természettudományi Értesítő és az 1891-ben Eötvös Loránd által alapított Matematikai és Physikai Lapok utóda és folytatása

LIV. évfolyam

12. szám

2004. december

A KLASSZIKUS GRAVITÁCIÓELMÉLETRŐL

Gábos Zoltán
Babeş–Bolyai Tudományegyetem
Kolozsvár, Románia

A gravitációs kölcsönhatást (a gravitációt) ma a leggyengébb alapvető kölcsönhatásnak tekintjük. Számolni kell vele, valahányszor legalább az egyik kölcsönható partner tömege elég nagy. A testek súlyának okozója fontos szerepet játszik a Világegyetem nagyléptékű szerkezetének alakításában, a kozmikus családok – például a Naprendszer – összetartásában. Összehúzó, tömörítő hatása döntő szerepet játszott és játszik a csillagok világában. Így nem véletlen, hogy a gravitáció és a világmodellek története szorosan egybefonódott.

A fejlődés során a feladatukat teljesítő, de lehetőségeiket kimerítő modelleket új, a valóságot jobban tükröző modellek váltják fel. Ez nem akadálymentes folyamat. A megszokotthoz való ragaszkodás lassítja azoknak a merevítő elemeknek, akadályoknak az eltávolítását, amelyek a haladást gátolják. Ezt a tényt a gravitáció története is tanúsítja.

A következőkben a klasszikus gravitációelmélet történetének vázlatos bemutatására vállalkozunk. Történetünket a speciális relativitáselmélet megjelenésével, az 1905-ös évvel zárjuk.

A newtoni elméletig vezető út

Az antik világ természettudományos ismereteinek összefoglalására elsőként a görög tudósok vállalkoztak. Világmodelljeik között megtaláljuk *Ptolemaiosz* geocentrikus, de ugyanúgy *Arisztarkhosz* heliocentrikus modelljét is.

A XVI. század közepéig a geocentrikus modellt használták. A Földhőköttetés, a mindennapos tapasztalatok ennek a modellnek kedveztek. Élesen elkülönítették a tökéletesnek vélt égi, és a változó, tökéletlennek minősített földi világot. A gömbölyűnek és mozdulatlanak tekintett Földnek jutott a Világegyetem központjának a szerepe. A Föld körül egyenletesen forgó égi világ szféráiban kapott helyet a Nap, a Hold, öt bolygó (Merkúr,

Vénusz, Mars, Jupiter, Szaturnusz) és az állócsillagok. Használták a tökéletes és természetes (külső beavatkozást nem igénylő) mozgás fogalmát. E szerep az egyenletes körmozgásnak jutott. A vándorló csillagnak tekintett öt bolygó rendellenesnek tekintett mozgását egymásba fonódó körmozgásokkal magyarázták.

A modell hívei sikerrel teljesítették azt a feladatot, hogy az égitestek látszólagos mozgásával kapcsolatban minél több információt nyerjenek. Ezek az adatok a továbbiak szempontjából hasznosnak bizonyultak. A gravitáció szempontjából a mértékszámokkal jellemezhető súlyfogalom megjelenése is döntő fontosságú volt. *Archimédész* a fajsúly és súlypont fogalmakat is ismerte.

A bolygómozgás törvényeinek megállapítására a geocentrikus modell alkalmatlannak bizonyult. Az előrelépés terén az első lépést *N. Kopernikusz* tette meg 1543-ban. Modelljében a Nap a központi égitest, körülötte keringenek a bolygók, amelyek köre a Földdel gazdagodott. Az állócsillagok látszólagos mozgását a Föld forgásával magyarázta. A Föld egy kísérővel maradt, de később ez a kiváltsága is elesett, amikor *G. Galilei* 1610-ben Jupiter körül keringő holdakat fedezett fel. A körpálya kitüntetett szerepéhez ragaszkodó Kopernikusz nem tudta hasznosítani heliocentrikus modelljének előnyeit, de a Föld–Nap szerepcserével rést ütött az égi és földi világ közé emelt válaszfalon.

J. Kepler elsőként merte tagadni a körpálya kitüntetett szerepét. Nagymértékben hasznosította *Tycho de Brabé*nek a látszólagos bolygópályákra vonatkozó megfigyelési adatait (ezek nagyrészt a Mars bolygóra vonatkoztak). Kepler a bonyolult körpályasokaságot egyetlen ellipszispályával cserélte fel. A Napot az ellipszis gyújtópontjába helyezte. Mindezt az 1609-ben közölte, nevét viselő első törvényben rögzítette. A tíz évvel később megfogalmazott harmadik törvény fontos szerepet játszott a gravitáció történetében. Eszerint a bolygó keringési idejének négyzete egyenesen arányos a pálya fél nagytengelyének köbével:

$$\frac{T^2}{a^3} = C, \quad (1)$$

ahol C az összes bolygókra azonos értékű.

Kepler törvényei több okból is ösztönözték a továbblépést. A törvények elméleti megalapozást igényeltek. Az (1) alatti kapcsolat arra utalt, hogy a bolygók pályáját a Nap alakítja, ezért a Nap hatásának vizsgálatát Kepler a megoldandó feladatok körébe sorolta. A maga idejében ő ezzel a feladattal nem tudott megbirkózni. Az előrelépést a „földi fizika” eredményei készítették elő.

Döntő fontosságú volt annak a felismerése, hogy a természetes mozgás megnevezés az egyenes vonalú egyenletes mozgást illeti. Ezt elsőként *R. Descartes* állította 1633-ban. Nyilvánvalóvá vált, hogy az ellipszispályán vagy akár a körpályán történő mozgás fenntartása külső hatást igényel.

A mozgások leírása szempontjából igen fontosnak bizonyultak Galilei eredményei. Értelmezte a pillanatnyi sebesség és gyorsulás fogalmát és kísérletekkel igazolta, hogy a szabadesés egyenletesen gyorsuló mozgás. Kimutatta, hogy a Föld középpontja felé tartó test \mathbf{g} gyorsulása nem függ az eső test anyagi minőségétől és súlyától.

Az ingamozgást is vizsgáló *Ch. Huygens* 1673-ban arra a következtetésre jutott, hogy az egyenletes körmozgás esetében egy a középpont felé mutató centripetális gyorsulással kell számolni, amelynek nagyságát

$$|\mathbf{a}| = \frac{v^2}{R} \quad (2)$$

adja, ahol R a kör sugarát és v a kerületi sebességet jelöli. (Ezt az összefüggést 1666-ban *I. Newton* is levezette, de *Huygens* a közlésben megelőzte.)

A „földi fizika” felsorolt eredményei lehetővé tették azt, hogy a Napnak bolygókra gyakorolt hatásáról többet tudjanak mondani. A bolygók mozgásának vizsgálata a figyelem középpontjába került. Egy 1666-tal kezdődő, 1687-ig tartó időszak következett, amelyet a klasszikus gravitációelmélet virágkorának tekinthetünk. E szakasz vezéregyénisége *I. Newton* volt, aki 1687-ben megjelent *Philosophiae naturalis principia mathematica* című művében összegezte saját és kortársai eredményeit. A következőkben az elvi jelentőségű eredményekből válogatunk.

I. Newton, *E. Halley* és *C. Wren*, egymástól függetlenül, az (1) és (2) alattiakat hasznosították. Körpálya közelítést használva, (1)-ben a helyett a körpálya sugarát, R -et írva, az egyenletes körmozgásra érvényes

$$v = \frac{2\pi}{T} \quad (3)$$

összefüggést is figyelembe véve, az

$$|\mathbf{a}| = \frac{4\pi^2 R}{T^2} = \frac{4\pi^2}{CR^2} \quad (4)$$

kapcsolathoz jutottak. Így állíthatták, hogy a bolygókat a Nap vonzóhatása tartja meg pályájukon, és a hatás

erőssége a Naptól mért távolság négyzetével fordítottan arányos. *R. Hooke* más úton jutott ugyanerre a következtetésre. Állította, hogy a Nap hatása radiális irányban terjed szét, és ezért a távolság négyzetével fordított arányban gyengül. *I. Newton* elsőként ismerte fel, hogy a szabadesés és a Hold Föld körüli mozgása esetében egyazon hatással kell számolni. Figyelembe vette, hogy a hatás erőssége a távolság négyzetével fordítottan arányos, és így kör alakú Holdpálya esetében (4) felhasználásával a

$$|\mathbf{g}_F| \left(\frac{R_F}{R_H} \right)^2 = \frac{4\pi^2 R_H}{T_H^2} \quad (5)$$

kapcsolathoz jutott, amelyben R_F a Föld-, R_H a Hold-pálya sugarát, \mathbf{g}_F a szabadesés gyorsulását jelzi a földfelszín közelében, T_H a Hold keringési ideje. Amikor *Newton* az (5) alatti kapcsolatot megállapította, R_F -fel és R_H -val kapcsolatban nem álltak rendelkezésére pontos adatok. Miután ezek birtokába jutott, (5) helyességéről maga is meggyőződhetett.

A fentiekben a gravitációs hatás esetében jelentkező gyorsulást vettük tekintetbe. Miután kiderült, hogy a súlyerő jellegű mennyiség, a gravitációs erő kérdése is napirendre került. A súly és a nehézségi gyorsulás egyirányú vektorok, így közöttük

$$\mathbf{G} = m\mathbf{g} \quad (6)$$

alakú kapcsolatot lehetett létesíteni. Az m skaláris mennyiséget ma súlyos tömegnek nevezzük. E mennyiség a test gravitációs kapcsolatot létesítő képességét méri. A (6) kapcsolat egyben arra is utalt, hogy a gravitációs erő arányos a gravitációs hatásnak kitett tárgy tömegével.

Newton arra az esetre is gondolt, amikor a központi test nem pontszerű. Kimutatta, hogy az a gömb alakú test, amelynek tömegeloszlása gömbszimmetriát mutat, a vonzás szempontjából úgy viselkedik, mintha egész tömege a gömb középpontjában lenne összesűrítve.

Hooke és *Newton* állította, hogy minden égitest vonzást fejt ki saját középpontja irányában, így gravitációs kapcsolatra (kölcsonhatásra) alkalmas. A Nap hat a bolygóra, de a bolygó is hat a Napra. Tehát a pontszerűnek tekinthető 1-es és 2-es jelzésű tárgyak esetében két erővel kell számolni, amelyek abszolút értéke egyenesen arányos a két test tömegének szorzatával, és fordítva arányos a köztük levő távolság négyzetével. Az 1-es tárgyának 2-esre gyakorolt gravitációs hatását az

$$\mathbf{F}_{12} = -K \frac{m_1 m_2}{|\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1|^3} (\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1) \quad (7)$$

erő segítségével írjuk le, amelyben K gravitációs állandót, m_1 és m_2 tömegeket, \mathbf{x}_1 és \mathbf{x}_2 helyzetvektorokat jelöl. A 2-es tárgynak az 1-esre gyakorolt hatását kifejező \mathbf{F}_{21} erő \mathbf{F}_{12} -től előjelben különbözik. Az origóban rögzített M tömegű, pontszerű tárgynak a tőle r távolságban levő, m tömegű tárgyra gyakorolt gravitációs hatását az

$$\mathbf{F} = -K \frac{mM}{r^3} \mathbf{x}, \quad r = |\mathbf{x}| \quad (8)$$

erőképlet segítségével írjuk le.

A gravitáció kérdését szíven viselő Hooke 1680-ban Newtont továbblépésre ösztönözte. A megoldásra váró feladatok körébe sorolta annak a bizonyítását, hogy a (8) alatti erőképletet felhasználva ellipszis alakú bolygópályához jutunk. Newton, a differenciálszámítás egyik úttörője, ezt a feladatot is sikerrel oldotta meg.

Newton a pontszerű testek esetében elsőként létesített kapcsolatot a testre ható erő és a test gyorsulása között:

$$m\mathbf{a} = \mathbf{F}. \quad (9)$$

A bal oldalon szereplő m mennyiséget ma tehetetlen tömegnek nevezzük, és állítjuk, hogy e mennyiség azt az ellenállást méri, amelyet a test sebessége megváltoztatásakor tanúsít. Newton hallgatólagosan feltételezte, hogy a súlyos és tehetetlen tömeg értéke egyezik. Ezt elfogadva (8) és (9) alapján

$$\ddot{\mathbf{x}} = -K \frac{M}{r^3} \mathbf{x} \quad (10)$$

írható. E mozgásegyenlet alapján valóban ellipszis alakú bolygópályákhoz jutunk. Fontos tényként állapíthatjuk meg, hogy (10)-ben m nem szerepel. Tehát ha egy adott pillanatban a bolygót egy fémgolyóval cserélnénk fel, a golyó a bolygópályán folytatná útját.

A bolygók mozgásának vizsgálata vezetett a (7) alatti erőtvényhez. A törvény érvényességét Newton a Világegyetem egészére is kiterjesztette. Ezért beszélünk egyetemes gravitációs törvényről. Newton után már nem lehetett égi és földi fizikáról beszélni.

A newtoni alap bővítése, új utak keresése

Egy elmélet létjogát a gyakorlat igazolja. A newtoni tömegvonzási elmélet sikerrel vizsgázott. *H. Cavendish* 1798-ban földi körülmények között is bizonyította (súlyos ólomgolyók felhasználásával) a gravitációs törvény érvényességét. *Eötvös Loránd* 1909-ben igazolta, hogy a súlyos és tehetetlen tömeg egyenlősége 10^{-8} relatív mérési hiba határán belül fennáll. Számításba vettek olyan hatásokat, amelyeket korábban figyelmen kívül hagytak, például a bolygómozgás esetében a többi bolygó zavaró hatását. E törekvés legnagyobb eredménye az volt, hogy az Uránusz bolygó mozgásában mutatkozó rendellenességeket magyarázva, megtalálták a zavaró tényezőt, az 1846-ban felfedezett Neptunusz bolygót.

A fizika eszköztára folyamatosan bővül. A newtoni mechanika és gravitációelmélet a gazdagításhoz szilárd, megbízható alapot nyújtott. A tényeket magyarázó, a tényanyag rendszerezését szolgáló elmélet hasznosítása során egyre jobban kirajzolódik az elmélet alkalmazhatósági területe. A nagy sebességgel végbemenő mozgások vizsgálata új elméletet igényelt. A newtoni gravitációs törvényvel kapcsolatban is problémák jelentkeztek.

Ezek közül csak kettőt emelünk ki. A bolygópályák rozetta alakúak (az ellipszispálya elforog). A pálya Naphoz legközelebbi pontja (perihéliuma) igen lassan körbevárandorol. A perihélium-elmozdulás egy része a többi bolygó hatásával magyarázható, egy másik része azonban newtoni magyarázat nélkül maradt. Ezt elsőként *Le Verrier* jelezte 1859-ben, a Merkúr bolygó esetében. Eredményét 1898-ban *S. Newcomb* megerősítette, és a magyarázatra váró változásra a ma is használt 43 ívmásodperc/évszázad értéket adta. Newton gravitációs törvényének érvényességét a Világegyetem egészére is kiterjesztette. De ekkor a térben végtelen Világegyetem esetében egyes fizikai mennyiségek végtelenné válnak. A végtelentől irtózó fizikus és csillagász ezt nem fogadhatta el. Nyilvánvalóvá vált, hogy a gravitáció newtoni magyarázat nélkül maradt kérdései a newtoni keret túllépését igénylik.

A következőkben azokból a próbálkozásokból válogatunk, amelyek a gravitációelmélet terén való előrehaladást célozták.

J.L. Lagrange 1788-ban közzétett *Mécanique analytique* című munkájában összegezte a ma nevét viselő új mechanikájának eredményeit. A gravitáció elméletét 1773-ban a gravitációs potenciálfüggvénnyel gazdagította. A gravitációs hatásnak kitett m tömegű testre ható erőt a φ potenciálfüggvényt tartalmazó

$$F = -m \nabla \varphi \quad (11)$$

kapcsolat adja.

S. Poisson 1813-ban φ -re a

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_3^2} = 4\pi K \rho \quad (12)$$

differenciálegyenletet adta, amelyben ρ tömegsűrűséget jelöl. Amennyiben az origóban rögzített M tömegű, pontszerű tárgy hatásával kell számolnunk, (12) jobb oldalán ρ helyett az $M\delta(\mathbf{x})$ kifejezést írjuk, amelyben a $\delta(\mathbf{x})$ Dirac-féle disztribúció szerepel. Ameddig ezt a matematikai objektumot nem ismerték, (12) jobb oldalára zérót írtak azzal a megjegyzéssel, hogy az így nyert Laplace-egyenlet az origón kívüli tartományban használható.

A (8) alatti erő a

$$\varphi = -K \frac{M}{r} \quad (13)$$

potenciálból származtatható, amelyik az origón kívül teljesíti a

$$\frac{d^2 \varphi}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d\varphi}{dr} = 0. \quad (14)$$

egyenletet.

Az előbbieken a gravitációelmélet eszköztárát a φ függvénnyel bővítettük, de nem léptünk ki a newtoni keretből. Ezt *C. Neumann* tette meg azzal, hogy 1873-ban (14) bal oldalát a $-\lambda\varphi$ taggal egészítette ki (λ állandó). Ily módon a

$$\varphi = -K \frac{M}{r} e^{-\lambda^{1/2} r} \quad (15)$$

potenciálhoz jutott.

A Poisson-egyenlet és a Neumann-féle „világállandó” fontos szerephez jutott a gravitáció későbbi történetében. A (15) alatti potenciál kiküszöbölte a „gravitációs paradoxon”-t (a Világegyetem egészére véges értékeket szolgáltatott), de alkalmatlannak bizonyult arra, hogy a Naprendszer valamennyi bolygójára helyes perihéliumeltmozdulás-értéket nyújtson.

Ch.A. Coulomb 1785-ben kimutatta, hogy az elektromos töltéssel rendelkező, pontszerű tárgyak esetében egy olyan erőtvénnyel használható, amelyik a newtoni gravitációs törvényre emlékeztet. *W. Weber* 1846-ban arra a következtetésre jutott, hogy a mozgó töltések kölcsönhatásának leírásakor a töltést hordozó tárgyak sebességét is figyelembe kell venni. Arra is felhívta a figyelmet, hogy eredményeit a gravitáció elméletében is hasznosítani lehetne.

Tekintsük a Nap–bolygó rendszert. A Weber-féle program hívei ebben az esetben Lagrange-keretbe illő (a bolygó helyét és sebességét rögzítő adatoktól függő) potenciálokkal próbálkoztak. A javasolt függvények közül a Gerber-féle, 1898-ban közölt

$$\varphi = -K \frac{M}{r} \left[1 + \frac{2}{c} \frac{dr}{dt} + \frac{3}{c^2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 \right] \quad (16)$$

potenciál vált közismertté. E potenciál a perihélium-eltmozdulásra a ma is használt, helyes

$$\delta\varphi = \frac{6\pi KM}{a c^2 (1 + \varepsilon^2)} \quad (17)$$

kifejezést adta, amelyben a a fél nagytengely hosszát, c a fény vákuumbeli terjedési sebességét, ε a bolygópálya numerikus excentricitását jelöli. A (17) által adott $\delta\varphi$ szög egy keringésre vonatkozik. *P. Gerber* potenciáljára nem tudott elfogadható indoklást adni, úgy tűnik, hogy potenciálját a Newcomb által rövidebb korábban (egyazon évben) nyert, a fentiekben már említett adathoz igazította.

Az elektromágneses kölcsönhatás eredményeinek a gravitáció elméletébe történő átültetése zsákutcának bizonyult. Ennek ellenére ez az eljárás legalább két szempontból hasznos hozott. A (17) alatti képlet a gravitáció elméletében ugyanazt a szerepet töltötte be, mint a Balmer-képlet a kvantumelméletben. Másrészt, a potenciál-függvényekben szerepeltetett c sebesség azt sugallta, hogy a gravitációs hatás véges sebességgel terjed.

A helyes útra léptek azok, akik a harmadik utat választották. Ezen az úton az első lépéseket a két *Bolyai* és *N.I. Lobacsevszkij* tették meg. A newtoni elmélet az euklideszi geometriára alapszik. Miután Bolyai János és Lobacsevszkij az euklideszi geometria egyeduralmát megtörték, egy új, nemeuklideszi alapot kínáltak.

Bolyai Farkas 1832-ben kiadott *Tentamen* című munkája első kötetében egy zseniális sejtést fogalmazott meg. Elsőként állította, hogy a bolygók mozgásában jelentkehetnek olyan zavarok, amelyeket csak nemeuklideszi alapon lehet magyarázni. A sejtést a fejlődés 27 év múltán a tények körébe sorolta.

Bolyai János továbblépett. Egy 1835-ös keltezésű kéziratában a nemeuklideszi alapra helyezett mechanika kidolgozását szorgalmazta. Első lépésként egy új, newtoni gravitációs törvényt adott. Az M tömegű test által, tőle r távolságban lévő, m tömegű testre gyakorolt centrális erő radiális komponensére a newtoni elmélet az

$$F = -K \frac{mM}{r^2} \quad (18)$$

képletet adta. A (18) jobb oldalán szereplő törtet 4π -vel bővítve a nevezőben, a gömbfelszínre érvényes euklideszi kifejezés jelentkezik. A Bolyai–Lobacsevszkij-geometria a gömbfelszínre a

$$4\pi k^2 \sinh^2 \frac{r}{k} \quad (19)$$

kifejezést adta. Bolyai erre alapozott, amikor (18)-at az

$$F = -K m M \left(k^2 \sinh^2 \frac{r}{k} \right)^{-1} \quad (20)$$

erőképlettel helyettesítette. Bolyai világában k -nak a természetes hosszegység szerepet szánta, és a valóságnak megfelelő k érték megadását a megoldandó feladatok körébe sorolta.

Bolyai János erőtvényével fél évszázaddal előzte meg korát. *P. Stäckel*, aki még láthatta a törvényt tartalmazó kéziratot, az 1903-ban közölt *A többmértetű sokaságok mechanikájáról* című dolgozatában a következőket írta: „Érdekes, hogy egy bolygó mozgását a központi test körül Killing (1885-ben) ugyancsak a Bolyai Jánostól föltételezett vonzási törvény mellett discutálta.” Később Stäckel 1914-ben kiadott *Bolyai Farkas és Bolyai János geometriai vizsgálatai* című könyvében azt is jelezte, hogy Lobacsevszkij Bolyaival csaknem egy időben szintén megállapította a (20) alatti törvényt, amelyet a *Kazáni Egyetem Tudományos Közleményeiben* közölt. Ezért (20)-at joggal nevezhetjük Bolyai–Lobacsevszkij-féle gravitációs törvénynek.

Nem véletlen, hogy Bolyai és Lobacsevszkij elképzelései az ő idejükben nem tudtak gyökeret verni. Geometriájukat csak 1860 után ismerték el, így gravitációs törvényük sem számíthatott elismerésre.

B. Riemann 1854-ben tartotta meg a göttingeni egyetemen *A geometria alapjait képező feltevések* című habilitációs előadását. (Dolgozata csak halála után, 1867-ben látott napvilágot.) Ezzel a nemeuklideszi geometria történetében új korszak kezdődött. Bolyai–Lobacsevszkij-geometria elszigeteltsége megszűnt, az új nemeuklideszi geometria eszköz- és fogalomtára folyamatosan gazdagodott. Fontos szerephez jutott a görbület fogalma. A Bolyai–Lobacsevszkij-féle világot az állandó, negatív görbületű (hiperbolikus) terek körébe sorolták.

A riemann geometria fontos szerepet játszott az Einstein-féle modern gravitációelmélet megalapozásában. Az általunk szemügyre vett korszakban a fizikusok és csillagászok az állandó görbületű terek használatára szorítkoztak.

A Nap–bolygó rendszer vizsgálata ismét napirendre került. A bolygómozgást állandó görbületű terekben *R. Lipschitz* (1873), *A. Cayley* (1873), *W. Killing* (1885) vizsgálták.

Térjünk vissza a (20) alatti törvényhez. Első pillanatban úgy tűnik, hogy az általánosítással nyert törvény minden elvi alapot nélkülöz. Ez nem így van. Az erő a

$$\begin{aligned}\varphi &= -K \frac{M}{r} \left(\coth \frac{r}{k} - 1 \right) \\ &= -KM \left(k \sinh \frac{r}{k} \right)^{-1} e^{-\frac{r}{k}}\end{aligned}\quad (21)$$

potenciálból származtatható.

Az r , θ , φ gömbi koordináták segítségével megadott

$$ds^2 = dr^2 + k^2 \sinh^2 \frac{r}{k} (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2)$$

ívelemnégyszet kifejezés felhasználásával a (14) egyenlet hiperbolikus megfelelőjéhez jutunk:

$$\frac{d^2 \varphi}{dr^2} + \frac{2}{k} \coth \frac{r}{k} \frac{d\varphi}{dr} = 0. \quad (22)$$

A Bolyai–Lobacsevszkij-féle potenciál teljesíti a (22) egyenletet. (20)-ból a $k \rightarrow \infty$ esetben a newtoni kifejezéshez jutunk. Mivel $k \sinh(r/k) > r$, (20) alapján

$$|F(r, k)| < |F(r, \infty)| \quad (23)$$

írható, tehát a hiperbolikus esetben a newtoni vonzást árnyékoló (gyengítő) hatással kell számolni.

Bolyai új világának szerkezetét a k értéke szabja meg, az a k érték, amelyik a gravitációs törvényben is szerepel. Lehet, hogy Bolyai János erre gondolt, amikor a gravitáció és a tér szerkezete közötti kapcsolatot állító sorait megfogalmazta:

„A nehézkedés törvénye is szoros összeköttetésben, folytatásban tetszik [mutatkozik] az űr természetével, valójával [alkatával] miljségével s [gondolom] az egész természet [világ] foljásával.”

Bolyai nem tudott a *Gauss* által 1828-ban bevezetett görbületfogalomról és arról, hogy új világának a görbületét a k értéke szabja meg. Ma már állítjuk, hogy Bolyai a háromdimenziós euklideszi teret meggörbítette a gravitáció segítségével, miáltal a newtoni gravitációs törvény helyébe egy új törvényt állított.

Bolyai nem lépett ki a klasszikus keretből, erre az ő idejében nem volt lehetőség. A továbblépést 1905, a speciális relativitáselmélet megalapozásai után lehetett megtenni. Az új elmélet egy pseudo-euklideszi szerkezetű négydimenziós téridőt kínált, és ezzel a gravitációelmélet alkalmassá vált a riemann geometria befogadására. A négydimenziós téridő meggörbítésére *Einstein* vállalkozott, és ezzel a gravitációt teljesen új megvilágításba helyezte. Például a Nap által meggörbített pseudo-riemann térből számúzta a gravitációs erőt és a téridőben a bolygók számára szabad utat biztosított.

MIÉRT ÉRDEMES AZ ÉGBOLTFÉNY POLARIZÁCIÓJÁT AZ ULTRAIBOLYÁBAN ÉRZÉKELNI?

A polarizációlátás UV-paradoxonának légköri optikai föloldása

Barta András, Mizera Ferenc, Horváth Gábor

ELTE Biológiai Fizika Tanszék, Biooptika Laboratórium, Budapest

Légköri optikai szempontból meglepő, hogy sok rovarfaj a térbeli tájékozódásra használt poláros égboltfényt az ultraibolya (UV) tartományban érzékeli, hiszen az égboltfénynek mind az intenzitása, mind pedig a polarizációfoka lényegesen kisebb az UV-ben, mint kéken vagy zöldben. E jelenséget nevezzük a polarizációlátás UV-paradoxonának, amit egy egyszerű légköri optikai modell felhasználásával sikerült föloldanunk. Habár a múltban sokan próbálták már föloldani e látszólagos ellentmondást, mindeddig nem született kielégítő magyarázat. Megmutattuk, hogy ha a felhő és a földi megfigyelő közti légréteget a közvetlen napfény részlegesen megvilágítja, akkor a felhős égbolterület irányából érkező fény p polarizációfoka UV-ben a legnagyobb, mert az UV-szegény polarizálatlan felhőfény az UV-ben csökkenti a legkevésbé a felhő alatti légrétegben szóródott napfény polarizációfokát. Hasonlóan, a zöld lombozaton átszűrődő égboltfény polarizációfoka is az UV-

ben a legnagyobb, mert a lombozat polarizálatlan UV-szegény zöld fénye az UV-ben csökkenti a legkisebb mértékben a lombozat alatt szóródott napfény polarizációfokát. Emiatt a felhők, illetve a lombok irányából jövő fény polarizációja leghatékonyabban az UV-ben érzékelhető, mely spektrális tartományban legnagyobb az esély arra, hogy a fény polarizációfoka nagyobb a polarizációérzékelés p^* küszöbértékénél. Ugyanakkor felhők hiányában az égbolt-polarizáció érzékelésének nincs optimális hullámhossza: a megfigyelő szemébe jutó fény polarizációfoka nemcsak az UV-ben, hanem a teljes látható tartományban is meghaladja a p^* érzékelési küszöböt. Rávilágítottunk arra is, hogy szoros analógia van az égboltfény polarizációjának UV-ben történő érzékelése és az UV-ben való polarotaktikus vízdetekező között. Cikkünkben a szóban forgó paradoxon föloldásával kapcsolatos főbb eredményeinkről számolunk be.

A polarizációlátás UV-paradoxona

Az állatok számára a hatékony tájékozódás életbevágóan fontos, legyen szó például a fészkekhez vagy az egyszer már fölfedezett bőséges tápanyagforráshoz való visszatalálásról. A legtöbb állatfaj navigációhoz a Napot használja viszonyítási irányként, mivel a Nap egy kiszámítható mozgású, könnyen fölismerhető égi objektum. Ez a módszer azonban csak akkor alkalmazható, ha a Nap látszik. Felhős időben vagy amikor tereptárgyak takarják a Napot, az állatok könnyen eltévedhetnek. Számos állatfaj ilyen esetekben közvetve határozza meg a Nap helyét. Ennek az az alapja, hogy ezen állatok képesek érzékelni a fénynek az emberi látórendszer számára gyakorlatilag észlelhetetlen polarizációs irányát, vagyis a fény, mint transzverzális elektromágneses hullám elektromos térerősségvektorának kitüntetett rezgési irányát. A légkörben szóródott napfény polarizációs iránya egy jellegzetes mintázatot hoz létre az égbolton (4.a ábra). Ebből a mintázatból a Nap helye olyankor is meghatározható, amikor az valamilyen oknál fogva közvetlenül nem látható. Az égbolt polarizációs mintázata tehát egy hatékony eszköz a polarizációérzékelő állatok tájékozódásában.

A poláros égboltfényt például sok rovarfaj az anatómiailag és fiziológiailag specializálódott ommatídiумаival érzékeli térbeli tájékozódás céljából [1]. E speciális ommatídiumok az összetett szem háti régiójában egy keskeny sávban helyezkednek el, ahol kétféle monokromatikus, polarizációérzékelő és egymásra merőleges mikrobolyhokkal¹ rendelkező fotoreceptorok vannak. E fotoreceptorok a fölülről jövő fény polarizációját a spektrum ultrabolya (UV) tartományában érzékelik a legyekben, háziméhekben, sivatagi hangyákban, ganajturó bogarakban és kövipókokban, kékben a tücsökök, sivatagi sáskák és svábbogarak esetén, míg zöldben a cserebogarakban és lisztbogarakban (táblázat). Az égbolt-polarizáció UV-beli detekciója légköri optikai szempontból meglepő, mert a tiszta égbolt szórt fényének I_{eg} intenzitása és p_{eg} lineáris polarizációfoka lényegesen alacsonyabb a spektrum UV-tartományában, mint kékben vagy zöldben (1. és 2. ábra). E jelenséget nevezzük a *polarizációlátás UV-paradoxonának*.

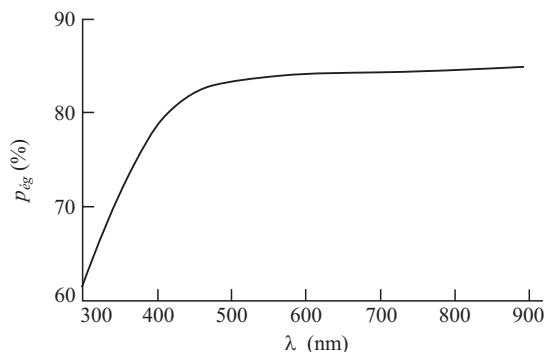
Mióta Karl von Frisch 1949-ben fölfedezte a háziméhek égbolt-polarizáció alapuló tájékozódási képességét, sokan megpróbálták már föloldani e látszólagos ellent-

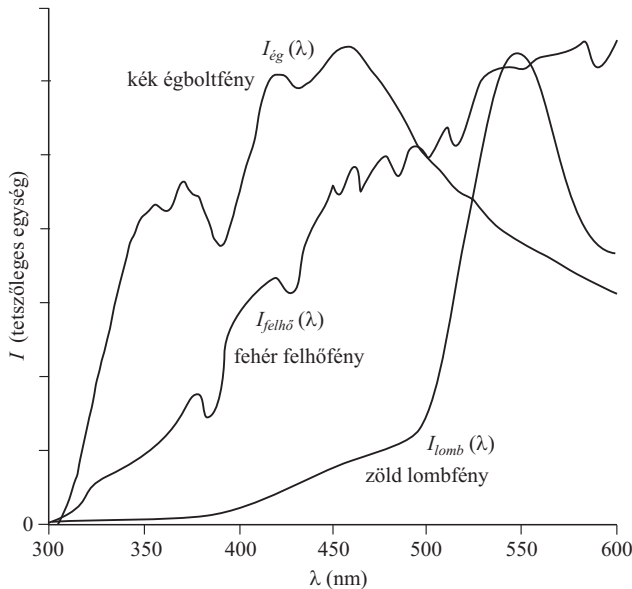
¹ Az egymással párhuzamos hossztengeyű mikrobolyhok (latinul *microvilli*) a fotoreceptorok membránjának ujjszerű kitérkedései. E membránban a bolyhok hossztengeyével közel párhuzamosan irányulnak a fényelnyelő pigmentmolekulák dipóltengeyei, miáltal a receptor több fényt nyel el a lineárisan poláros fényből, ha annak rezgéssíkja párhuzamos a mikrobolyhokkal, mint mikor merőleges rájuk. Az ilyen mikrobolyhos fotoreceptorok tehát érzékenyek a fény lineáris polarizációjára.

Az égboltfény polarizációját detektáló és térbeli tájékozódásra használó azon állatfajok (zömében rovarok), amelyeknél ismert a polarizációérzékelés maximumának λ_{pol} hullámhossza			
latin név	magyar név	λ_{pol} (nm)	szín-tartomány
<i>Lethrus apterus</i>	nagyfejű csajkó	350	UV
<i>Lethrus inermis</i>	galacsinhajtó bogár	350	UV
<i>Pachysoma striatum</i>	galacsinhajtó bogár	350	UV
<i>Drassodes cupreus</i>	kövipók	350	UV
<i>Calliphora erythrocephala</i>	kék dongólégy	330–350	UV
<i>Musca domestica</i>	házilégy	330–350	UV
<i>Apis mellifera</i>	háziméh	345–350	UV
<i>Cataglyphis setipes</i>	sivatagi hangya	380–400	UV
<i>Bombus hortorum</i>	dongóméh	353, 430	UV–kék
<i>Cataglyphis bicolor</i>	piros hosszúlábú hangya	380–410	UV–kék
<i>Leucophaea maderae</i>	Madeira-csótány	< 471	UV–kék
<i>Gryllus campestris</i>	mezei tücsök	433–435	kék
<i>Schistocerca gregaria</i>	egyiptomi vándorsáska	450	kék
<i>Melolontha melolontha</i>	májusi cserebogár	~ 520	zöld
<i>Parastizopus armaticeps</i>	lisztbogár	~ 540	zöld

mondást, azonban mindegyik magyarázat sántít, vagy egy széles körben elterjedt tévedésen alapul. Cikkünkben először áttekintünk néhány ilyen próbálkozást annak igazolásául, hogy egy meggyőzőbb magyarázat szükséges. Kutatócsoportunknak nemrég sikerült választ adnia erre a régóta megválaszolatlan kérdésre: egy egyszerű légköri optikai modellszámítás segítségével megmutattuk [2], hogy napközben felhők vagy lombok alatt az égboltfény polarizációját legelőnyösebb az UV-ben érzékelni, mert ilyenkor a polarizációfok az UV-ben maximális. Cikkünkben e modellt ismertetjük. Egy lehetséges légköri optikai magyarázatot adunk arra is, hogy a tücsök az égboltfény polarizációjának detekciójokor miért részesítik előnyben mégis a kék spektrális tartományt az UV-vel szemben. Végül rámutatunk az égbolt-polarizáció UV-beli érzékelése és a vízirovarok UV-beli polarotaktikus vízdetekciója közötti szoros analógiára.

1. ábra. A tiszta égbolt szórt kék fényének p_{eg} polarizációfoka a λ hullámhossz függvényében a Naptól 90°-ra az antiszoláris meridiánon mérve, mikor a Nap 10°-ra volt a horizont fölött.





2. ábra. A tiszta ég szórt kék fényének $I_{\text{ég}}(\lambda)$ spektruma a Naptól 90° -ra az antiszoláris meridiánon, a horizont fölött 40° -ra az antiszoláris meridiánon lévő sűrű felhő fényének $I_{\text{felhő}}(\lambda)$ spektruma és a nyárfa (*Populus deltoides*) levelei által áteresztett zöld fény $I_{\text{lomb}}(\lambda)$ spektruma.

Korábbi próbálkozások a paradoxon föloldására

- Az állatok polarizációérzékelésével foglalkozó irodalomban gyakran fölbukkanó tévhit, hogy a tiszta ég szórt kék fényének $p_{\text{ég}}$ polarizációfoka UV-ben a legnagyobb. Számos kutató helytelenül ezzel próbálta magyarázni, hogy sok rovar az UV-ben érzékeli az égboltfény polarizációját. Ugyanakkor légköri optikai mérések [3] egyértelműen kimutatták, hogy tiszta légkör esetén a λ hullámhossz csökkenésével a $p_{\text{ég}}$ polarizációfok jelentősen csökken (1. ábra).

- Gyakran idézik a Nobel-díjas Karl von Frisch [4] magyarázatát is, mely szerint az égbolt polarizációs mintázata UV-ben a legkevésbé érzékeny a légköri zavarokra. Ugyanakkor Frisch sohasem definiálta pontosan e titokzatos „légköri zavar”-okat.

- Más kutatók szerint [5] a kék égboltfényben viszonylag nagy arányban jelen lévő UV-összetevő magyarázhatja az égbolt-polarizáció UV-beli érzékelését. Azonban a 2. ábrán egyértelműen látszik, hogy a szórt égboltfény $I_{\text{ég}}$ intenzitása az UV-ben lényegesen kisebb, mint kékben, ahol az intenzitásnak maximuma van.

- Mazokhin-Porshnyakov [6] szerint az UV-fény segít fototaktikusán megkülönböztetni az égboltot a földtől, ugyanis az égboltfény UV-ben gazdag, míg a földről visszavert fény nagyobb hullámhosszakban gazdagabb, azaz UV-szegény. Mivel azonban az égboltfény csak fölülről érheti a szemet, míg a földről visszavert fény csak alulról, a tájékozódásra használt fotoreceptorok megfelelő irányításával és szembe alkalmas elhelyezésével a hullámhossztól függetlenül elkülöníthető az égboltfény és a földfény összetévesztése. Sok rovarnál valóban ez a helyzet: az égboltfény polarizációjára érzékeny fotoreceptorok az összetett szemnek csak egy keskeny háti sávjában helyezkednek el az égbolt felé irányulva. Így a Mazokhin-Porshnyakov által fölvetett probléma megoldásához nincs szükség az égboltfény UV-ben való detekciójára.

- Wehner [7] szerint az UV-beli égbolt-polarizáción alapuló tájékozódás a hosszabb hullámhosszak segítségével történő mozgás- és alakfölismeréstől függetlenül működhet. Ha azonban az égbolt polarizációját érzékelő fotoreceptorok és a mozgás-, illetve alakfölismerést végző fotoreceptorok a szem eltérő területein elkülönülve helyezkednek el, akkor azok akár azonos spektrális tartományban is működhetnek. A valóságban a mozgás- és alakfölismerő, illetve a polarizációérzékeny detektorok a szem különböző területein találhatók, így a fent említett probléma kiküszöbölődik.

- Wehner [8] szerint az UV-ben érzékeny fotoreceptorok eredetileg a napfény észlelésére fejlődtek ki, és csak később vállaltak szerepet a polarizáció detekciójában. Ez a föltételezés azonban nem magyarázza meg, hogy miért kellett volna az eredetileg egyszerű fotometrikus nap-

fénydetektoroknak az UV-ben működniük, hiszen, mint azt már említettük, a napfény intenzitása UV-ben lényegesen kisebb, mint kékben vagy zöldben, vagyis a szóban forgó UV-érzékeny napfénydetektorok meglehetősen előnytelenek lettek volna.

- Wehner [9] föltételezése szerint az ég polarizációja alapján történő tájékozódás azért is előnyös az UV-ben, mert e spektrális tartományban nagy az égboltfény intenzitásának gradiense. Valójában azonban az ég intenzitásgradiense a kék tartományban lényegesen nagyobb, mint az UV-ben: az UV-tartományban az égbolt sokkal homogénebb, mint kékben. Emiatt az égboltfény intenzitásának gradiensét előnytelen lenne az UV-ben érzékelni.

- Brines és Gould [10] szerint a fotoreceptorok UV-érzékenységéhez a polarizációérzékelés kifejlődésének idején a napfény erősebb UV-intenzitása vezethetett. Ennek oka az lehetett, hogy a légkör a ma-nál átlátszóbb lehetett az UV-ben, illetve hogy a Nap által kisugárzott fényben erősebb lehetett az UV-összetevő. E föltételezést azonban nehéz ellenőrizni, mivel nem ismerjük a Napból a Földre érő UV-sugárzás intenzitásának időbeli változását.

Ugyanakkor megbecsülhetjük, hogy egy rovar szemének háti részén elhelyezkedő monokromatikus polarizációérzékeny ommatidium melyik spektrális tartományban működik optimálisan az égboltfény fokozatosan növekvő UV-intenzitása függvényében. Ha a beeső égboltfény polarizációs iránya (rezgéssíkja) párhuzamos (\parallel), illetve merőleges (\perp) a fotoreceptor egymással párhuzamos mikrobolyhaira, akkor a receptor által elnyelt Q fény- mennyiséget a következőképpen számolhatjuk [1, 2]:

$$Q^{\parallel} = c \int_0^{\infty} A(\lambda) I(\lambda) [PS + 1 + (PS - 1) p(\lambda)] d\lambda, \quad (1)$$

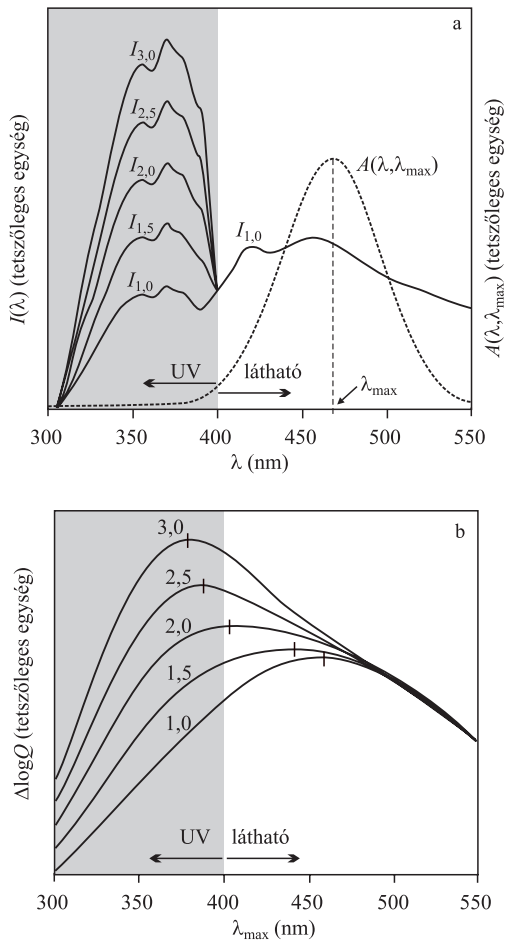
$$Q^{\perp} = c \int_0^{\infty} A(\lambda) I(\lambda) [PS + 1 - (PS - 1) p(\lambda)] d\lambda,$$

ahol c egy állandó, λ a fény hullámhossza, $A(\lambda)$ a receptor elnyelési spektruma, $I(\lambda)$ és $p(\lambda)$ a szórt égboltfény spektruma és polarizációfoka, PS pedig a receptor polarizációérzékenysége. Az utóbbi paraméter azt írja le, hogy ha a teljesen lineárisan poláros beeső fény rezgéssíkja párhuzamos a fotoreceptor mikrobolyhaival, akkor a receptor PS -szer annyi fényt nyel el, mint mikor a rezgéssík merőleges a mikrobolyhokra. A szóban forgó két esetben elnyelt fény mennyiség logaritmusai közötti különbség:

$$\Delta \log Q = \log Q^{\parallel} - \log Q^{\perp} = \log \frac{Q^{\parallel}}{Q^{\perp}}. \quad (2)$$

A logaritmusfüggvény a fotoreceptorok jelátviteli karakterisztikájára jellemző. Az egymásra merőleges irányú mikrobolyhokkal rendelkező fotoreceptorokon alapuló polarizációs irányérzékelés alapja a Q^{\parallel} és Q^{\perp} mennyiségek logaritmusának összehasonlítása, vagyis a $\Delta \log Q$ differencia meghatározása. Minél nagyobb ez a különbség, annál hatékonyabb az égboltfény polarizációjának meghatározása. Tehát $\Delta \log Q$ maximumhelye adja meg a tiszta égboltról jövő szórt poláros fény érzékelésének optimális hullámhosszát e modell szerint.

Q^{\parallel} és Q^{\perp} (1) szerinti kifejezéseinek fölhasználásával kiszámítottuk a $\Delta \log Q(\lambda_{\text{max}})$ különbséget λ_{max} függvényében az 1. ábra $p(\lambda)$ és a 3.a ábra $I_{1,0}(\lambda)$ függvényeire, ahol λ_{max} a hullámhossz, ahol a fotoreceptor $A(\lambda)$ elnyelési spektruma maximális, vagyis amely hullámhosszon a legérzékenyebb a receptor. Az eredményt a



3. ábra. (a) A tiszta égbolt szórt kék fényének valódi és képzeletbeli $I_n(\lambda)$ ($n = 1, 0, 1, 5, 2, 0, 2, 5, 3, 0$) spektrumai. Az $A(\lambda, \lambda_{\max})$ 50 nm félértekszélességű Gauss-görbe egy polarizációérzékeny fotoreceptor hullámhosszfüggő elnyelési spektruma, melynek maximuma λ_{\max} -nál van. $I_{1,0}(\lambda)$: a tiszta ég szórt kék fényének spektruma manapság. $I_n(\lambda)$, $n = 1, 5-3, 0$: a tiszta ég fényének képzeletbeli spektrumai, amelyeket úgy kaptunk, hogy az $I_{1,0}(\lambda)$ spektrum ultraviolet (UV) részét egy $n = 1, 5-3, 0$ értékű tényezővel megszoroztuk. Ezzel modelleztük az égboltfény intenzitásának az UV-tartományban történő föltételezett megnövekedését.

(b) Két $PS = 7$ polarizációérzékenységi fotoreceptor által az égboltfényből elnyelt intenzitás logaritmusának $\Delta \log Q = \log Q^- - \log Q^+$ különbsége λ_{\max} függvényében az (a) ábrán látható $I_n(\lambda)$ sorozatra számolva, amely receptorok fényelnyelő mikrobolyhai párhuzamosak (\parallel), illetve merőlegesek (\perp) a lineárisan poláros égboltfény rezgésíkjára. A $\Delta \log Q_n$, $n = 1, 0, 1, 5, 2, 0, 2, 5, 3, 0$ görbék maximuma (függőleges vonallal jelölve) rendre $\lambda_{\max} = 458, 442, 404, 390$ és 380 nm-nél van.

3. b ábrán 1,0-val jelölt görbe mutatja. Modellünkben $PS = 7$ -tel számoltunk, ami a tücskökre jellemző érték. Jól látszik a 3. b ábrán, hogy az 1,0-val jelölt görbének 458 nm-nél van maximuma, így a mai légköri fényviszonyok között a leghatékonyabb polarizációérzékeny fotoreceptoroknak a kék spektrális tartományban van az elnyelési maximuma. Ennek ellenére például a Hymenoptera (pl. méhek és sivatagi hangyák) és Diptera (pl. legyek) az égbolt polarizációját az UV-ben ($\lambda < 400$ nm) érzékeny fotoreceptorokkal érzékelik, így e receptorok ilyen szempontból nem a lehető leghatékonyabbak.

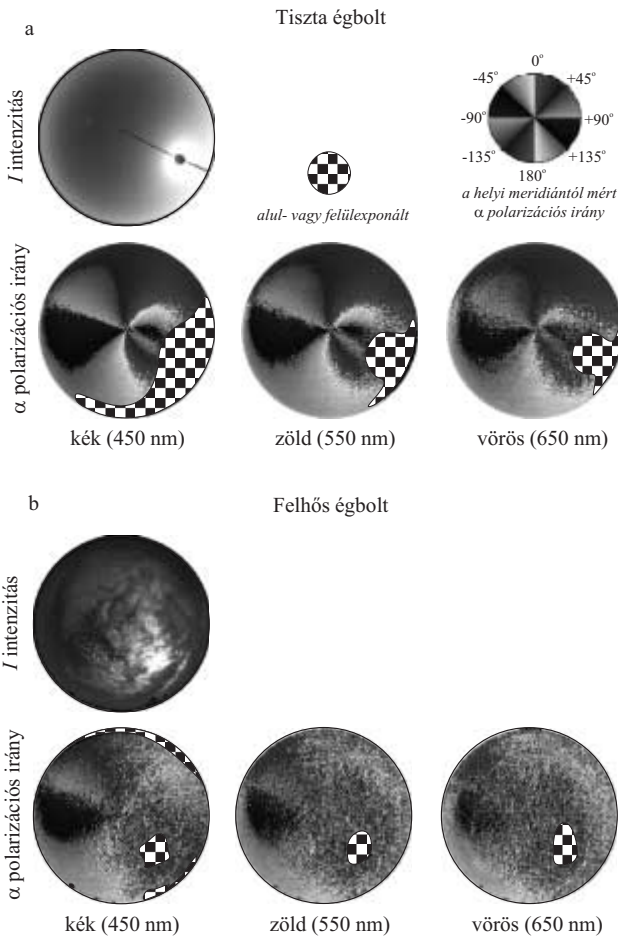
Becsüljük meg az UV-sugárzás azon ősi szintjét, ami ahhoz lett volna szükséges, hogy biztosítsa az összetett szem háti régiójában lévő fotoreceptorok fényelnyelését

jellemző $\Delta \log Q(\lambda_{\max})$ függvény maximumának az UV-tartományba való eltolódását. Kiszámítottuk a $\Delta \log Q(\lambda_{\max})$ függvényt a 3. a ábra szerinti I_n sorozatra, ahol $n = 1, 0, 1, 5, 2, 0, 2, 5, 3, 0$ és $I_{1,0}$ az égboltfény spektruma manapság, $I_{1,5}, I_{2,0}, I_{2,5}, I_{3,0}$ pedig az $I_{1,0}$ -ból származtatott képzeletbeli spektrumok, melyekben az $I_{1,0}$ spektrum UV ($\lambda < 400$ nm) részét n -nel szoroztuk meg. Az eredményeket a 3. b ábra mutatja $PS = 7$ -re. Jól látszik, hogy ha az ősi időkben az UV-intenzitás közel kétszer akkora lett volna, mint manapság, akkor a $\Delta \log Q(\lambda_{\max})$ függvény maximuma az UV-tartományban lett volna. Tehát ha az ősi UV-intenzitás a maiánál legalább kétszer nagyobb lett volna, akkor az égboltfény polarizációját az UV-tartományban lett volna érdemes érzékelni. Az UV-intenzitás ilyen nagy mértékű változása nem indokolható a Nap 11/22 éves aktivitási periódusai során bekövetkező változásokkal. Továbbá ekkora intenzitásváltozások az UV-ben igen valószínűtlenek egy olyan csillag fejlődése során, mint a Nap. Emiatt a polarizációlátás UV-paradoxonát nem magyarázhatja az égboltfény UV-komponensének esetleges korábbi magasabb szintje.

De ha a maihoz képest korábban jelentősen intenzívebb is lett volna az égboltfény UV-összetevője és az állatok annak idején ahhoz alkalmazkodtak volna, akkor is érthetetlen lenne, hogy miért nem követték időben az UV-szint csökkenését, azaz mi gátolta meg őket a mai sokkal kisebb UV-intenzitáshoz való alkalmazkodásban.

Mi a helyzet az UV-sugárzás légköri elnyelődésével? A Napból érkező UV-fény földfelszínre érő fluxusát főként a sztratoszféra ózon (O_3) koncentrációja határozza meg, ami annál nagyobb, minél nagyobb a levegő oxigén (O_2) koncentrációja. Az UV-sugárzási szint és a légköri oxigén koncentrációja közötti kapcsolatot az jelenti, hogy az UV-fény az oxigénből ózont állít elő. Ez azonban nem oldja föl a polarizációlátás UV-paradoxonát, mivel az állatok az UV-fényt 330 és 400 nm között érzékelik, ahol az ózon gyakorlatilag teljesen átlátszó. Az ózon a látható tartományban egyetlen elnyelési maximummal rendelkezik 600 nm-nél, míg az UV-tartományban hárommal, 255, 314 és 344 nm-nél. Az ózonréteg elnyelése miatt a földfelszínre érő napfény spektruma 300 nm-nél levág [11]. Emiatt a légköri oxigén és ózon koncentrációjának változása nem befolyásolja a spektrum azon tartományát, ahol az állatok az égbolt polarizációját detektálják.

• A problémakört korábban vizsgálók között Pomozi és társai [12] álltak a legközelebb a polarizációlátás UV-paradoxonának sikeres föloldásához. Ők 180° látószögű képalkotó polarimetriai mérésekkel bizonyították, hogy a tiszta égboltra jellemző polarizációsirány mintázata a felhők alatt is folytatódik, amennyiben a felhők bizonyos részeit vagy a felhők és a földfelszín közötti légréteget közvetlen napfény éri (4. ábra). A felhőt alkotó részecskéken, illetve a felhő alatti levegőben szóródó napfény ugyanazt a polarizációsirány-mintázatot hozza létre, mint ami a tiszta égboltra jellemző adott napállás mellett. A felhős égbolterületek irányából érkező fény polarizációs iránytűként használható, amennyiben a fény p polarizációfoka meghalad egy p^* küszöbértéket, és a polarizáció iránya egy küszöbnél kevésbé tér el az ugyanolyan napállású tiszta égbolt azonos irányból érkező fényének polarizációs irányától. Pomozi és társai [12] méréssel igazolták, hogy a tiszta ég polarizációs mintázatának állati tájékozódásra alkalmas k hányada a mezei tücskökre (*Gryllus campestris*) jellemző modellretina esetén a $\lambda = 650$ nm (vörös), 550 nm (zöld) és 450 nm (kék) hullámhosszakon meghaladja a 80%-ot. Emiatt tiszta ég alatt nincs szelektív előnyük a rövidebb (UV) hullámhosszon működő, égbolt-polarizációt detektáló látórendszereknek, mert az égbolt megfelelően nagy területe használható pola-

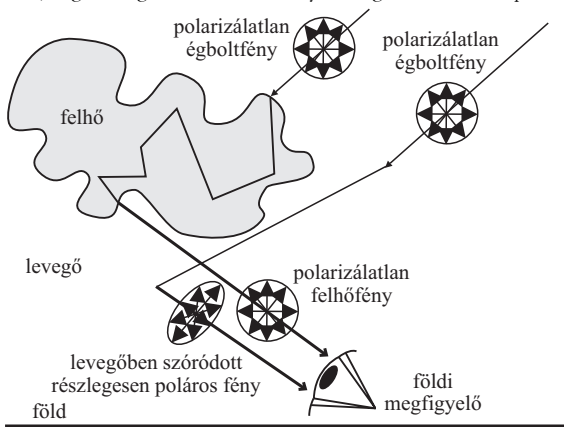


4. ábra. Tiszta (a) és felhős (b) égbolt I fényintenzitásának eloszlása és α polarizációs irányának mintázata a vörös (650 nm), zöld (550 nm) és kék (450 nm) színtartományban 180° látószögű képalkotó polarimetriával mérve. Mindkét égen a Nap pozíciója közel azonos.

rizációs iránytűként a látható tartományban is. Pomozi és társai azt is megmutatták, hogy felhős ég esetén a λ hullámhossz csökkenésével $k(\lambda)$ értéke növekszik a spektrum látható részében ($400 \text{ nm} < \lambda < 750 \text{ nm}$), ami szelektív előnyt biztosíthat az égbolt-polarizáció kék tartományban való érzékelésének.

Felhők alatt tehát az égbolt polarizációsirány-mintázatait előnyösebb kékben érzékelni, mint zöldben vagy vö-

5. ábra. Egy felhős égbolterületről a földi megfigyelő szemébe jutó fény két összetevőjének vázlatos ábrázolása. A polarizálatlan napfény a levegőben vagy a felhőben szóródik. A közvetlen felhőfény gyakorlatilag polarizálatlan, míg a levegőben szóródott fény részlegesen lineárisan poláros.



rösben. Mivel a Pomozi és társai [12] által használt polariméter csak a spektrum látható tartományában tudta mérni az égboltfény polarizációját, a $k(\lambda)$ függvény UV-beli folytatódásának kísérleti vizsgálata a jövő feladata. Amíg az égbolt-polarizáció 180° látószögű polarimetriai mérései nem terjednek ki az UV-tartományra ($200 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$) is, addig $k(\lambda)$ UV-beli viselkedését csak számítások szolgáltatathatják. Cikkünk hátralévő részében egy olyan egyszerű légköri optikai modellszámítást mutatunk be, amely szerint felhős ég esetén vagy lombok alatt $k(\lambda)$ értéke az UV-ben nagyobb, mint a spektrum látható részében.

Felhős égboltról vagy lombokról érkező fény polarizációfokának UV-beli viselkedése

Mivel adott napállás mellett a részlegesen felhős ég polarizációsirány-mintázata nagyjából megegyezik a tiszta égboltra jellemző mintázattal (4. ábra), a felhős ég polarizációs tájékozódásra alkalmas $k(\lambda)$ hányadát lényegében kizárólag az égboltfény $p_{felb\sigma}(\lambda)$ polarizációfoka határozza meg. Ha a bármelyik irányból érkező égboltfény $p_{felb\sigma}(\lambda)$ polarizációfoka nagyobb az adott állat $p^*(\lambda)$ polarizációs érzékenységi küszöbénél, akkor az abból az irányból érkező fény polarizációs iránytűként szolgálhat. Minél nagyobb $p_{felb\sigma}(\lambda)$ az egész égbolton, annál nagyobb lesz $k(\lambda)$ is. Egy felhős égbolterületről a földi megfigyelő szemébe jutó fény két részből tevődik össze (5. ábra):

1. a felhőben történő többszörös fényszóródás miatt gyakorlatilag teljesen polarizálatlan $I_{felb\sigma}(\lambda)$ intenzitású felhőfényből, valamint

2. a felhő és a megfigyelő közötti légrétegben szóródott $I_{\text{ég}}(\lambda)$ intenzitású és $p_{\text{ég}}(\lambda)$ polarizációfokú szórt fényből.

A $p_{felb\sigma}$ polarizációfok definíció szerint a poláros intenzitás és a teljes intenzitás hányadosa:

$$p_{felb\sigma}(\lambda, a) = \frac{a(\lambda, b) p_{\text{ég}}(\lambda) I_{\text{ég}}(\lambda)}{a(\lambda, b) I_{\text{ég}}(\lambda) + I_{felb\sigma}(\lambda)}, \quad (3)$$

ahol az $a(\lambda, b) \geq 0$ tényező írja le a felhő és a megfigyelő közti b vastagságú légréteg hatását a polarizációfokra. Más szavakkal, $a(\lambda, b)$ a szórt fény $I_{\text{ég}}(\lambda)$ intenzitásának és a felhőfény $I_{felb\sigma}(\lambda)$ intenzitásának arányát adja meg: minél nagyobb b , annál kisebb a felhőfény $I_{felb\sigma}(\lambda)$ intenzitásának befolyása a megfigyelőt elérő fény polarizációfokára, ami matematikailag $a(\lambda, b)$ egyre nagyobb értékét jelenti. Másfelől, a felhő alatt napfény által megvilágított légréteg b vastagságának csökkenésével csökken a szórás események száma is, ami $a(\lambda, b)$ kisebb értékét jelenti; ekkor a szórt fény $I_{\text{ég}}(\lambda)$ intenzitásának csökken a polarizációfokra gyakorolt hatása. Mivel az a tényezőt még nem mérte senki, első közelítésként a λ hullámhossztól függetlennek tekintjük. Habár az a tényezőnek a felhő alatt megvilágított légréteg b vastagságától való függése is ismeretlen, a fentiek alapján nyilvánvaló, hogy az $a(b)$ függvény monoton nő: ha egy felhő a megfigyelő közvetlen közelében van, a felhő alatt szóródott fény

intenzitása elhanyagolható, vagyis $a(b=0) = 0$. Ha pedig a felhő (például egy magas cirrusz vagy a horizonton lévő felhő) a megfigyelőtől nagy távolságban van, akkor a felhő fénye válik elhanyagolhatóvá a közte és a megfigyelő közti légrétegben szóródott fényhez képest.

A fölülről jövő fény polarizációját érzékelő és annak segítségével tájékozódó állatoknak gyakran nem a szabad égbolt, hanem a növényzet alatt kell orientálódniuk. Gondoljunk például az őserdőkben élő trópusi méhekre, amelyek az összes jelenleg élő méh őseinek számítanak. Ekkor a (3)-hoz teljesen hasonlóan számítható a lombzaton átszűrődő zöld polarizálatlan fény és a lombok alatti légrétegben szóródó napfény keverékének a $p_{lomb}(\lambda)$ polarizációfoka, amennyiben a lombok alatti légréteget közvetlen napfény éri, ahogy az gyakran előfordul például az erdőkben. Ilyenkor a felhőfény $I_{felb\sigma}(\lambda)$ spektruma helyett a lombfény $I_{lomb}(\lambda)$ spektrumával kell számolnunk:

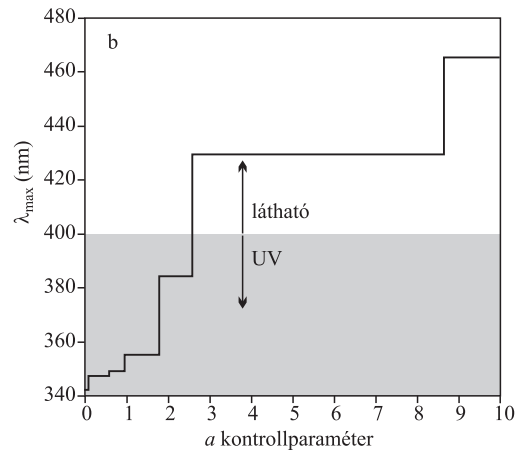
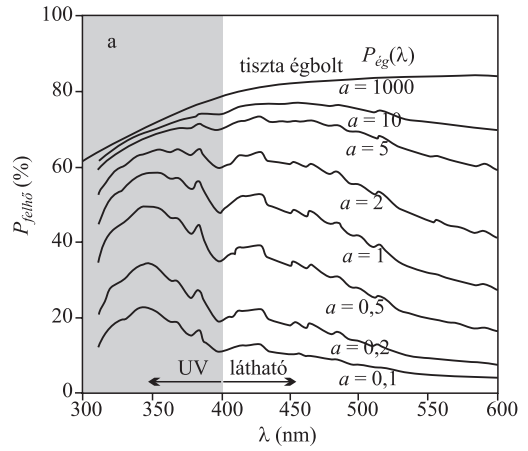
$$p_{lomb}(\lambda, a) = \frac{a p_{\text{ég}}(\lambda) I_{\text{ég}}(\lambda)}{a I_{\text{ég}}(\lambda) + I_{lomb}(\lambda)}, \quad (4)$$

ahol megint $a \geq 0$. Az 1. ábra a tiszta ég szórt fényének $p_{\text{ég}}(\lambda)$ polarizációfokát mutatja a Naptól 90° -ra az anti-szoláris meridiánon mérve. A 2. ábrán látható az égboltfény $I_{\text{ég}}(\lambda)$ és a felhőfény $I_{felb\sigma}(\lambda)$ spektruma. A felhőfény spektrumát egy sűrű felhő alatt mérték, amikor az $a I_{\text{ég}}(\lambda) + I_{felb\sigma}(\lambda)$ teljes fényintenzitás gyakorlatilag megegyezett a felhőfény $I_{felb\sigma}(\lambda)$ intenzitásával, mert $a \approx 0$ volt. Az ezen függvények fölhasználásával számított $p_{felb\sigma}(\lambda, a)$ polarizációfokot a 6.a ábra mutatja, ahol jól látható, hogy

- ha $a < 2,5$ (ilyenkor a felhőfény dominál, vagyis a felhő és a megfigyelő közötti légréteg vastagsága kisebb egy küszöbértéknél), akkor $p_{felb\sigma}(\lambda, a)$ az UV-tartományban ($\lambda < 400$ nm) maximális;
- ha $a > 2,5$, akkor a $p_{felb\sigma}(\lambda, a)$ polarizációfok maximuma a látható ($400 \text{ nm} < \lambda < 800 \text{ nm}$) tartományban van;
- ha $a > 10$, akkor a $p_{felb\sigma}(\lambda, a)$ függvény a $p_{\text{ég}}(\lambda)$ függvényt közelíti (1. ábra).

E jellemzőket a következők indokolják. Habár az égboltfény $a p_{\text{ég}} I_{\text{ég}}$ poláros intenzitása nagyobb a kékben (K), mint az UV-ben, mert $p_{\text{ég}}^{(K)} > p_{\text{ég}}^{(UV)}$ és $I_{\text{ég}}^{(K)} > I_{\text{ég}}^{(UV)}$, viszont UV-ben a felhőfény $I_{felb\sigma}^{(UV)}$ intenzitása sokkal kisebb a felhő alatt szóródott fény $a I_{\text{ég}}^{(UV)}$ intenzitásánál. Más szavakkal, ha a λ kékből UV-re vált, a $p_{felb\sigma}(\lambda, a)$ (3) kifejezésbeli nevezője sokkal gyorsabban csökken, mint a számlálója, ezért $p_{felb\sigma}^{(UV)}(a)$ nagyobb lesz, mint $p_{felb\sigma}^{(K)}(a)$.

A 6.b ábra az égbolt-polarizáción alapuló tájékozódás szempontjából leghatékonyabban használható λ_{max} hullámhosszat mutatja az a kontrollparaméter függvényében, vagyis azon hullámhosszat, ahol $p_{felb\sigma}(\lambda, a)$ maximális. A 2. ábrán látható a nyárfa (*Populus deltoides*) lombzaton átszűrődő égboltfény $I_{lomb}(\lambda)$ spektruma. A felhőfényhez hasonlóan a lombfény is UV-ben a legkisebb intenzitású, és a levélbeli többszörös fényszóródás következtében gyakorlatilag teljesen polarizálatlan. Következésképpen hasonló jelenségek érvényesek, mint felhők alatt, amint azt a 7. ábra is mutatja. Ha $a < 0,8$, akkor a lombok alatti levegőben szórt részlegesen poláros fényből és a leveleken átszűrődő UV-hiányos polarizálatlan zöld fényből álló lombfény $p_{lomb}(\lambda, a)$ polarizációfoka az



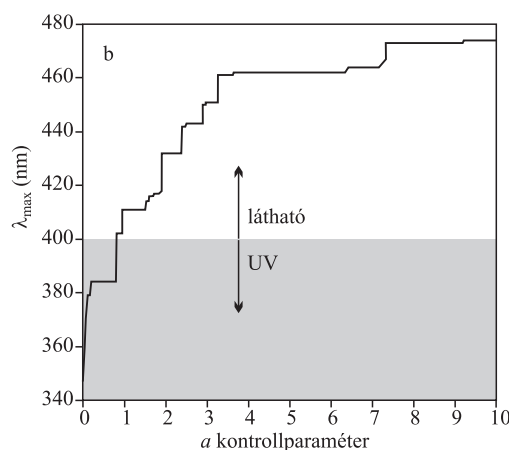
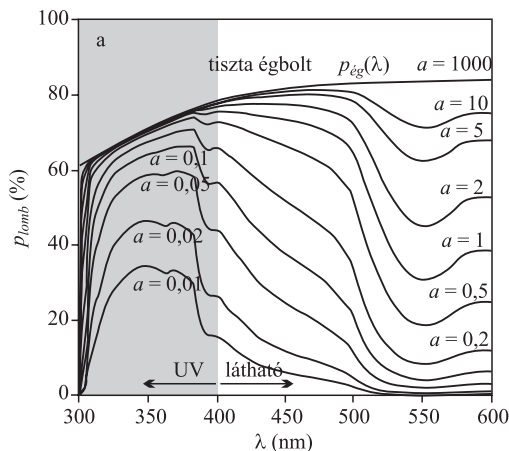
6. ábra. (a) Felhős égbolterületről jövő fénynek az a kontrollparaméter különböző értékeinél a (3) alapján az 1. ábra $p_{\text{ég}}(\lambda)$, valamint a 2. ábra $I_{\text{ég}}(\lambda)$ és $I_{felb\sigma}(\lambda)$ függvényei fölhasználásával számolt $p_{felb\sigma}(\lambda, a)$ polarizációfoka. Minél nagyobb az a értéke, annál intenzívebb a felhő alatt szórt poláros fény.

(b) A $p_{felb\sigma}(\lambda, a)$ függvény maximumának λ_{max} helye az a kontrollparaméter függvényében.

UV-tartományban maximális. Ilyenkor tehát a fölülről jövő lombfény polarizációját a spektrum ibolyán túli hullámhosszain lehet a leghatékonyabban detektálni. Ez azon rovarok számára fontos, amelyek lombok alatt élnek és a fölülről jövő, lombzaton átszűrődő fény polarizációsirány-mintázata alapján tájékozódnak.

A polarizációlátás UV-paradoxonának föloldása

Megmutattuk tehát, hogy a polarizálatlan felhőfénynek, illetve lombfénynek és a felhők, illetve lombok alatti légrétegben szóródott napfénynek az a kontrollparaméterrel jellemzett aránya hogyan határozza meg a felhők, illetve lombzaton alatti megfigyelőhöz eljutó fény $p(\lambda, a)$ polarizációfokát. A felhők és lombok hatása közti egyetlen fontos különbség, hogy míg a felhők nagyon nagy távolságra is lehetnek a megfigyelőtől (ilyenkor az a kontrollparaméter értéke nagy), addig a lombok néhány 10 méter magasabban nem lehetnek a talajtól (ekkor az a kontrollparaméter kicsi). Fontos azonban megjegyezni, hogy a felhős ég és a lombok alatti fényviszonyokra számolt polarizációfok (3) és (4) szerinti kifejezéseiben szereplő



7. ábra (a) A tiszta égbolt lomboxton átszűrődő fényének az a kontrollparaméter különböző értékeinél a (4) egyenlet alapján az 1. ábra $p_{\text{ég}}(\lambda)$, valamint a 2. ábra $I_{\text{ég}}(\lambda)$ és $I_{\text{lomb}}(\lambda)$ függvényei felhasználásával számolt $p_{\text{lomb}}(\lambda, a)$ polarizációfoka. Minél nagyobb az a értéke, annál intenzívebb a lomboxat alatt szórt poláros fény.

(b) A $p_{\text{lomb}}(\lambda, a)$ függvény maximumának λ_{max} helye az a kontrollparaméter függvényében.

két a kontrollparaméter nem azonos egymással: tehát adott b magasságú felhőhöz tartozó a kontrollparaméter értéke nem egyenlő az ugyanolyan b magasságú lomboxhoz tartozó a kontrollparaméter értékével. A fentiek alapján a polarizációlátás UV-paradoxona a következőképpen oldható föl:

- Tiszta ég esetén az égbolt-polarizáció érzékelésére nincs optimális hullámhossz, mivel a tiszta ég $p_{\text{ég}}$ polarizációfoka minden hullámhosszon nagyobb a rovarok p^* polarizációs küszöbénél, így az égbolt polarizációs tájékozódásra alkalmas $k(\lambda)$ hányada az UV- és a látható tartományban egyaránt megfelelően nagy.

- Részlegesen felhős ég esetén a tiszta égboltra jellemző polarizációirány-mintázat folytatódik a felhők alatt is, különösen a spektrum kék és UV-tartományokban.

- Ha a felhők alatti légréteget közvetlenül megvilágítja a Nap, akkor a felhős területek irányából érkező fény $p_{\text{felbő}}$ polarizációfoka az UV-ben a legnagyobb, mert az UV-szegény polarizálatlan felhőfény e spektrális tartományban csökkenti legkevésbé a felhő alatti légrétegben szóródott fény polarizációfokát. Ekkor tehát az égbolt-polarizáció érzékelése az UV-ben optimális.

Hangsúlyozzuk, hogy habár végig a rovarok égboltpolarizáció-érzékeléséről beszéltünk, eredményeink minden égbolt-polarizációt detektáló állatra érvényesek. Azért foglalkoztunk mégis csak rovarokkal, mert jelenleg a *Drassodes cupreus* kövipók kivételével kizárólag rovarokról tudjuk, hogy mely spektrális tartományban érzékelik az égbolt polarizációját (táblázat). Bár sok fajról (például a *Palaemonetes vulgaris* garnélarákról) bizonyították már viselkedési vizsgálatokkal, hogy érzékeli az égbolt polarizációs mintázatát, általában nem ismert, hogy a spektrum melyik tartományában történik mindez. Ugyanakkor jöllehet, számos fajról (például az *Oncorhynchus mykiss* szivárványos pisztrángról) tudjuk, hogy melyik spektrális tartományban érzékeny a fény polarizációjára, az viszont nem bizonyított még, hogy e képességét az égbolt polarizációs mintázatának detektálására használja. A szakirodalom átnézése után [1] állítottuk össze a táblázatot, melyben csak azon fajok szerepelnek, amelyekről i) bizonyított, hogy érzékelnik képesek az égbolt polarizációját, és azt navigációra használják, valamint ii) ismert, hogy mely spektrális tartományban történik mindez.

Amikor az égbolt-polarizációt kékben érdemes érzékelni

Az UV-tartomány mellett szóló fenti érveink ellenére bizonyos rovarfajok kékben vagy zöldben érzékelik az égbolt polarizációját (táblázat). Nyilvánvaló, hogy az egyes rovarfajok által a poláros égboltfény alapján történő tájékozódásra használt optimális hullámhosszat számos egyéb fontos fizikai, biológiai és környezeti tényező is befolyásolhatja. A tücskök esetében létezik egy magyarázat, hogy miért használják e célra a spektrum kék tartományát. A 7. ábrán látható, hogy a $p_{\text{felbő}}$ polarizációfok az a kontrollparaméter egy adott értékénél viszonylag magas a kék ($400 \text{ nm} < \lambda < 470 \text{ nm}$) tartományban is. Így részlegesen felhős ég esetén az UV után a kék a spektrum második legmagasabb polarizációfokkal rendelkező tartománya.

Tiszta ég esetén a kék spektrális tartománynak az UV-vel szemben a következő előnye lehet. A napfénynek és a tiszta égbolt fényének az intenzitása UV-ben kisebb, mint kékben vagy zöldben (2. ábra). Ezért alkonyatkor a tiszta égbolt fényének intenzitása előbb esik egy polarizációérzékeny látórendszer érzékelési küszöbe alá az UV-ben, mint kékben vagy zöldben. Ezzel magyarázható, hogy az alkonyatkor aktív mezei tücskök (*Gryllus campestris*) miért a kékben érzékelik az égboltfény polarizációját. A tücskök (például *Acheta domestica*, *Gryllus bimaculatus*, *Gryllus campestris*) nemcsak nappal, hanem alkonyatkor, hajnalban, sőt éjszaka is aktívak, és mindannyiuk összetett szemének háti sávjában a kék fényre érzékeny fotoreceptorok detektálják az égboltfény polarizációját. Zufall és társai [13] szerint a kék- és polarizációérzékenység a rovarszemek gyakori alkalmazkodása a nagyon alacsony fényintenzitásokhoz, míg a nappal aktív rovarok (például házimehek, sivatagi hangyák, legyek) főként az UV-ben érzékelik az égbolt polarizációját (táblázat). Felhők mellett az égboltfény UV-összetevője sokkal gyengébb, mint tiszta égnél (2. ábra), ezért felhős viszonyok között az égbolt-polarizációt előnyösebb a kékben érzékelni, mint az UV-ben. Másrészt viszont felhős ég esetén a $p_{\text{felbő}}$ polarizációfok az UV-ben maximális, így az égbolt polarizációs mintázatának érzékelése az UV-ben előnyösebb. A jelenleg még megválaszolatlan kérdés csak az, hogy melyik hatás az erősebb.

Az égbolt-polarizáció érzékelése és a polarotaktikus vízdetekció közötti analógia

A vízirovarok a vízfelszínt a róla visszaverődő fény vízszintes polarizációja segítségével, polarotaktikusan detektálják [14]. A polarotaktikusan vizet kereső rovarfajok döntő többsége a vizet az UV-ben detektálja, mivel a víz felszíne alól jövő fény intenzitása UV-ben a legkisebb, emiatt a vízről a megfigyelő szemébe jutó fény polarizációfoka UV-ben a legnagyobb. Ugyanakkor számos vízirovarfaj a spektrum látható tartományában detektálja a vízfelületről visszavert vízszintesen poláros fényt, aminek receptor-fiziológiai okait *Schwind* [15] fedte föl. Vegyük észre, hogy az optimális hullámhossztartomány tekintetében szoros analógia van az égboltfény polarizációjának és a vízfelszínről visszaverődött fény polarizációjának érzékelése között: mindkettő az UV-ben a leghatékonyabb. Ennek mindkét esetben azonosak a fizikai okai: ha az optikai környezet háttéréből jövő fény polarizálatlan – felhőzet/lombozat az égbolt esetén, illetve vízfénék/vízben lebegő részecskék a víztest esetén –, akkor az égboltfénynek, illetve a vízről visszavert fénynek is UV-ben maximális a polarizációfoka, mivel a háttérből eredő fény intenzitása az UV-ben a legkisebb.

Köszönetnyilvánítás

Kutatómunkánkat a magyar Oktatási Minisztérium *Horváth Gábornak* adott 3 éves Széchenyi István-ösztöndíja és a német Alexander von Humboldt Alapítvány 14 hónapos ösztöndíja támogatta.

Irodalom

1. HORVÁTH, G., VARJÚ, D.: *Polarized Light in Animal Vision - Polarization Patterns in Nature* – Springer-Verlag, Heidelberg–Berlin–New York, p. 447 (2003)

2. BARTA, A., HORVÁTH, G.: *Why is it advantageous to perceive the polarization of downwelling light under clouds and canopies in the UV?* – J. Theor. Biol. 226 (2004) 429–437
3. COULSON, K.L. *Polarization and Intensity of Light in the Atmosphere* – A. Deepak Publishing, Hampton, Virginia, USA (1988)
4. FRISCH, K. VON: *The Dance Language and Orientation of Bees* – Harvard Univ. Press, Cambridge, Massachusetts, USA (1967)
5. HAWRYSHYN, C.W.: *Polarization vision in fish* – Am. Sci. 80 (1992) 164–175
6. MAZOKHIN-PORSHNYAKOV, G.A.: *Insect Vision* – Plenum Press, New York (1969)
7. WEHNER, R.: *Polarized-light navigation by insects* – Sci. Am. 235/7 (1976) 106–115
8. WEHNER, R.: *The polarization-vision project: championing organismic biology* – Fortschr. Zool. 39 (1994) 103–143
9. WEHNER, R.: *The hymenopteran skylight compass: matched filtering and parallel coding* – J. Exp. Biol. 146 (1989) 63–85
10. BRINES, M.L., GOULD, J.L.: *Skylight polarization patterns and animal orientation* – J. Exp. Biol. 96 (1982) 69–91
11. TÓTH Z.: *Mi történt az ózonpajzzsal és az UV-sugárzással?* – Természet Világa 135 (2004) 245–249
12. POMOZI, I., HORVÁTH, G., WEHNER, R.: *How the clear-sky angle of polarization pattern continues underneath clouds: full-sky measurements and implications for animal orientation* – J. Exp. Biol. 204 (2001) 2933–2942
13. ZUFALL, F., SCHMITT, M., MENZEL, R.: *Spectral and polarized light sensitivity of photoreceptors in the compound eye of the cricket (*Gryllus bimaculatus*)* – J. Comp. Physiol. A 164 (1989) 597–608
14. SCHWIND, R.: *Polarization vision in water insects and insects living on a moist substrate* – J. Comp. Physiol. A 169 (1991) 531–540
15. SCHWIND, R.: *Spectral regions in which aquatic insects see reflected polarized light* – J. Comp. Physiol. A 177 (1995) 439–448

TELLER EDE HOZZÁJÁRULÁSA A SZABAD ELEKTRONOK DIAMÁGNESESSÉGÉNEK ELMÉLETÉHEZ

Hajdu János

Kölni Egyetem, Elméleti Fizikai Intézet
Németország

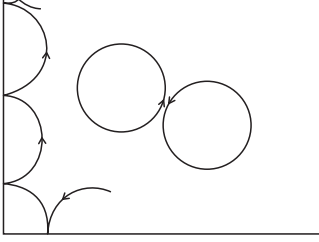
Teller Ede a szabad elektronok diamágnesességéről szóló, 1931 elején megjelent munkája [1] több szempontból is megkülönböztetett figyelmet érdemel. Mint ismeretes, Teller 1930 januárjában doktorált *Heisenberg*nél Lipcsében (disszertációjának tárgya a H_2^+ -molekulaion energiaspektruma). Az ezt követő három évben közölt számos kutatási eredménye – a fentitől eltekintve – két- és többatomos molekulák szerkezetére és molekulaszínképek értelmezésére vonatkozik. Míg ezeknek a munkáknak a célja kísérleti eredmények elméleti magyarázata (ami érthető is, hiszen Teller ezekben az években mint elméleti tanácsadó tevékenykedik *Eucken* és *Franck* gőttingi intézeteiben), addig a diamágnesességet tárgyaló munka elvi jellegű, kiegészítés az elmélethez.

Szabad elektronok diamágnesessége önmagában is egy különlegesen érdekes jelenségnek mondható. Nem véletlen, hogy *Peierls Meglepetések az elméleti fizikában* című könyvében egy fejezet szól erről [2]. A meglepetés itt abban rejlik, hogy szabad elektronok diamágnesessége egy tisztán kvantummechanikai jelenség, divatos szóval élve egy makroszkopikus kvantumeffektus. Valóban,

mint *Bohr* és *Van Leeuwen* kimutatták [3], termodinamikai egyensúlyban, homogén mágneses térben szabadon mozgó töltések mozgásából eredő mágneses nyomaték átlaga a klasszikus fizika szerint eltűnik [2, 3]. *Lorentz* szemléletesen ezt azzal magyarázza, hogy a rendszer felületén folyó áram és a rendszer belsejében folyó köráramok eredője egymást pontosan kompenzálják [2], lásd az 1. és 2. ábrát. Mint azonban *Landau* 1930-ban kimutatta [4, 5], kvantummechanikai effektusok miatt ez a kompenzáció nem teljes, hanem marad egy diamágnesezettség, amely gyenge mágneses térben a Planck-állandó négyzetével arányos.

Landau elmélete (melynek alapjait a következő szakaszban röviden ismertetjük) tartalmaz egy matematikailag kényes, jóllehet fizikailag ésszerű lépést, és teljesen elkendőzi a felületi áramok szerepét. Ez motiválta Tellert, hogy egy 1930 nyarán Koppenhágában *Landauval* és *van Vleckkel* folytatott eszmecsere után *Landau* manipulációját elkerülve vizsgálja a szabad elektronok mozgásából eredő mágnesezettséget. Teller eljárása (melynek egy leegyszerűsített változatát a *Teller tárgyalásmódja* című szakaszban ismertetjük) makroszkopikus rendszerméretek esetében igazolja *Landau* eredményét. Jelentősége így

Marx György emlékének ajánlva



1. ábra. Belső és él menti pályák mágneses térben

elsősorban abban rejlik, hogy több oldalról kiegészíti Landau elméletét. Sajnálatos módon ezt a tankönyvirodalom eddig nem méltányolta – talán azért, mert Teller eljárása kissé bonyolultabb és eltér az egyensúlyi statisztikus fizika standard módszerétől. Így Teller eljárása szinte teljesen feledésbe merült, de egy fél évszázaddal később a kvantum-Hall-effektussal kapcsolatban újra felfedezték [6], illetve felidéztek [7]. A Teller tárgyalásmódjában fontos szerepet játszó felületi állapotok ott (kétdimenziós rendszerről lévén szó) az „edge states” elnevezésre hallgatnak.

Landau elmélete

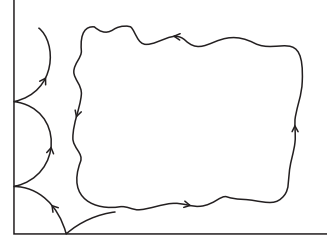
N szabad elektront tekintünk, egyszerűség kedvéért egy L_x és L_y élhosszúságú téglalapon, egy erre merőleges konstans $\mathbf{B} = \text{rot}\mathbf{A} = (0,0,B)$ mágneses térben. Az elektronok közötti Coulomb-kölcsönhatástól és az elektronok (paramágneses járulékot adó) spinjétől eltekintünk. Választásunk a vektorpotenciálra $\mathbf{A} = (0, B_x, 0)$, ami az elektron \mathbf{v} sebessége és \mathbf{p} impulzusa közötti $mv_x = p_x$, $mv_y = p_y + eB_x$ összefüggésekhez vezet ($e > 0$ az elemi töltés). Ezeket a $H = m\mathbf{v}^2/2$ energiaképletbe behelyettesítve olyan kifejezést kapunk, melyben az y koordináta nem lép fel. Ezért p_y megmaradási mennyiség, és H és p_y közös sajátfüggvényei faktorizálódnak, $\Psi_\alpha(x, y) = \varphi_\alpha(x) \cdot \chi_k(y)$, ahol $\chi_k(y)$ egy k hullámszámú síkhullám. p_y sajátértékei $\hbar k$; $\alpha = (n, k)$ két kvantumszám összefoglalása. Az y irányban a szokásos periodikus határfeltételt kiróva $k = (2\pi/L_y)\mathbf{v}$, $\mathbf{v} = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

Az x irányban kirótt határfeltétel az elmélet meghatározó eleme. Landau [5] választása: $= 0$, ha $|x| \rightarrow \infty$ (ami egy az x irányban végtelen kiterjedésű rendszernek felel meg). Ezzel a határfeltétellel $\varphi_\alpha(x) = \varphi_n(x-X) = \text{oszillátorfüggvény}$ $X = -\ell^2 k$ középponttal, ahol $\ell^2 = \hbar/eB$, és H sajátértékei $\epsilon_\alpha = \epsilon_n = \hbar\omega(n+1/2)$, $\omega = eB/m$ a ciklotronfrekvencia, $n = 0, 1, 2, \dots$. Ezeket a sajátfüggvényeket és sajátértékeket (kétdimenziós) Landau-állapotoknak, illetve Landau-nívóknak nevezik. Az ℓ mágneses hosszúság az ϵ_0 energiájú klasszikus ciklotronpálya sugara. A Landau-nívók karakterisztikus tulajdonsága, hogy függetlenek a k hullámszámtól és így X -től. Ez érthető, hiszen külső erő hiányában az x tengely minden pontja egyenértékű.

A mágnesezettség általános definíciója

$$M = - \left(\frac{\partial \Omega}{\partial B} \right)_{T, \zeta}, \quad (1)$$

ahol $\Omega(T, \zeta, B)$ a termodinamikai potenciál; T az abszolút hőmérséklet és ζ a kémiai potenciál. (Ω megfelel a szabad



2. ábra. A belső áramok eredője és a peremáramok, melyek a klasszikus határesetben kompenzálják egymást

energiának, ha az N részecskeszám helyett a ζ változót használjuk.) Kölcsonhatásmentes elektronág esetében

$$\Omega(T, \zeta, B) = \sum_n \sum_k \Omega_\alpha, \quad (2)$$

$$\Omega_\alpha = -\frac{1}{\beta} \ln \left\{ 1 + \exp[\beta(\zeta - \epsilon_\alpha)] \right\}, \quad (3)$$

ahol $\beta = 1/k_B T$, k_B a Boltzmann-állandó. Mivel a vizsgált rendszerben ϵ_α és így Ω_α független k -től, a k szerinti összegzés divergál, és ezért a (2), (3) kifejezés értelmetlen. Landau ezt a problémát úgy oldotta meg, hogy egy szellemes fogással mintegy visszatért az x irányban véges rendszerhez. Amíg makroszkopikus rendszerre korlátozzuk vizsgálódásainkat, a k szerinti összegzés integrállal helyettesíthető,

$$\sum_k \rightarrow L_y \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dk}{2\pi} = \frac{L_y}{2\pi \ell^2} \int_{-\infty}^{\infty} dX. \quad (4)$$

Ezt a divergáló integrált Landau $X = \pm L_x/2$ -nél levágja, azaz L_x -szel helyettesíti, és így végül Ω -ra az $\text{Ar} = L_x \cdot L_y$ felülettel arányos (extenzív)

$$\Omega_L = -\frac{\text{Ar}}{2\pi \ell^2 \beta} \sum_n \ln \left\{ 1 + \exp[\beta(\zeta - \epsilon_n)] \right\} \quad (5)$$

kifejezést kapja. Landau tehát a (4) összegzésnél elhagyja mindazokat az állapotokat, melyek X nyugalmi koordinátája a $-L_x/2 \leq X \leq L_x/2$ intervallumon kívül esik. (5)-öt (1)-be helyettesítve az

$$M_L = -\frac{\Omega_L}{B} + M'_L, \quad (6)$$

$$M'_L = \frac{\text{Ar}}{2\pi \ell^2} \sum_n f(\epsilon_n) \left(-\frac{\partial \epsilon_n}{\partial B} \right) \equiv \left\langle -\frac{\partial H}{\partial B} \right\rangle_L \quad (7)$$

eredményt kapjuk, ahol $f(\epsilon)$ a Fermi-Dirac-eloszlásfüggvény,

$$f(\epsilon) = \frac{1}{\exp[\beta(\epsilon - \zeta)] + 1} \quad (8)$$

((6), (7) kiértékelését illetően lásd például [6]).

A figyelmes olvasó biztos felismerte, hogy Landau módszerének alkalmazásánál óvatosan kell eljárni. Például,

mint (6)-ból kitűnik, a mágnesezettség és a $-\partial H/\partial B$ mágneses momentum egyensúlyban vett átlaga egymástól különbözőnek adódik, jöllehet ezek a mennyiségek fogalmilag és egzakt számolás esetében formálisan is azonosak,

$$\left\langle -\frac{\partial H}{\partial B} \right\rangle = -\sum_{\alpha} f_{\alpha} \frac{\partial \varepsilon_{\alpha}}{\partial B} = -\left(\frac{\partial \Omega}{\partial B} \right)_{T, \zeta} \quad (9)$$

($f_{\alpha} = f(\varepsilon_{\alpha})$).

A (7) kifejezés szerkezetéből arra következtetünk, hogy M_L' azoknak az állapotoknak a járuléka M -hez, melyeknek a klasszikus képben a rendszer belsejében elhelyezkedő zárt ciklotronpályák felelnek meg. A $-\Omega_L/B$ tag ezek szerint a felületi (illetve kétdimenziós rendszer-nél az élek mentén folyó) áram járuléka lenne? Mint a következő szakaszban látni fogjuk, Teller módszere igazolja ezt a sejtést.

A fenti interpretáció megköveteli, hogy (6) jobb oldalán két tagja egyenként véges maradjon, de összegük eltűnjön a klasszikus határesetben. Ez a feltétel valóban teljesül, hiszen a $\hbar \rightarrow 0$ határesetben az n szerinti összegek integrálokba mennek át,

$$\sum_{n=0}^{\infty} g(\varepsilon_n) \rightarrow \frac{1}{\hbar \omega} \int_0^{\infty} g(x) dx, \quad (10)$$

és az

$$f_{\alpha} = \frac{\partial \Omega_{\alpha}}{\partial \varepsilon_{\alpha}} \quad (11)$$

összefüggés miatt

$$\int_0^{\infty} f(x) dx = \int_0^{\infty} \frac{\partial \Omega(x)}{\partial x} x dx = -\int_0^{\infty} \Omega(x) dx, \quad (12)$$

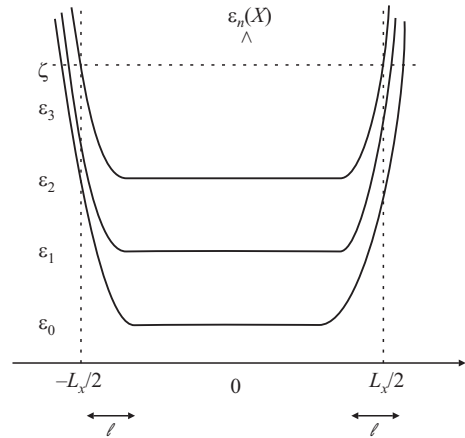
(mert a kiintegrált tag mind $x = 0$ -nál, mind $x = \infty$ -nél eltűnik) és ezért, mivel $\partial \varepsilon_n / \partial B = \varepsilon_n / B$,

$$\lim_{\hbar \rightarrow 0} M_L = 0, \quad (13)$$

összhangban a Bohr–Van Leeuwen-tétellel.

Teller tárgyalásmódja

A Landau elméletében fellépő divergenciaprobléma oka az energiaszintek elfajultsága, ami az x irányú bezárás hiányából fakad. Teller [1] az elfajulás elkerülése céljából az elektronokat az $L_x/2$ helyen elhelyezett végtelen magas potenciálfalak közé zárja, aminek a $\varphi_{\alpha}(x) = 0$, ha $|x| = L_x/2$ Dirichlet-féle határfeltétel felel meg. Az ehhez tartozó $\varphi_{\alpha}(x) = \varphi_n(x, X)$ energia-sajátfüggvények már nem (csak az $x-X$ különbségtől függő) oszcillátorfüggvények, hanem az úgynevezett Weber-függvények [9]. Az X -től függő $\varepsilon_{\alpha} = \varepsilon_n(X)$ energiaszintek nem adhatók meg zárt alakban [10]. De erre a jelen kontextusban nincs is szükség. Teljesen elegendő az energiaszintek kvalitatív tulajdonságait ismerni, melyek a következők (3. ábra): $\varepsilon_n(X)$ (szimmetriakokból) egy X -ben páros, növekvő



3. ábra. Merev falak közé zárt elektron energiaszintjei homogén mágneses térben. ζ a kémiai potenciál, $\ell = (\hbar/eB)^{1/2}$ a mágneses hosszúság, $X = -\ell^2 k$, k a hullámszám az y irányban.

X -szel monoton növekvő függvény. A rendszer belsejében, azaz a $-L_x/2 + 2\ell \leq X \leq L_x/2 - 2\ell$ intervallumban, $\varepsilon_n(X)$ gyakorlatilag azonos az (X -től független) Landau-nívókkal. A potenciálfalak menti $\sim \ell$ szélességű sávokban az energiaszintek $\sim \hbar \omega$ -val emelkednek és $|X| > L_x/2$ esetében, növekvő X -szel meredeken végtelenhez tartanak (ami a falak áthatolhatatlanságát tükrözi).

Mivel az energiaszintek függenek X -től, az y irányú elektronsebesség várható értéke a ψ_{α} energia-sajátállapotban

$$\langle \alpha | v_y | \alpha \rangle = \left\langle \alpha \left| \frac{\partial H}{\partial p_y} \right| \alpha \right\rangle = \frac{\partial \varepsilon_{\alpha}}{\partial \hbar k} = -\frac{1}{eB} \frac{\partial \varepsilon_n(X)}{\partial X}. \quad (14)$$

Következésképpen az $|x| = L_x/2$ élek menti $\sim \ell$ szélességű sávokban egymással ellentétes irányú áramok folynak. A klasszikus képben ezeknek az áramoknak a girlandszerű pályán mozgó elektronok folyama felel meg. (Modelünkben az y irányban kirótt periodikus határfeltétel miatt az $|y| = L_y/2$ élek mentén áram nem léphet fel.)

Az energiaszintek fenti tulajdonságaiból adódóan a Fermi–Dirac-eloszlás levágja a (9)-ben fellépő X szerinti integrált az $\varepsilon(X) = \zeta$ egyenlet X_n gyökeinél, melyek egy ℓ/L_x nagyságrendű korrekciótól eltekintve megegyeznek $\pm L_x/2$ -vel. Ez érthetővé teszi, hogy miért vezet Landau ad hoc levágása $|X| = L_x/2$ -nél a helyes eredményhez. Mint látjuk, Teller tárgyalásmódjában csak betöltött állapotok ($\varepsilon_{\alpha} \leq \zeta$) járulnak hozzá M -hez, az integrálok végesek, és a (9) azonosság teljesül.

Ezek után könnyen kimutatható, hogy fennáll a (6) összefüggés, és $-\Omega/B$ valóban az él menti (felületi) áramok járuléka a mágnesezettséghez. Mivel $\varepsilon_{\alpha} = \varepsilon_n(X) = \varepsilon_n(B, X(k, B))$ és ezért

$$\frac{\partial \varepsilon_{\alpha}}{\partial B} = \left(\frac{\partial \varepsilon_{\alpha}}{\partial X} \right)_{X = \text{const.}} + \frac{\partial \varepsilon_{\alpha}}{\partial X} \frac{\partial X}{\partial B}, \quad (15)$$

továbbá $\partial X/\partial B = -X/B$, (1) és (9)-ből

$$M = \sum_{\alpha} f_{\alpha} \left(-\frac{\partial \varepsilon_{\alpha}}{\partial B} \right)_X - \frac{1}{B} \sum_{\alpha} f_{\alpha} \frac{\partial \varepsilon_{\alpha}}{\partial X} X \quad (16)$$

adódik, ahol a jobb oldal második tagja (11) behelyettesítése után a $-\Omega/B$ alakra hozható. (A kiintegrált tag az energiaszintek X -szel való monoton növekedése miatt eltűnik. Mint könnyen belátható, l/L_x nagyságrendű korrekcióktól eltekintve $\Omega = \Omega_l$, és (16) jobb oldali első tagja éppen M'_l . Így kimutattuk, hogy ezzel a pontossággal, $M = M'_l$. Teller tárgyalásmódja tehát makroszkopikus rendszerek esetében ($l \ll L_x, L_y$) valóban igazolja Landau eredményét [11].

Összefoglalás

Összehasonlítva Landau és Teller eljárását megállapíthatjuk, hogy az utóbbi kielégítőbb. Egyrészt elkerüli matematikailag értelmetlen kifejezések intuitív átértelmezését, másrészt fizikai értelmezést ad a mágnesezettség Landau eljárásában fellépő két járuléknak, melyek a klasszikus határesetben pontosan kompenzálják egymást. A k impulzus kvantumszámra való összegzés ad hoc levágása (Landau) ugyan a helyes eredményre vezet, de annak jogosultságát az elektronok bezárása (Teller) szolgáltatja, ami az elfajulás megszűnését és olyan energiaszintek kialakulását biztosítja, hogy a szóban forgó összegzés magától levág. Ezért indokoltnak tűnik Teller eljárását, mint Landau úttörő munkájának lényeges kiegészítését, figyelemben tartani.

Irodalom – jegyzetek

1. E. TELLER – Z. Physik 67(1931) 311
2. R. PEIERLS: *Surprises in Theoretical Physics* – Princeton U.P., Princeton, 1979
3. N. BOHR – Doktori értekezés, Kopenhága, 1911; H.J. VAN LEEUWEN – Doktori értekezés, Leiden, 1919, J. de Physique VI/2 (1921) 361
J.H. VAN VLECK: *Electronic and Magnetic Susceptibilities* – Oxford U.P., Oxford, 1933
K. HUANG: *Statistical Mechanics* – Wiley, New York, 2000
P. FAZEKAS: *Lecture Notes on Electron Correlation and Magnetism* – World Scientific, Singapore, 1999
4. L.D. LANDAU – Z. Physik 64 (1930) 629
5. LANDAU–LIFSIC: *Elméleti Fizika V. kötet: Statisztikus Fizika I* – 197. o., Tankönyvkiadó, Budapest, 1981
6. B.I. HALPERIN – Phys. Rev. B25 (1982) 2185
7. M. JANSSEN et al.: *Introduction to the Theory of the Integer Quantum Hall Effect* – VCH, Weinheim, 1994
8. ABRAMOWITZ–STEGUN: *Handbook of Mathematical Functions* – Dover, New York, 1965
9. Két fontos speciális esetben az energiaszintek zárt alakban is megadhatók: ha a külső erő lineáris x -ben, lásd V. FOCK – Z. Physik 47 (1928) 446, vagy ha konstans és merőleges B -re, lásd S. TITEICA – Ann. Phys. V/22 (1935) 129; Vö. [7]. Megemlítjük, hogy *Serban Titeica* (1908–1985) román fizikus szintén Heisenbergnél doktorált Lipszében, és ott rövid ideig Teller Ede kollegája volt.
10. Mezoszkopikus rendszerekben (l összemérhető a rendszer kiterjedésével vagy annál nagyobb) a diamágneses szuszceptibilitás lényegesen nagyobb lehet, mint a Landau által tárgyalt makroszkopikus esetben, vö. J. HAJDU, B. SHAPIRO – Europhys. Lett. 28 (1994) 61

PLAZMAFIZIKAI KUTATÁSOK ELEKTRON- CIKLOTRONREZONANCIÁS IONFORRÁSON

Kenéz Lajos
MTA ATOMKI, Debrecen

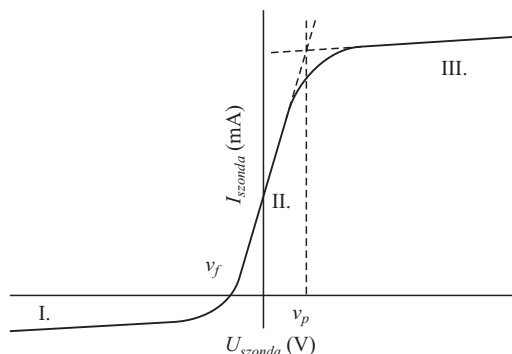
Az elektron-ciklotronrezonanciás (ECR) ionforrás az egyik leghatékonyabb nagy töltésű ionnyaláb előállítására alkalmas berendezés. Az ionforrás lehetőségeit illetően az ECR-plazma döntő tényező, amelyről azonban ismereteink hiányosak. Számos diagnosztikai módszer létezik a plazmák vizsgálatára. A globális diagnosztikai módszerek a plazmát elhagyó elektromágneses sugárzásokat tanulmányozzák, ám nem teszik lehetővé a plazma paramétereinek helyfüggő meghatározását. Ugyancsak nem ismeretek pontosan az ionforrás makroszkopikus paramétereinek változtatásakor a plazmában végbemenő mikrofolymatok. Ezen folyamatok és maga az ECR jobb megismerését biztosíthatja a plazma lokális paramétereinek ismerete. Globális diagnosztikai módszereket már sok ECR-laboratóriumban alkalmaztak, azonban az ECR-plazma szisztematikus lokális plazmadiagnosztikai kutatása eddig még nem kezdődött el. Az továbbiakban az ATOMKI-ECR [1–3] ionforráson végzett plazmadiagnosztikai kísérletek eredményeit foglaljuk össze.

Lokális plazmadiagnosztikai módszerek

A Langmuir-szonda a plazmák helyfüggő tulajdonságainak meghatározására szolgáló diagnosztikai eszköz, melyet megbízhatóan, reprodukálható módon alkalmaznak

különböző plazmák paramétereinek meghatározására. A Langmuir-szonda egy fém elektróda, melyet a plazmakamra kívánt részébe kell juttatni, és alkalmassá kell tenni a rajta átfolyó áram mérésére. A globális módszerekkel ellentétben a szonda a plazma paramétereit közvetlen környezetében képes meghatározni. Erre az teszi alkalmassá, hogy a plazma kvázi-neutralitásra való törekedése következményeként, lokalizálja a szonda jelenlétéből származó perturbáló hatásokat. Főleg sík, henger és gömb alakú szondák használatosak.

A plazmáról a szonda feszültség-áram (U - I) karakterisztikája szolgáltat információt (*1. ábra*). Torzító hatások miatt csak az ideálist megközelítő alakú karakterisztika mérhető ki. Ha a szonda nagy negatív potenciálon található, minden környezetében található iont magához vonz és begyűjt, és minden elektront eltaszít magától. Ez az ionáram telítési tartománya (I_s), mely ideális esetben egy vízszintes szakasz. Abszolút értékben csökkentve a szondára kapcsolt feszültségértékét, az ionokon kívül nagyenergiájú elektronok is eljutnak a szonda felszínére. Tovább csökkentve a feszültséget, egy bizonyos feszültségnél a szonda által begyűjtött eredő áram zéróvá válik. Ezt a feszültséget a fali potenciálnak nevezzük (V_f). A fali potenciál értéke függ a szonda helyzetétől, mivel a plazma paramétereinek pontról-pontra változnak. Tovább csökkentve a feszültséget nullára, az elektronok nagyobb



1. ábra. A szonda feszültség-áram karakterisztikája és alapvető elemei.

mozgékonyágának köszönhetően, a szonda által begyűjtött áram általában eredően elektronáram lesz. Negatív értelemben növelve a feszültséget, a szonda egyre inkább vonzza az elektronokat és taszítja az ionokat. Azt a feszültséget, amelyiknél a plazma és a szonda között nem létezik potenciálkülönbség, plazmapotenciálnak nevezzük (V_p). Ennél a feszültségnél a töltéshordozókra nem hatnak erők, s így saját mozgási energiájuk szabja meg, hogy eljutnak-e a szonda felületére, vagy sem. Ezt a részt átmeneti tartománynak (II.) nevezzük. Növelve a feszültséget, a szonda minden iont eltaszít magától, és magához vonz minden elektront. Ezt a tartományt elektronáramtelítési tartománynak (III.) nevezzük, mely ideális esetben szintén egyenes szakasz [4].

Lokális plazmadiagnosztika az ATOMKI ECR-laboratóriumában

ECR-ionforrásban a Langmuir-szonda alkalmazását nehézzé teszik az ionforrás felépítéséből és működési sajátosságából származó műszaki, kísérleti és elméleti jellegű problémák, melyek közül néhány a szonda anyagának, és a kísérleti feltételek megfelelő megválasztásával, részben kiküszöbölhető, míg a többi hatása megfelelően lecsökkenthető. Ezért a karakterisztika bizonyos feszültségtartományokban eltéréseket mutat az ideálistól. ECR-plazma esetén a mágneses tér nagymértékben befolyásolja az elektronok mozgását, így az elektrontelítési tartomány és az átmeneti tartomány nem alkalmas plazmaparaméterek meghatározására. Ha viszont a szonda potenciálja kisebb, mint a fali potenciál, a mágneses tér hatása már nem jelentkezik, és megbízható eredményeket kaphatunk. Kísérleteinkhez a másol már bevált henger alakú szondát használtunk, amely meghatározza a használandó elméleti modellt is. A szonda magas olvadásponttal és alacsony szekunder-elektron-emissziós együtthatóval rendelkezzen (pl. wolfram), megfelelő elektromos szigeteléssel rendelkezzen, minél kisebb kell legyen, nagyszámú mozgási szabadsági fokkal kell rendelkeznie, és lehetőség szerint minél pontosabban lehessen mozgatni. A szonda mozgatása komplex feladat, mivel vákuumtérben és nagyfeszültségen található, emellett az ionforrást intenzív elektromágneses sugárzás hagyja el, így a szondát csakis távvezérléssel lehet irányítani (sugárvédelmi rendszerektől függ). A szonda mozgásáról egy mecha-

nizmus gondoskodik, amely lehetővé teszi a szonda független lineáris és azimutális mozgását egy adott sugarú körön. A karakterisztika komplex jellegéből és a kiértékelésre használandó tartományból következik, hogy méréséhez olyan speciális feszültségforrásra van szükség, amely folytonos átmenetet biztosít a negatív és pozitív feszültségtartományok között. A plazmaparaméterek kiszámítására a karakterisztika fali potenciálhoz közel eső tartományát használjuk. Az elektronok párhuzamos komponensének Maxwell-Boltzmann-eloszlást feltételezünk. Természetesen nem feledkezhetünk meg az illesztésből származó hibákról sem. Nagyszámú görbe illesztéséből levonhattuk azt a következtetést, hogy az elektronsűrűség kiszámításánál (figyelembe véve a mérési pontosságokat is) az elkövetett relatív hiba kisebb mint 7%.

Elméleti eredmények

A Langmuir-szonda megbízható eredményeket szolgáltatott [7, 8] olyan plazmáknál, amelyek az elektronkomponensen kívül főleg egyszerűen lefosztott ionokat tartalmaztak. Az ECR-plazma fő tulajdonsága viszont éppen az, hogy többszörösen lefosztott ionokat tartalmaz, elméleti kutatásaim ezeknek a figyelembe vételére vonatkoztak. A modellek részletes tárgyalása megtalálható [5] hívatkozásban. Az ECR-plazma nem egyensúlyi, tehát különböző ion- és elektronhőmérséklettel van dolgunk, és ezen belül is más hőmérsékleteket kell használnunk az elektronok mágneses erővonalakra merőlegesen és az erővonalakkal párhuzamosan végbemenő mozgásának leírására. Jelölje a továbbiakban T_e párhuzamos elektronhőmérséklet és T_i az ionhőmérséklet. A legszemléletesebb információt a plazma elektronsűrűsége hordozza, a továbbiakban ezzel foglalkozunk.

Egyszerű plazmát leíró modell (SCSC – Single-Component Singly Charged plasma)

A modell egyszerű plazmát feltételez, amelyben az elektronokon kívül csak egyetlen pozitív töltéssel rendelkező ionok jelenlétét feltételezi. Ez a modell figyelmen kívül hagyja az ECR-plazma alapvető tulajdonságát, benne egy atomnak különböző töltésű ionjai lehetnek. A modell leírása megtalálható az irodalomban [4]. Az elektronsűrűsége az

$$n_e = \frac{2 I_{sat}^{ion}}{A e} \left(\frac{T_e}{M} \right)^{-1/2} \quad (1)$$

összefüggés vonatkozik: I_{sat}^{ion} a telítési ionáram, M az ion tömege, A a szonda normális felülete, T_e a párhuzamos elektronhőmérséklet és e az elektron töltése.

Egykomponensű plazma (SCMC – Single-Component Multiply Charged plasma)

Egykomponensű plazmát feltételezünk, mely csak a munkagáz ionjait tartalmazza. A karakterisztika ionáram tartománya tartalmazza a plazmában jelen lévő, különböző töltésű ionokat, így az eddigi elméleti modellek nem

alkalmasak az ECR-plazma lokális paramétereinek kiszámítására. Ezért a karakterisztika feldolgozásánál figyelembe kell vennünk ezen ionok jelenlétét is. Az ionok telítettségi áramának meghatározásánál többkomponensű plazma esetében a plazma–fal határretegnek az úgynevezett burokanalízist kell elvégeznünk. Az elektronsűrűség (2) alakban adható meg, levezetése megtalálható [5]. Az összefüggés félempirikus, mivel az irodalomban nem található az ECR-plazmára vonatkozó egzakt ion-eloszlásfüggvény, ami megkövetelte ennek kísérleti úton való megközelítését. Ehhez a kivont és analizált nyaláb spektrumát használtuk fel (megtalálható [5]-ben).

$$n_o = \frac{I_{sat}^{ion} \bar{j}^+}{0,61 A e} \left(\frac{k T_e}{M} \right)^{-1/2} \left(\sum_j \alpha_j j^{3/2} \right)^{-1}, \quad (2)$$

ahol \bar{j}^+ a kivont nyaláb átlagos töltése, j a töltésállapot, α_j a nyaláb százalékos összetétele.

A (2) egyenlettel adott elektronsűrűség egy új összefüggés, amely elsőként nyújt lehetőséget arra, hogy egy összetett ECR-plazmából nyert $U-I$ karakterisztikát, a plazma összetételének megfelelően lehessen kiértékelni.

Többkomponensű plazma (MCMC – Multi-Component Multiply Charged plasma)

Az ECR-plazma a munkagáz ionjain kívül tartalmazza a maradékgáz ionjait (N, C, O, H, ...) és esetenként a nagyobb lefosztás érdekében használt keverékgáz ionjait is. A plazma ionrészének többkomponensű volta a karakterisztika pontosabb kiértékelésének érdekében megköveteli az előző pontban tárgyalt modell bővítését. Az elektronsűrűség kiszámításának érdekében a (2) összefüggést úgy általánosítjuk, hogy felírjuk az összefüggést a plazma komponenseire, majd összegezzük azokat. Így az elektronsűrűség megadható mint:

$$n_o = \frac{I_{sat}^{ion} \bar{j}^+}{0,61 A e} \left(k T_e \right)^{-1/2} \left(\sum_{j,k} \frac{\alpha_{j,k} j^{3/2}}{M_k^{1/2}} \right)^{-1}, \quad (3)$$

ahol \bar{j}^+ a többkomponensű plazma becsült lefosztottsága, $\alpha_{j,k}$ a plazma százalékos összetételét és k a plazma különböző komponenseit adja meg. Ez az új összefüggés a legalkalmasabb az ECR-plazma elektronsűrűségének helyfüggő meghatározására.

Kísérleti eredmények

A szonda egy henger palástján tetszőleges helyzetbe juttatható és a henger sugara is tetszőlegesen változtatható a kamra belsejében, a plazmakamra hátlapjára tetszőleges helyzetbe szerelhető, így az alkalmazástól függően a plazmakamra bármely pontjába eljuttatható. A plazma komplex voltát kihasználva méréseket végezhetünk a rezonáns zónától távoli hideg részében vagy a forró plazmában. Kísérletek végzése lehetséges különböző ionizáltsági fokkal rendelkező plazmákban. A szonda hideg plazmatartományában való használata, a plazmának kis-mértékű változását idézi elő. A változást, a kivont ionáram ingadozásának megfigyelésével lehet követni (ese-

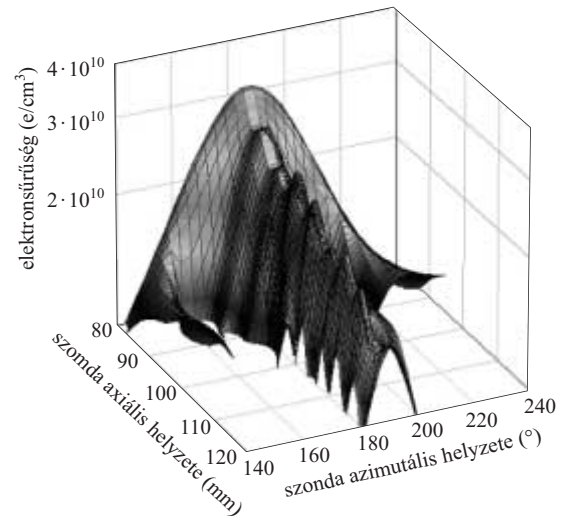
tünkben < 5%). A szonda termikus emissziója a hideg plazmatartományban elhanyagolható az alacsony feszültségű tartományban. A szonda porlasztódására utaló nyomokat nem találtunk a kivont ionnyaláb spektrumában. A kísérleti eredmények értékelésénél főleg a plazmaparaméterek relatív változásának tulajdonítunk jelentőséget, habár az abszolút értékek is jó egyezést mutatnak egyéb módszerek eredményeivel.

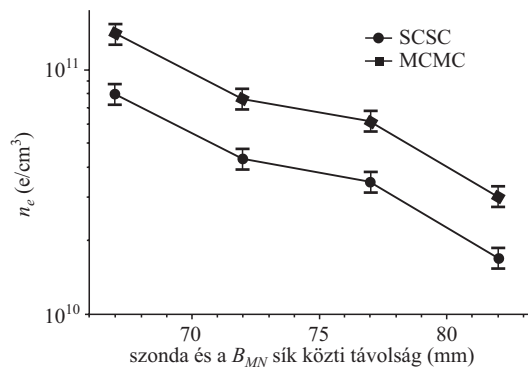
Azimutális mérések alacsonyan lefosztott plazmában

A rezonáns zónán áthaladó mágneses erővonalak és egy az ionforrás tengelyére merőleges sík metszéspontjainak mértani helye egy csillag alakzatot hoz létre. A hexapól mágnes és a tekercsek hengerszimmetriájából adódóan, a csillagnak három ekvivalens ága van az ionforrás mindkét oldalán, melyek egymáshoz képest 60°-kal el vannak fordulva.

Az alábbi kísérlet célja, a plazma elektronsűrűség-eloszlásának meghatározása a csillag ágaiban. A szonda tartórúdját az ionforrás szimmetriatengelyére helyeztük el, áramfelvevő felülete pedig adott sugarú (14 mm) sugarú kört írt le. Méréseket a csillag egyetlen ágában, a 100° nyílásszögű tartományban végeztük. A szondát rögzített axiális síkban, alacsonyan lefosztott plazma hideg tartományában helyeztük el [5]. Alacsony mikrohullámú teljesítmény betáplálása mellett, sűrű oxigénplazmát állítottunk elő, és azt O⁺-ion előállítására optimalizáltuk. Emellett a kivont nyaláb tekintélyes mennyiségű O²⁺, kisebb mennyiségű O³⁺- és maradékgáz-iont is tartalmazott. Az elektronsűrűségek kiszámítására mindhárom modellt alkalmaztuk. Mivel a plazma becsült átlagos lefosztottsága egyhez közeli érték (1,25), amely az SCSC modellnek felel meg, ebben az esetben a különböző modellek által adott elektronsűrűség értékek között nincs jelentős eltérés. Viszont meg kell jegyezni, hogy a többszörösen lefosztott oxigénionok figyelembe vételével a hibahatáron kívüli eltérések mutatkoznak. Ehhez korrekcióként a maradékgáz-ionokat is figyelembe véve a hibahatáron belüli változást észlelhetünk [5]. Hasonló mérési eredményeket mutat be a 2. ábra. A geometriai elrende-

2. ábra. 3-dimenziós elektronsűrűség-eloszlás.





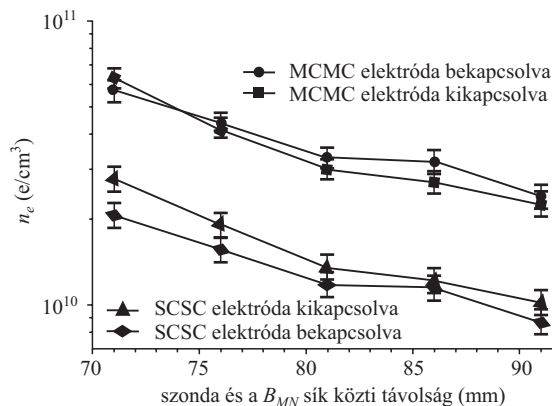
3. ábra. Axiális elektronsűrűség-profil. Kivonásra optimalizált ion az O^{5+} .

zés megegyezik a fenti kísérletnél leírtakkal. A szonda axiális helyzetét a hideg plazma néhány centiméteres tartományában egyenlő lépésekben változtattuk. A mérésekhez alacsony betáplált mikrohullámú teljesítmény mellett, oxigénplazmát állítottunk elő és az ionforrást az O^{3+} kivonására hangoltuk. Megfigyelhető, hogy az ionforrás injektáló oldalának szélétől, az elektronsűrűség nő a rezonáns zóna felé haladva. Ezzel párhuzamosan, kiszélesedik az a tartomány, ahol tulajdonképpen a plazma található. A 2. ábra tulajdonképpen az első mérés a szakirodalomban, amely az ECR-plazma elektronsűrűség-eloszlására vonatkozik.

Axiális mérések

1. A szonda áramfelvevő felületét az ionforrás szimmetriatengelyén helyeztük el, és a plazma néhány centiméteres hideg tartományában egyenlő lépésenként mértünk ki karakterisztikákat [5]. Két méréssorozatot mutatunk be.

Az elsőnél alacsony mikrohullámú teljesítmény mellett O^{3+} kivonására hangolt plazmát állítottunk elő. Ebben az esetben a kivont nyalábban szélesebb skálán ($O^{1+} \rightarrow 5^+$) voltak találhatóak jelentős mennyiségben az oxigén különböző töltésű ionjai. A másodiknál szintén alacsony mikrohullámú teljesítmény mellett O^{5+} kivonására hangolt plazmát állítottunk elő. Ebben az esetben a kivont nyalábban tovább szélesedett a jelentős mennyiségben megtalálható különböző töltésű oxigénionok skálája ($O^{1+} \rightarrow 6^+$). Az elektronsűrűségeket mindkét esetben az SCMC és az SCSC modellekkel számítottuk ki (3. ábra). Az elektronsűrűség görbéi azonos tendenciát mutatnak mindkét plazma esetén, azaz a rezonáns zónától távolabb eső pontokból kiindulva a zóna felé haladva, az elektronsűrűség enyhe, de határozott növekedési tendenciát mutat [5]. Az első sorozatnál a kivont nyaláb átlagos lefosztottsága 2,25, a másodiknál pedig 2,9. Ez jelentős eltérést jelent az egyszerűen töltött plazma modelljéhez képest. Ez az eltérés szembevető változást okoz a többszörösen lefosztott ionok figyelembe vételénél. Elvégezve a számításokat arra a következtetésre juthatunk, hogy a kivonásra optimalizált töltésállapot növekedésével (tehát a plazma átlagos töltésének növekedésével) nő a különbség a modellek által szolgáltatott elektronsűrűség-értékek között. Minél magasabb lefosztottságú a plazma, annál nagyobb a különbség az általunk felállított modell és az egyszerű plazma modell között.



4. ábra. Axiális elektronsűrűség-profilok. Az elektróda ki-/bekapcsolásakor fellépő változások. Többszörösen lefosztott ionok figyelembe vétele.

2. A következő sorozatok célja a többszörösen lefosztott ionok figyelembevételének hatása az elektronsűrűség értékére és a biased-elektroda hatásának vizsgálata a hideg plazma tartományra. A szonda áramfelvevő felületét az ionforrás szimmetriatengelyén kívüli pontban helyeztük el. A szondát a plazma néhány centiméteres hideg tartományában egyenlő lépésenként mozgatva mértünk ki karakterisztikákat.

A kísérlethez nagy lefosztottságú Ar-plazmát állítottunk elő, és az első esetben az ionforrást Ar^{8+} kivonására az elektróda használatával, míg második esetben az elektróda használata nélkül optimalizáltuk [6]. A nyalábspektrumokban az eloszlás csúcsát az Ar^{8+} foglalja el, emellett jelentős mennyiségben fordulnak elő $Ar^{2+} \rightarrow 9^+$ ionok és a maradékgázok többszörösen ionizált ionjai. Ezért a karakterisztikák kiértékeléséhez az MCMC modell szükséges. Az elektronsűrűség változásának tendenciája ebben az esetben is megegyezik az előző mérések eredményeivel (4. ábra). Az elektróda ki-/bekapcsolásakor a plazma töltéseloszlása jelentősen megváltozik, ám az elektronsűrűségek a hibahatáron belül maradnak (4. ábra). Ebből következik, hogy a plazma hideg részének sűrűségét az elektróda nem befolyásolja. Tehát annak ellenére, hogy jelentős elektronáramot injektálunk a plazmába, nem növekszik a plazma elektronsűrűsége. Ezalatt azonban, valószínűleg módosítják a plazmapotenciál-gödör mélységét [9], s így befolyásolják az erősen lefosztott ionok élettartamát és kivonási határfokát. Az elektróda használatakor a plazma átlagos becsült lefosztottsága 4,23, míg az elektróda kikapcsolása után ez lecsökken 2,9-re. A plazma átlagos töltésének növekedése maga után vonja a többszörösen töltött ionok figyelembe vételekor az elektronsűrűség-értékekben jelentkező különbség növekedését. Ez az elektróda bekapcsolt állapotában eléri a 2,77-ot. Ez alátámasztja az 1. pontban levont következtetéseket. Minél magasabb lefosztottsággal rendelkezik a plazma, annál nagyobb a különbség az általunk felállított modell és az egyszerű plazmamodell között. Tehát, ha realizisztikusan akarjuk leírni az ECR-plazmát, akkor az MCMC modellt kell alkalmazni.

Az ECR-plazma hideg tartományának fenti kutatása értékes eredményekkel szolgált az ionforrás plazmájára

és működésére vonatkozólag. Folytatásként a plazma forró részeinek kutatását tervezzük, ahol az ECR-effektus révén csapdázódnak az elektronok, és létrejönnek az ionok, így ez az ECR-ionforrás legfontosabb része.

Köszönetnyilvánítás

A kutatási programot támogatta az Országos Tudományos Kutatási Alap (T042729). Doktori értekezésem elkészítésében támogatott az Erdélyi Műszaki Tudományos Társaság és a Domus Hungarica Scientiarum et Artium Alapítvány. Magyarországi kutatómunkám végeztével az Arany János Köz-alapítvány egy éves ösztöndíjjal támogatta szülőföldemen munkámat.

Irodalom

1. BERÉNYI D., BIRI S., PÁLINKÁS J., VÁMOSI J. – Fiz. Szle. 44/3 (1994) 89
2. BERÉNYI D., BIRI S., PÁLINKÁS J., VÁMOSI J. – Fiz. Szle. 44/4 (1994) 163
3. BERÉNYI D., BIRI S., PÁLINKÁS J., VÁMOSI J. – Fiz. Szle. 44/5 (1994) 198
4. F.F. CHEN: *Plasma Diagnostic Techniques* – Acad. Press, New York, 1965, Chap. 4
5. L. KENÉZ ET AL. – Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B 187/2 (2002) 249–258
6. L. KENÉZ ET AL. – Rev. Sci. Instrum. 73/2 (2002) 617–619
7. P.C. STANGEBY – J. Phys. D: Appl. Phys. 15 (1982) 1007–1029
8. P.C. STANGEBY ET AL. – Nucl. Fusion 30 (1990) 1225
9. K.E. STIEBING ET AL. – Phys. Rev. Spec. Top. – Acc. and Beams, 2 (1999) 123501

MEGEMLEKEZÉSEK

A MŰEGYETEMI FIZIKA TANSZÉK 150 ÉVE

Füstöss László
BME TTK Fizika Tanszék

Az első hetven év

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Fizikai Intézete mintegy harminc éves múlttal rendelkezik. Az Intézetet alkotó öt tanszék közül a Fizika Tanszék fonódott leginkább össze a Műegyetemmel. Nevét is ezért őrizte meg változatlanul, még ha kissé sután hangzik is: a Fizikai Intézet Fizika Tanszéke. A név egyszerűsége egyúttal patinája, a hozzáértők számára ez helyettesíti a kérkedő y-t, noha száz éve az is megvolt a Physika név formájában.

Hogy a felsőfokú mérnökképzés mikor emelkedett egyetemi rangra, az nehezebb kérdés, mint a fizika műegyetemi tanításának kezdeteit megtalálni. Figyelmem kívül hagyva a tiszteletreméltó ős, az *Institutum Geometrico-Hydrotechnicum* történetét, a reformkor minden iparfejlesztő erőfeszítése ellenére 1846-ban még csak egy középfokú tanintézet, a József Ipartanoda jött létre. Az Ipartanoda első fizikatanára *Sztoeczek József* volt.

Sztoeczek teológiai tanulmányait abbahagyva került 1840-ben a Mérnöki Intézet hallgatói közé. 1845-ben már pályázott a Könyvviteltani tanszék elnyeréséért, de sikertelenül. Egy évvel később a Fizika Tanszék megismételt versenyvizsgáját már ő nyerte el. Fizikával komolyabban csak ezután kezdett foglalkozni, de mai értelemben vett szaktudóssá soha nem lett. Foglalkozott elektrosztatikus jelenségekkel és színképelemzésel is, de inkább olyan kérdések érdekelték, mint *A meleg forrásvízek lehelése földalatti csatornáknak* vagy *a kísérletileg meghatározott óra- és emberkénti levegőjutalék* praktikus kérdése. A korszak eszményeit kifejező természetvizsgáló volt, a Műegyetem első évtizedeinek meghatározó személyisége: 1857-ben az újonnan alakult József Műegyetemen az általános és technikai fizika tanára, 1871–72-ben a Műegyetem első rektora. 1872-ben a közoktatási tanács alelnöke, 1874-től a tanárképző intézet igazgatója és a tanárvizs-



gáló bizottság elnöke volt. Az 1875–76. és 1878–79. tanévben ismét a Műegyetem rektora. A Természettudományi Társulatnak 1865-től 1872-ig elnöke, 1885-től a főrendiház tagja.

1857-ben az Ipartanodát József Polytechnikum néven felsőfokú mérnökképzővé alakították. 1861-től a tanítás nyelve a magyar lett, az igazgató pedig Sztoeczek. A Polytechnikum egy előkészítő és egy egységes műtani osztályból állt. Az előkészítő osztályban a hallgatók *kísérleti természettant* tanultak, *kapcsolatban a vegytan elemeivel*, a műtani osztályban Sztoeczek Józseftől *általános természettant* és *ipari természettant*.

A fennmaradt feljegyzések szerint az *általános természettan* „Tartalmazza a testek általános tulajdonainak, a természeti erők működésének rendszeres magyarázatát, kapcsolatban a szükséges kísérletekkel és bizonylatokkal.” Az *ipari természettan* „Alkalmazása a technikai tételeknek az ipar különböző ágaira, főleg kiemelve a súlytalanoknak, jelesen a melegnek hatását és használatát az iparüzletben.”

A kísérleti természettant Sztoeczek fiatal tanársegéde, *id. Szily Kálmán* tanította.

id. Szily Kálmán (1838–1924) fizikus, nyelvész, tudományszervező, műegyetemi tanár, akadémikus. 1889 és 1905 között az akadémia főtítkára. A Természettudományi Társulat főtítkáráként 1869-ben megalapította, és évekig szerkesztette a *Természettudományi Közlönyt*. Nyelvészeti munkássága a XIX. század kilencvenes éveitől bontakozott ki. 1904-ben megalapította a Magyar Nyelvtudományi Társulatot, melynek elnöke, folyóiratának, a *Magyar Nyelvnek* pedig szerkesztője volt.



Akadémiai székfoglaló értekezésében *a hőelmélet első és második alaptételének általános matematikai alakban való megfogalmazására* vállalkozott. Eredményére sokáig a második főtétel Clau-

sius–Szily-féle megfogalmazásaként hivatkoztak. 1869–70-ben a *Kísérleti természettan* tanszéket, 1870-től nyugdíjazásáig a *Matematikai fizika és analitikai mechanika* tanszéket vezette. Sztoczekhez hasonlóan id. Szily Kálmán is jeles közéleti ember volt, a Műegyetemnek több ízben dékánja, rektora. (Nevében az id. előtag azért fontos, mert Kálmán nevű fia a Műegyetemen a mechanika-professzora volt 1913-tól, majd rektor, sőt a harmincas években államtitkár.)

Id. Szily *Kísérleti természettan* című könyvéből a korzakra jellemző bölcséleti szellem árad: „*Mindazon változást, melyeket a testeken észreveszünk, tüneménynek, vagy jelenségnek nevezünk; ez magában foglalja a változást és a szemlélést, úgy hogy ha ezek egyike hiányzik, az mindjárt nem lehet tünemény, mert ha a változás külső szemlélő nélkül történik, úgy az reánk nézve, mint tünemény elő nem jöhet.*”

Eötvös József a kiegyezés kormányának tagjaként bejelentett javaslata szerint a Műegyetem az ország állami egyetemeivel egyenlő rangú tudományos intézet lenne. Ferencz József 1871. július 10-én hagyta jóvá a József Műegyetem új szervezeti szabályzatát, amely szerint a mérnöki, gépészmérnöki, építészeti és vegyészeti szakosztályokat megelőzi egy kétéves egyetemes szakosztály, ahol az érettségizett diákok természettudományi és egyéb általános tárgyakat hallgatnak. Az 1871 őszen megnyílt királyi József Műegyetem első rektora Sztoczek József lett.

A Műegyetemnek ekkor már három fizika tanszéke volt: az Általános természettan tanszék 1867-ben a Sztoczek vezette Technikai természettan és az 1869-től Szily vezette Kísérleti természettan tanszékre bomlott, de egy évvel később Szily az akkor alapított Matematikai fizika és Analitikai mechanika tanszéket vette át, miközben a Kísérleti természettan tanszékre két évre helyettesként Müller József kapott kinevezést. A Kísérleti természettan élére 1872-től Schuller Alajos került.

Schuller Alajos (1845–1920): fizikus, műegyetemi tanár, az MTA tagja. 1863-ban a műegyetem mérnöki tanfolyamán kezdte felsőbb tanulmányait. 1871-ben a heidelbergi egyetemre ment, ahol Kirchhoff és Bunsen tanítványa, egy évig Kirchhoff tanársegéde volt. Különös érdeme a laboratóriumi oktatás színvonalának emelése. Tökéletesítette a Bunsen-féle jégkalorimétert, nagy határfokú higanyos légszivattyút szerkesztett. 1916-ban vonult nyugalomba. – Főbb munkái: *Kísérleti fizika* (Bp., 1897); *Chemiai physica* (Szeged, 1905).

Tangl Károly így emlékezett vissza elődjére: „*Mikor a fizikai tanszéket átvette, annak felszerelése bizony gyenge volt, hogy a mai magaslatra emelkedett az első-sorban Schuller Alajos műve. A laboratóriumi munka volt legnagyobb gyönyörűsége, mely annyira betöltötte életét, hogy más örömet alig keresett... Megható volt, milyen szeretettel kezelt minden eszközt, melyek jórészt saját kezeivel készítette, mi miben ritka kezűgyessége nagy segítségére volt. Nem szerette a vásárolt eszközöket, mert ritkán talált olyat, ami kielégítette volna, alig van eszköz fizikai szertárában, melyre egyéni bélyegét valami átalakítás formájában reá ne ütötte volna. Megvolt az egyéni vonása minden előadási kísérletének is, melyek közül éppen ezért a legszerényesebbek is sikerültek.*”

Az alapozó képzést végző egyetemes szakosztály kísérleti természettana a szokásos mechanikát, hőtant, fénytant, valamint a delejesség és a villamosság tanát



A Műegyetem Múzeum körüli épülete 1882-ben

foglalta magába. Az ugyancsak az alapozásban szereplő *elméleti természettan* – 1875-től *analitikai mechanika* – a mai követelményeknek is megfelelően felépített tantárgy volt; és ha valaki többet akart hallani, Szilynél fél-éves kurzuson vehetett részt *Végigtekintés a természet-tanon az erély megmaradása szempontjából* címen.

A hároméves technikai szakosztályok számára különféle műszaki természettan tárgyakat hirdettek meg a fizika tanszékek. Ennek a műszaki természettannak a hőtani alapfogalmak és a mechanikai hőelmélet alapelvei, valamint a fűtéssel és szellőzéssel kapcsolatos gyakorlati problémák álltak a középpontjában, valamennyi optikával és elektromagnetizmussal övezve. A *chemiai természet-tan* barometricus méréseket, súly- és fajmeleg-méréseket tartalmazott, polarisatiót és sacchimetriát, valamint távcsövek és görccsövek szerkezetének leírását.

1882-ben a Műegyetem az új, Múzeum körüli épületeiben kezdte az őszi tanévet. A következő 25 évben itt, valamint az Esterházy utcai épületben húzta meg magát a mérnökök iránti kereslettel együtt növekvő egyetem, amíg az 1900-as évek elején fokozatosan elkészülő épületekbe, mai helyére költözhetett a budai Duna-parton. A Múzeum körülon maradt épületeket a Tudományegyetem kapta meg.

Az új épületbe költözés reformokkal járt együtt, egyebek közt a tanszabadság megszűnésével, kötött tanterv előírásával. Szervezeti változásként megszűnt az egyetemes szakosztály előkészítő szerepe, közvetlenül a megfelelő szakosztályba kellett beiratkozni. Az egyetemes szakosztály fokozatos elhalásával a képzési idő négy évre csökkent.

Ugyancsak 1882-ben a műszaki természettan felvette a technikai fizika nevet. Tartalmában a legfontosabb változást az elektromágnesség nagyobb súlyú szerepeltetése jelentette. Ide tartozott ekkor a villámhárítók, a dynamoelektromos gépek, az elektromos világítás és a telegráf berendezéseinek ismertetése, de szerepelt a tekercs mágneses nyomatókának vizsgálata, valamint a telefon és mikrofon működésének alapjai. Sztoczek fiatal tanársegédével, Wittmann Ferencsel ekkor indított külön kurzust *Elektromosság és mágnesség elektrotechnikuskok számára* címmel.

1890-ben meghalt Sztoczek József. Akkor 30 éves tanársegédének, Wittmann Ferencnek két évet kellett várnia, amíg rendkívüli tanárként kinevezést kaphatott a Technikai fizika tanszékre.



Az 1906-ban átadott Budafoki úti Fizika (F) épület

Wittmann Ferenc (1860–1932) fizikus, műegyetemi tanár, az MTA I. tagja (1908). Főiskolai tanulmányait a budapesti tudományegyetemen és a műegyetemen végezte. 1878-ban a műegyetem Kísérleti Fizika Tanszékén tanársegéd, 1892-ben a technikai fizika rendkívüli, 1895-ben rendes tanára. 1919-ben a budapesti Tanárképző Intézet igazgató helyettese. Úttörők a váltakozó áramok időbeni lefolyására vonatkozó kutatásai. A róla elnevezett oszcilloszkóp feltalálója. Behatóan foglalkozott a rádiótechnika kérdéseivel is.

1890-ben nyugdíjba vonult id. Szily Kálmán – de csak a fizikától köszönt el, hiszen még több mint 30 évig nyelvészkedett, szervezett és szerkesztett folyóiratokat, kikerülhetetlen személyisége volt a századforduló kultúrpolitikájának. Tanársegéde azonban nem volt, akinek átadhatta volna a tanszékét. Végül a Műegyetem Geometria Tanszékéről *Réthy Mór* került az Analytikai mechanika élére. A tanszéknek mind több gyakorlatias igényt kellett kielégítenie, amely folyamat során elsőként az Alkalmazott Szilárdságtan Tanszék jött létre 1895-ben. Idővel az Analytikai mechanika és Matematikai fizika feloldódott a szakosztályok műszaki mechanika típusú tanszékeiben, és a fizika tanszékekhez tartozására mind kevesebben emlékeztek.

A Schuller vezette Kísérleti Fizika és Wittmann Technikai Fizika Tanszéke a következő negyedszázadban annyi változást éltek meg, hogy 1906-ban beköltözhetek a budafoki úti Fizika (F) épületbe. A két tanszék kialakított egy közös tárgyat kísérleti és technikai fizika néven, amelyet az építész- és gépészmérnököknek Wittmann, az általános mérnököknek és vegyészeknek Schuller adott elő. A szakosztályok igényeit mindketten igyekeztek kielégíteni, ezért ennek a közös nevű tantárgynak bármely változata alkalmazott fizika volt. Az új felfedezések ismertetésében egyébként is napra kész Wittmann külön tárgyban tanította *Az elektrotechnika fizikai alapelveit*. A vegyészhallgatóknak pedig Schuller tanított *chemiai fizikát* heti 14–18 órában. Az óraszámából is láthatóan a tárgy elsősorban méréseket tartalmazott.

A Műegyetem számára fontos esemény volt a doktori cím odaítélésének joga 1901-től. A doktori szigorlatok melléktárgyaként minden szakosztály megjelölte a kísérleti-, a technikai- vagy a kémiai fizikát.

A következő esemény, amely a fizika műegyetemi helyzetének megerősítését szolgálta, az elméleti fizika

tanszék létesítése volt 1912-ben. Ebben az esetben nem egy tanszék keresett magának professzort, hanem a kiemelkedően tehetséges *Zemplén Győző* számára létesült a tanszék. Sajnos a beteljesedés elmaradt, mert Zemplén 1916-ban elesett az olasz fronton.

Zemplén Győző (1879–1916) Az elméleti fizika professzora, a folyadékok és az elektromos erőtér mozgásának neves kutatója, a lökéshullámokra vonatkozó, nevét viselő Zemplén-tétel megfogalmazója. Egyetemi tanulmányait Budapesten, Göttingenben és Párizsban folytatta. *Eötvös Loránd* tanársegédeje volt. 1908-ban a MTA levelező tagjává választotta. 1912-ben a budapesti Műegyetemen az elméleti fizika tanárává nevezték ki. Az elektromosságról, a rádióaktivitásról és a gázok belső sűrűlődséről írt könyvei díjakat nyertek. 1916-ban az olasz fronton hősi halált halt.



1916-ban Zemplén halálával betöltetlen maradt, gyakorlatilag megszűnt az Elméleti Fizika tanszék. Ugyanebben az évben Schuller Alajos is nyugalomba vonult, és a tanszék élére Tangl Károly került. Tangl ugyan csak öt, háborútól és következményeitől zaklatott évet töltött a tanszék élén, de ezzel is új stílust teremtett, amely a tudományos kutatást helyezte előtérbe.

Két világháború, és az évek közöttük

Tangl Károly (1869–1940): fizikus, egyetemi tanár, az MTA tagja. 1895-ben szerezte meg doktorátusát. Eötvös Loránd tanársegédjeként kezdetben potenciálemeléssel, később mágnességgel, a folyadékok és gázok dielektromos állandójának vizsgálatával, végül kapillaritási vizsgálatokkal foglalkozott. 1901-ben szerzett magántanári képesítést. 1903-tól a kolozsvári tudományegyetem fizikatanára, 1915-ben rektora. 1917-től a budapesti műegyetemen, 1921-től a budapesti tudományegyetemen a kísérleti fizika tanára. 1935-től az MTA Matematikai és Természettudományi Osztályának elnöke és az Eötvös Loránd Matematikai és Fizikai Társulat alelnöke. Főbb munkái: *Bevezetés a fizikába* (Bp., 1921); *Kísérleti fizika* (Bp., 1924)



Eötvös Loránd egykori tanársegédeje, aki professzori működésének 33 éve alatt a legkövetkezetesebben képviselte Eötvös szellemét és a legeredményesebben valósította meg elképzeléseit a szerepek kiosztásában a 20-as, 30-as évek magyarországi fizikájában. A modern fizika szellemét *Ortvay* jelentette ezekben az években, ámde Tangl tette lehetővé, hogy Ortvay az legyen, akivé lett.

Saját eredményeinél fontosabb, hogy sokak eredményes kutatómunkája nála indult. Első doktoranduszainak egyike *Békésy György* volt. Ekkoriban Tangl folyadékok és gázok dielektromos tulajdonságaival, folyadékok határfelületén kialakuló felületi feszültséggel foglalkozott. Ez utóbbi kutatásba kapcsolódott be Békésy. Tangl figyelt fel arra, hogy Ortvaynak nem való a kísérletezés, tehát elintézte, hogy két évig *Sommerfeld* mellett dolgozhasson. *Pogány Bélában* felismerte a nagyformátumú

kísérletezőt – neki hagyta a kolozsvári, majd a műegyetemi tanszéket. Tangl makacs és eredményes háborút vívott *Bay Zoltán* szegedi kinevezéséért. Ő indította el pályáján *Szalay Sándort*, ő ismerte fel *Forró Magdolna* és *Barnóthy Jenő* tehetségét, és támogatta őket a kozmikus sugárzás tanulmányozásában.

Jó érzékeléssel állapította meg, hogy kitől várható jelentős eredmény közvetve vagy közvetlenül, azaz a kutatásban vagy a tudományos közélet szervezésében. És Eötvös által megalapozott tekintélyét kamatoztatva elgondolásainak érvényt is tudott szerezni az ösztöndíjak megszerzésénél vagy tanszékek betöltésénél.

A háborúban hallgatnak a műsák, de a tankönyvek megírásánál ez kifejezett előny. Kolozsvári tapasztalatait a műegyetemi változatos hallgatói közegben ellenőrizve írta meg azokat a tankönyveket, amelyek mindenki számára lehetővé tették a fizika alapjainak elsajátítását. A *Bevezetés a fizikába* majdnem képletmentes, megértéséhez csupán odafigyelés és kitartás kell. Tangl jól kiismerte magát a legjobb teljesítmények között, és világosan látta, hogy a túlzott követelés elriasztja a szakmán kívülieket.

Tangl a Kísérleti Fizika Tanszék élén kísérleti fizikát tanított, és még csak el sem kerestelte műszaki fizikának. Az 1916 és 1921 közötti években ezt nem nehezményezte egyik szakosztály sem. Hallgatólagosan tudomásul vették, hogy a fizika egy ismeretkör és egy gondolkodásmód, amely mérnöki problémák megközelítésének is eszköze lehet. Tangl a fizikát nemcsak átfogónak és impozánsnak tudta, de hatásosnak is. Az egyetlen baj, hogy kevés az igazán jó fizikus. Az egyetemi tanszékek betöltésénél igyekezett a legjobb erőket támogatni. Így amikor Eötvös Loránd halála után ő vette át a Tudományegyetem Kísérleti Fizika Tanszékét, akkor nem azon törte a fejét, hogy a megüresedő műegyetemi tanszék szempontjából ki a legmegfelelőbb jelölt, hanem hogy a szóba jöhető fizikusok közül ki tudná a műegyetemi Fizika Tanszék nyújtotta lehetőségeket legeredményesebben kiaknázni. Egykori tanítványára, Pogány Bélára esett a választása, aki a szegedi egyetem szerényebb lehetőségeit cserélhette így fel a tágasabb, több kapcsolat lehetőségét ígérő műegyetemi tanszékkal.

Pogány Béla (1887–1943): fizikus, műegyetemi tanár, az MTA tagja. Tanulmányait a budapesti és a göttingeni egyetemen végezte, hol bölcsészdoktori oklevelet szerzett. 1908-tól két éven át Eötvös Loránd közvetlen munkatársa volt. 1918-tól a kolozsvári egyetemen a kísérleti fizika rk. tanára, 1920-tól a Szegedre helyezett egyetemen, 1923-tól a budapesti műegyetemen ny. r. tanár. Különösen optikai és akusztikai vizsgálatait jelentősek. Vizsgálta a fémrácsról elhajlított fény polárizációs állapotát, a katódporlasztással előállított igen vékony fémrétegek optikai és elektromos sajátosságait. Megismételte a híres Harres–Sagnac-féle kísérletet. *Schmid Rezső*vel együtt spektroszkópiai laboratóriumot rendezett be, ahol munkatársaival a molekulaszínképek analízisével elismert eredményeket ért el. Bevezette hazánkban a szeizmikus kutatási módszert, melyet föld alatti geológiai alakulatok felderítésében sikeresen alkalmazott. A Deutsche Physikalische Gesellschaft tagja, az Eötvös Loránd Matematikai és Fizikai Társulat titkára, majd 1942-től elnöke volt. Főbb munkái: *A fény* (Bp., 1921); *Bevezetés a fizikai optikába* (Bp., 1921); *Über die Wiederholung des Harres–Sagnacschen Versuches* (Annalen der Physik, 1926); *Az elektromágneses tér* (Bp., 1927); *Kísérleti fizika* (Bp., 1928); *Fizika* (Bp., 1933).

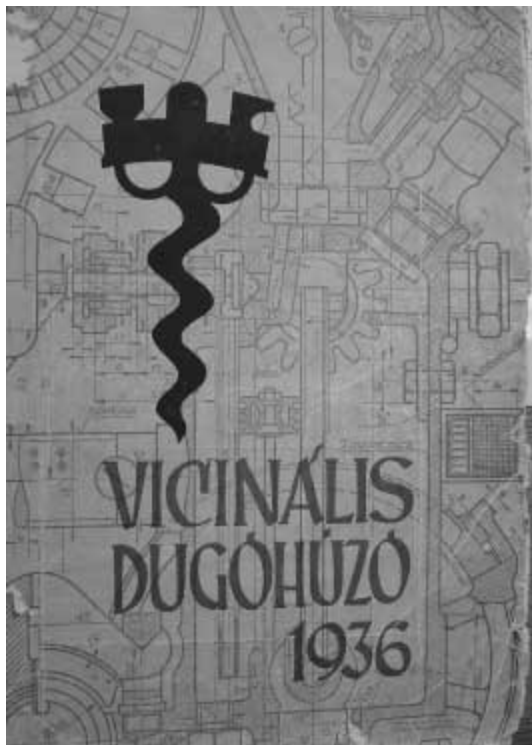


Pogány Béla „kíméletlen” fizikatankönyve

Pogány Béla éppen Lipcsében dolgozott a Harres–Sagnac-kísérlet előkészítésén, amikor megérkezett Tangl ajánlata a műegyetemi Fizika Tanszékről. Köszönettel elfogadta, de előbb befejezte a munkát Németországban, a jobb kísérleti feltételeket el nem szalasztva. Számára mindvégig a fizika művelése volt fontosabb, mint a tanítása. Ezt úgy kell érteni, hogy az előadásait mindig lelkiismeretesen megtartotta, gondoskodott megfelelő tankönyvekről is, de nem ezt tartotta fő feladatának. Tankönyveiben nem volt kíméletes; magas színvonalon adta elő a fizikát, pontosan, de cseppet nem szájbarágósan. Tangl *Kísérleti fizikájával* összehasonlítva Pogány négy évvel később megjelent azonos című könyvét, azt találjuk, hogy a közölt kétszerannyi tudnivaló elsajátításához legalább négyszer akkora erőfeszítésre van szükség. Cserébe olvasóit elvezette a legújabb eredményekig.

Wittmann Ferenc halálával 1931-ben megüresedett a Technikai Fizika Tanszék. Ettől kezdve 1944-ig egy fizika tanszék működött a Műegyetemen, amelyet Pogány vezetett, hol Technikai Fizika Tanszék, hol Fizikai Intézet néven. Pogány *Kísérleti fizikát* tanított mérnökhallgatóknak, *Fizikát* másodéves gépészhallgatóknak és *Fizikai mérések* címen laboratóriumi gyakorlatot tartott harmad és negyedéves gépészhallgatóknak. A doktori fokozatra készülőknek szólt a *Bevezetés az önálló tudományos kutatásba a Fizikai Intézet laboratóriumában*.

Pogány a számonkérésben méltó volt nevéhez. A tehetség felcsillanása szinte biztos sikert jelentett a vizsgán, hiánya viszont épp ellenkezőleg. Diákok tömege kért oltalmat közeli szobránál a szentéletű Gellért püspöktől, akinek szintén rossz tapasztalatai voltak a pogányokkal. A *Vicinális Dugóhúzó* központi figurája lett Pogány, érdekes módon kíméletlensége mellett igazságosságát hangsúlyozva. Pogánynak valóban nem esett nehezére kékvérű vagy egyéb okokból befolyásos jelöltek megbuktatni, szakmai öntudatát a társadalmi hierarchiában is használta. Az egyetem képviselőjében főrendiházi tag volt, és a három lépés távolságot közvetlen munkatársaival is betartatta. Nem szerette, ha professzor úrnak szólították, mert azután már jöhet a Béla bácsi, és a bizalmas-



A műegyetemisták lapja



Pogány (kivételesen nem úvvezókat vesz célba).

Pogány Béla a Vicinális Dugóhúzó „állandó” szereplője

codás mind rémisztőbb örvényei; nem, őt méltóságos úrnak kellett szólítani. (Hogy mennyi volt ebben az írónia a fizetési osztályok által felparcellázott úri társasággal szemben, azt csak találgatni lehet.)

Tény viszont, hogy előadásai, tankönyvei a legújabb kutatási eredményekig korszerű fizikát adtak, és ő munkatársaival elismert módon művelte a tudományt. A vékony fémrétegek optikájának kutatása, az ezzel járó vákuumfizikai jártasság az ötvenes években vált a tanszék egyik jól érvényesíthető szolgáltatásává. A gyökerek a kolozsvári egyetem laboratóriumáig nyúlnak, de Pogány a harmincas években sem lett hűtlen ehhez a még technika-ileg mindig mindig kezelhető területhez.

A látványos sikert a molekulaszpektroszkópia jelentette. Az alagsorban hatalmas betontömbön felépített rács a kor színvonalán álló eszköz volt, Pogány pedig megtalálta azokat a munkatársakat, akikkel eredményesen lehetett dolgozni. Mindenekelőtt *Schmid Rezsőt* és *Gerő Lorándot*, majd az ő nyomaikon *Budó Ágoston* és *Kovács István* már egy ismert tudományos iskola tekintélyét öregbíthették – ám ez már a Fizika Tanszékhez csak annyira kötődik, hogy a negyvenes években a hazai fizikusok mind tudtak egymásról.

Schmid Rezső (1904–1943): vegyész-mérnök, közgazdasági mérnök, fizikus, a magyar spektroszkópiai kutatások egyik megalapítója és úttörője. Vegyész-mérnöki oklevelét 1926-ban szerezte a budapesti műegyetemen; 1927-ben bölcsészdoktorátust szerzett. A műegyetem gépész- és vegyész-mérnöki karán Pogány Béla mellett volt adjunktus. 1932-ben ösztöndíjjal a chicagói egyetemen *Millikan* vezetésével folytatta kísérleti spektroszkópiai vizsgálatait 1933-tól a tudományegyetem magántanára. Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat fiatal fizikusok számára 1950-ben alapított díját róla nevezték el. Számos dolgozata többnyire a *Zeitschrift für Physik*-ben jelent meg.

Gerő Loránd (1910–1945): gépészmérnök, molekulaszpektroszkópus. Schmid Rezső tanítványa, majd 1936-tól tanársegédként munkatársa,

1943-tól pedig adjunktus volt. Kutatási területe: *Új módszer perturbációk felismerésére a molekulák színképén* (Bp., 1935.; doktori értekezés), továbbá több mint félszáz tudományos értekezés a kísérleti molekulaszpektroszkópia területén.)

Pogány Béla a harmincas években közvetlen ipari megbízásra is végzett kutatást. Kondenzátormikrofont szerkesztett szeizmikus mérésekhez a geológiai összetétel vizsgálatára a Tatabányai Kőszénbányák Rt. megbízásából. Ezzel több munkatársának anyagi gondjain tudott segíteni, ami a fizetés nélküli tanársegéd virágkorában fontos szempont volt.

Az ipar közvetlenül is támogatta a műegyetemi fizikát ezekben az években. A TUNGSRAM alapítványi tanszéket létesített az atomfizika oktatására. A tanszéket vezető Bay Zoltánnal jelentős fizikus egyéniség került a Fizika Tanszék szomszédságába. Minden feltétele megvolt egy élénk műegyetemi fizikai műhely kialakulásának, a békét kivéve. 1943-ban a háborús időszak nehézségeihez betegségek adódtak, amelyek elvitték először Schmid Rezsőt, majd rövid idővel később Pogány Bélát. Gerő Loránd hadifogságban halt meg 1945-ben.

Ötven év a második évezred végéhez közeledve

Pogány csak tökélyre vitte azt a törekvést, hogy egy pályázat elnyerésénél nem a tanszék kapott egy vezetőt, hanem a kinevezett nyilvános rendes tanár egy tanszéket. Pogány 1943-ban meghalt, és az ebben a szellemben szervezett tanszék hagyományozódott az új nyilvános rendes tanárra, *Gombás Pálra*.

Gombás Pál harminc éves koráig volt Ortway Rudolf tanársegéde a budapesti tudományegyetem Elméleti Fizika Tanszékén. Kitartó munkája eredményeként 1939-ben már 27 saját cikkre hivatkozhatott, amikor megpályázta a szegedi egyetem elméleti fizika tanszékét. A 27 cikkből 16 a *Zeitschrift für Physik*-ben jelent meg, témájukat te-

kintve pedig az atom statisztikus elméletének módszerét alkalmazták, elsősorban a fémek kötés magyarázatához. Felkészült és eredményes fiatal professzorra bízta a szegedi egyetem Gombás személyében az elméleti fizika tanítását. Az, hogy Gombás végül Kolozsvárról érkezett a budapesti Műegyetemre, a háborús nagypolitika terület-csatolatásainak volt a következménye.

Gombás Pál (1909–1971) A budapesti Tudományegyetem elvégzése után, 1933-tól, hat éven keresztül volt Ortway Rudolf mellett díjtalan tanársegéd. 1939-ben a szegedi Ferenc József Tudományegyetemen lett az elméleti fizika professzora, majd 1944-től haláláig a József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, illetve a Budapesti Műszaki Egyetemen a Fizika Tanszék vezetője, miközben 1954-től az MTA elméleti fizikai kutatócsoportjának igazgatója is. Kétszeres Kossuth-díjas (1948, 1950) akadémikus, 1948 és 1958 között az MTA alelnöke, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat első elnöke.



A kvantummechanikát nagyobb rendszerekre közelítő módszerekkel lehetett alkalmazni. A Thomas–Fermi–Dirac-modellt az elektronkorreláció és az inhomogenitási kinetikus energiakorrekció figyelembevételével Thomas–Fermi–Dirac–Gombás-modellé fejlesztette és alkalmazta különböző rendszerek, például fémek tulajdonságainak magyarázatára.

1935-ben vetette fel annak a lehetőségét, hogy a valenciaelektronok mozgását egy sajátos potenciáltérben vizsgálja. A Pauli-elvet helyettesítő pszeudopotenciál természeténélküljes elközelítésnek bizonyult, amely mindmáig szerepet játszik a szilárdtestek elektronszerkezetének és a fémek kötési energiájának számításában. Az atommagok Thomas–Fermi-modelljét az ötvenes évek elején dolgozta ki. Húsz évvel később a statisztikus modell ismét sikeresen lehetett alkalmazni nehéz atommagok globális tulajdonságainak elemzésénél.

Legfontosabb könyvei németül és oroszul is megjelentek. Egyedüli magyar szerzőként kérték fel, hogy szakterületéről összefoglaló cikket írjon a *Handbuch der Physik* számára. Harminchét év munkáját 130 tudományos közleménye tanúsítja.

Főbb munkái: *Bevezetés az atomfizikai többtest-probléma kvantummechanikai elméletébe*. Kolozsvár, 1943; *Die statistische Theorie des Atoms und ihre Anwendungen*. Wien, Springer, 1949; *Theorie und Lösungsmethoden des Mehrteilchenproblems der Wellenmechanik*. Basel, Birkhäuser, 1950; *Az atom statisztikus elmélete és alkalmazásai*. Budapest, Akadémiai Kiadó, 1955; *Pseudopotential*. Wien, Springer, 1967; P. Gombás and D. Kiski: *Einführung in die Quantenmechanik und ihre Anwendungen*. Wien, Springer, 1970.

A háborút követő évek az egyetem újjáépítésének és az oktatás újraindításának volt az időszaka. A rendkívüli időszak alkalmas volt arra, hogy Pogány Béla munkatársai és a Gombással érkezett elméletiek összeszokjanak. A tanszék kutatómunkájának alapvető irányát a professzor érdeklődési köre szabta meg, de Gombás természetesen nem akadályozta az optikai és vékonyréteg-vizsgálati kísérletek folytatását. Hely volt rengeteg, a kísérletezők pedig már megszokták, hogy abból fejleszhetnek, amit megkeresnek.

Marx György így emlékezett vissza hallgatói éveinek egyik nagy élményére, Gombás előadására: „Egyszer kis cédula jelent meg a hirdetőtáblán: *A Duna túlsó partján Gombás Pál az atom statisztikus elméletéről, Bay Zoltán pedig az atommagfizikájáról hirdetett kollégiumot. Néhányan, bemelegedünk a mérnökjelöltek birodalmába. A katedrán megjelent Gombás Pál, Bay Zoltán elegáns (egyáltalán nem tanáros) alakja, és tőlük a fizika más arcáról hallottunk. Műszakilag igényes kísérletek,*

mérési adatok, közelítő számítások, fokozódó pontosság, az eredmények kritikus összevetése. Az atom belseje hozzáférhető valósággá lett. A fizika többé nem csak múlt századi demonstrációs kísérletek forgószínpada. A modern fizika sem csupán a »semmiből egy új, más világot teremtettem« merész, intellektuális kalandja. Mindkettő benne foglaltatik, de a fizikában van egy lényeges többlet: az a dinamikusan élő híd, amely a műszerek által feltárható izgalmas valóság (esetünkben az atom belseje) és a matematikai eleganciájú egyenletek közt feszül.

Ezen a hídon vezetett végig Gombás Pál. Magasan szikár alakja, fehér köpenye, halk eleganciája első pillanatra arisztokratikusan büvös benyomást tett. A mikrofon is villamosmérnöki státusszimbólumnak tűnt. (Amikor sor került az évszázad meccsére matematikusok és fizikusok közt, azért az egyik oldalon Alexits György, a másik oldalon Gombás Pál védte a kaput. Nem is rosszul. Akkor még megesett ilyesmi: a Trefort-kertben Szent-Györgyi Albert koszarozott hallgatóival az ebédszünetben.) Egy-két hónap után azt is megértettük, hogy Gombás Pál visszafogott előadói stílusának célja az empirikus tények és a kvantitatív eredmények előtérbe állítása volt, ezáltal nevelt bennünket kutatói értékrendre. Világosan, tényszerűen, egyszerűen érvelt. Aki a Gombás-könyvek érthetően racionális, lépésről-lépésre pontosító, újabb és újabb problémák felé elindító stílusát egybeveti a szaklapok pongyolán tömörítő szövegével, felismeri: csak az tud így szólni a fizikai kutatás legkomplexebb területéről, a kvantummechanikai soktest-problémáról, aki mindent teljesen meg akar érteni, aki az egészet maga számolja végig. Aki olyan nagyon szereti tanítványait, tiszteli bennük munkatársait, hogy éretten és kutatásra serkentően akarja nekik átadni, a legutóbbi évek gazdaságilag értékes és szédítően szép eredményeit.

Gombás Pál azidőben a nemzetközileg legeredményesebb, legnagyobb impaktú magyar fizikusok (ketten-hárman ba voltak) egyike. A hazai kutatások felfuttatására talán ő gyakorolta a legnagyobb hatást. A szürke, piros, zöld, barna Gombás-kötetek a tankönyv- és monográfiairodalom remekei, szakadtra olvastuk őket nemcsak itthon, de nyugaton és a Szovjetunióban is. Gombás Pál azért írt könyvet, mert már akkor világosan látta: az új kvantummechanika válik a természettudományok latinjává, melynek értése és alkalmazni tudása nemcsak az elméleti fizikus, de a vegyész, mérnök és sok más szakember részére elengedhetetlen. A kvantummechanika alkalmazása pedig a többtest-problémát jelenti. Ezt feldolgozó könyvei az úttörők közé tartoznak a nemzetközi tudományos világban.

Pedig ekkor, a negyvenes években háború folyt, vagy romok eltakarítása. A két legszebb mű a szürke Gombás-könyv volt, amely 1943-ban jelent meg Kolozsvárott, és a piros Gombás-könyv, amelyet 1949-ben a nyugatnémet Springer adott ki.”

1947-ben, a kommunista hatalomátvétel évében jelentős tudósok döntöttek az országból való távozás mellett. Szent-Györgyi Albert, Hevesy György után Gombás Pál is elhagyta az országot. Az Egyesült Államokban azonban nem úgy alakultak a dolgai, mint ahogy elképzelte, és 1948-ban hazajött. Itthon a mind szélesebb körben ellen-

szenes rezsim keblére ölelte a kapitalizmusban csaldott tudóst, és elhalmozta mindazzal, amit minden felhajtás nélkül megérdemelt: megkapta a Kossuth-díj arany fokozatát, a Magyar Tudományos Akadémia alelnökének választotta. Ennek ellenére maradt Gombásban gyanakvás, ami néha megnehezítette az együttműködést – lásd a fordításra vonatkozó megjegyzését!

A kitüntető figyelemből jutott a tanszéknek is. A kísérleti részleg nagyszabású és szigorúan titkos katonai megbízásokat kapott, amivel azon kívül, hogy jól jövedelmezett, félelmetes biztonság is járt. Továbbá *Farkas Mihály* jóvoltából tisztí rang azoknak, akiknek addig sikerült a katonáskodástól távol tartani magukat – most frissen kapott rangjuknak megfelelő többhónapos pótkiképzésben részesülhettek.

1949-ben megalakult a Villamosmérnöki Kar, ami a Fizika Tanszék számára örvendetes oktatási feladattöbbletet jelentett. A három fő feladatkör – a nagyon számolás-, tehát időigényes tudományos munka, a katonailag ellenőrzött technológiafejlesztés, valamint a nappali, esti és levelező képzésben több karon végzett oktatás – szervezeti változásokat igényelt. Ennek legfontosabb lépése az MTA Elméleti Fizikai Kutató Csoportjának létrehozása volt.

A szovjet típusú kutatóintézet-centrikus szerveződésben Gombás komolyan vette funkcióit; ő a kutatócsoport igazgatója volt, és félállásban tanszékvezető. Ennek megfelelően a kétórás előadásból egyet megtartott, az előadás másik felét már egy gyakorlott munkatársára bízta. Ez a rendszer csak növelte a halk szavú, gégemikrofont használó Gombás előadásainak jó hírét, aminek alapja egyszerűsége, jól érthetősége volt; a legfontosabb fogalmakat, tételeket időtől nem zavartatva fejthette ki – az idővel való versenyfutás a társelőadóra maradt.

A Kutatócsoport létrejöttével a tanszéki munkatársak privilégiuma és kötelessége lett az oktatás. A tudományos munka papíron szerepelt az elvárások között, de az újfajta munkamegosztás a kutatócsoport tagjaitól várt el rendszeres publikációs teljesítményt. Hivatalosan a kutatócsoport nem tartozott a tanszékhez, de a közös épület és a közös vezető (a tanszék részére: félvezető) Gombás személye miatt sem hagyható figyelmen kívül a tanszék történetének számbavételénél.

Gombás kétségkívül iskolateremtő személyiség volt. Első munkatársai néhány év alatt önállósultak – *Hoffmann Tibor* ipari kutatóintézetbe, *Gáspár Rezső* a debreceni egyetem Elméleti Fizika Tanszékének élére, *Kónya Albert* a miskolci műegyetemre került. A Gombás-iskola második nemzedéke az ötvenes évek aspiránsai, vezető munkatársai közül került ki – *Kapuy Ede*, *Kisdi Dávid*, *Ladányi Károly*, *Szépfalussy Péter* már többé-kevésbé eltávolodtak a statisztikus atomelmélettől, inkább Gombás valamikori puritán személyiségéből, konok szorgalmából öriztek elemeket.

A Fizika Tanszékhez tartozott továbbra is az a létszámban is tekintélyes részleg, amely a pogányi kísérleti munka folytatását eleinte katonai irányítás mellett, majd 1956 után fokozatosan az ipari igényeknek megfelelően végezte. A hatvanas évek elején a vákuumfizikai csoport – tudományos osztályvezetői irányítás alatt – olyan vá-

kumberendezéseket készített, amelyet az ipar tiltás vagy szegénység miatt nyugatról nem tudott megvásárolni. Ezek a vákuumkályhák, vákuumkemencék több helyen még a hetvenes években is működtek.

Oktatómunkát a tanszék a villamosmérnöki és a gépészmérnöki karok számára végzett kellemesen nagy óraszámiban. Az oktatói lelkiismeret számára volt kellemes a 4 óra előadás, 4 óra gyakorlat hetente, mert nemcsak a magyarázatra, de a begyakorlásra is jutott idő. A villamosmérnöki oktatást Gombás Pál, a gépészmérnököt a magas ívű politikai szerepléséből 1957-ben a tanszékre visszatért Kónya Albert irányította.

Kónya Albert (1917–1988): fizikus, az MTA tagja. Oklevelét 1939-ben szerezte Szegeden. Ugyanott tanársegéd. 1942–45 között katonai szolgálatot teljesített, amely rövid hadifogsággal ért véget. 1945-től a budapesti Műszaki Egyetem adjunktusa, majd intézeti tanára. 1950–52 között a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem Fizikai Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára, 1951–52-ben a miskolci Gépészmérnöki Kar dékánja. 1952–54-ben oktatásügyi miniszterhelyettes, 1954–55-ben a Magyar Dolgozók Pártja Központi Vezetőségének tudományos, oktatási és kulturális osztályának vezetőhelyettese, 1954–56-ban az MDP KV póttagja. 1956 őszén oktatásügyi miniszter, majd oktatási kormánybiztos. 1957–60 között a Tudományos és Felsőoktatási Tanács főtitkára. 1957–82 között a budapesti Műszaki Egyetem Fizikai Tanszékének professzora, 1971-től tanszékvezető egyetemi tanára, 1974-től a Fizikai Intézet igazgatója. Az MTA Matematikai és Fizikai Tudományok Osztályának titkára (1963–64), elnöke (1970–73), az MTA főtitkárhelyettese (1964–70), Tudományos Minősítő Bizottságának (TMB) elnöke (1972–83). A Műszaki és Természettudományi Egyesületek Szövetsége (MTESZ) társelnöke, majd alelnöke 1972-től, a MTESZ Nemzetközi Kapcsolatok Bizottságának elnöke, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat főtitkára, majd elnöke volt. A Szocialista Országok Műszaki Tudományos Szervezeti Szövetségének (FENTO) alelnöke volt.



A hatvanas éveket békés kompromisszumok monoton láncolata jellemezte: az Ortvy, Pogány példáján szocializálódott Gombás három lépés távolságot tartott Kónyan kívül minden munkatársával, és ennek fenntarthatósága érdekében kitalálta az adminisztratív tanszékvezető-helyettes funkcióját. Ebben a szerepben *Antal János*nak kellett a kádári szocialista demokrácia formásgaival megküzdnie, azaz a párt, a szakszervezet, a KISZ megbízottaival egyezkedni előirt PR-kérdésekben (jutalmak, előléptetések, minősítések). A hetente sorra kerülő tudományos szemináriumokat azonban Gombás irányította – a tudományért továbbra is képes volt lelkesedni, és ezt másoktól is elvárta.

1971-ben Gombás Pál meghalt, és a tanszék vezetését Kónya Albert vette át. Ez volt az az időszak, amikor gazdaságossági megfontolásokból államilag támogatták az intézetek szerveződését. Kónya Albert minden tekintélyét és kapcsolatát fölhasználta, hogy a Műegyetem fizikai tanszékeiből és csoportjaiból jókora intézetet szervezzen.

A hetvenes évek közepétől kapott lábra az önelttartás eszménye; ne kérjünk kutatásra pénzt az államtól, hanem ügyes szervezéssel termeljük meg magunk. Ennek megfelelően alakultak az intézet arányai, és ha nem akart teljesen lemaradni, a Fizika Tanszéknek is részt kellett vennie ebben a bármi áron pénzt termelő versengésben. A vákuumfizikai részleg ehhez kevés volt, hiszen húsz éven

át csak termelt és eladott, önmaga fejlesztésére keveset fordíthatott. A vákuumgőzölés termékeire, a vékonyrétegekre volt igény, és ezenkívül mindent el kellett vállalni, amit a munkatársak képesek voltak megvalósítani. Ekkor indult egy erőteljes optikai kutatási vállalkozás, ami máig életképesnek bizonyult: a tanszék Koherens Optikai Laboratóriuma a bizonyíték erre.

Időközben nem csupán szervezeti, hanem oktatási reformok is végigsöpörtek az egyetemen, a karokon, általában lecsípve valamennyit a fizika óraszámokból, elsősorban az előadásokhoz tartozó gyakorlatok elsorvasztásával. Arra is volt példa, hogy kísérleti jelleggel olyan képzési forma indult a Gépészmérnöki Karon, amelyben a fizika a megfelelő helyen és akkora óraszámmal szerepelt, amely az alkalmazásokra, a modern eredmények bemutatására is lehetőséget adott. A kísérlet túl jól sikerült, ezért az elitképzés időszerűtlenségére hivatkozva rövidesen befejeződött.

A tanszék a hagyományoknak megfelelő oktatási feladatokat szervezték, ennek megfelelő volt a tanszékvezetők hatásköre. A Fizika Tanszéken először a vákuumfizikai csoportból érkezett Antal János, utána a koherens optikát meghonosító *Füzessy Zoltán* vállalkozott erre a feladatra, majd amikor a rendszerváltás jóvoltából átmenetileg a vezetés játékszabályai is bizonytalanok lettek, rövid időre *Csurgay Árpád*, majd *Füstöss László* látta el a tanszékvezetői teendőket az intézet új vezetési rendjének kialakulásáig.

A jelen

Ami a Fizika Tanszék honlapján (http://dept.phy.bme.hu/deptphys_hu.html) olvasható, az már (még) nem történet, az a jelen. Ez a jelen az 1990-es években kezdődött, amikor a kelet-európai politikai földcsuszamlás mentén az egyetemek hangsúlyozottabb szerepet kaptak a tudományos kutatás szervezetében. A doktori – PhD – cím odaítélése egyetemi jog lett; doktori iskolák szerveződtek, és ennek megfelelően erősödött a vezetői követelmények között a tudományos teljesítmény jelentősége. A műegyetemi Fizika Intézet után a Fizika Tanszék is akadémiakust kapott vezetőnek, ami a tudományos kutatás profiljának bővülése mellett a hazai és nemzetközi fizikus közéletben elfogadottságot is segített. Ennek szellemében kapta meg végső formáját a mérnök-fizikus-képzés, az intézet közös oktatási feladata, amiből a tanszék is arányos részt vállalt.



Az igeidő az utóbbi és a következő mondatokban ugyanolyan joggal lehet múlt, mint jelen, hiszen az utolsó 12 évről van szó. Ennyi ideje *Mibály György* a tanszék vezetője, aki egy, a nemzetközi kutatások élvonalába tartozó laboratóriumot hozott létre, s az évek során legtehetségesebb hallgatóiból egy eredményes kutatócsoportot formált. A kísérleteket az abszolút nulla fokot megközelítő alacsony hőmérsékleteken és extrém nagy mágneses terekben végzik. A vizsgált jelenségek közé tartozik az anyagi tulajdonságok módosítása nagy nyomások alkalmazásával: ilyen például egy szigetelő anyag fémmé vagy szupravezetővé való átalakulása több tízezer atmoszféra nyomás hatására. A laboratórium új kutatási irányai között megjelent a fémes nanoszerkezetek kvantumos jelenségeinek tanulmányozása és a mágneses félvezetők spintronikai alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata.

A tanszék Koherens Optikai Laboratóriumának munkatársai kifejlesztették a különbségi holografikus interferometriát, amelynek a digitális holográfiával való összekapcsolása nemzetközi együttműködés keretében a jelen és a közeljövő tudományos programja. Ugyancsak élő kutatási terület a tv-holográfia, és annak jól kidolgozott elágazása, a csíkkompensációs eljárás.

A Fizika Tanszék, ahogy az eltelt 150 évben, most is alapvetően oktatási egység, ahol a fizikai látásmód, a fizikai gondolkodásmód hallgatókba plántálása az elsődleges célkitűzés. A Műegyetemen a szaktárgyak többsége a fizika valamelyik eredménycentrikus alkalmazásáról szól – ilyen körülmények között a fizika tárgyak – amelyek az A, B vagy C betűvel jelzett terjedelműek – kötelessége a természettörvények egyszerűségét, szépségét és kikerülhetetlenségét kimutatni, bebizonyítani.

FIZIKUSNAPTÁR

Az **ELFT Vákuumfizikai Szakcsoportjának** szemináriumai 2005 első félévében, az előadások keddenként 14 órakor kezdődnek, az ELFT székházában, Budapest, II. Fő u. 68. II. em. 222. szoba.

Január 25.: ÓVÁRI LÁSZLÓ (Szeged): *Ion- és elektron-spektroszkópiai módszerek alkalmazása felületi folyamatokban*

Február 22.: MÉSZÁROS SÁNDOR (Budapest): 1. *Emlékezés Rédl Endre főmérnökre*, 2. *Fejlődés a színes tv-képernyők konstrukciójában*

Március 22.: KOVÁCS IMRE (Budapest): *Nanoszerkezetű fémoxidok vizsgálata STM, STS és XPS módszerekkel*

Április 19.: HORVÁTH ZSOLT JÓZSEF (Budapest): *Félvezető nanokristályok szigetelő rétegekben memória és világító dióda célokra*

Május 24.: CSIK ATTILA (Debrecen): *Határfelületek kialakulása és mozgásuk vizsgálata nanoskálán*

Minden érdeklődőt várunk.

BESZÁMOLÓ A 23. MIKOLA SÁNDOR FIZIKAVERSENY SOPRONI DÖNTŐJÉRŐL

A Mikola Sándor Országos Tehetséggkutató Fizikaverseny tizedik osztályos döntőjét a hagyományoknak megfelelően a Vermes Miklós Országos Fizikus Tehetséggondozó Alapítvány székhelyén, Sopronban bonyolították le 2004. május 9. és 11. között. A verseny meghirdetői: Vermes Miklós Országos Fizikus Tehetséggondozó Alapítvány, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, az Oktatási Minisztérium.

A verseny első, iskolai fordulóján, 2004. február 17-én több ezer 10. osztályos középiskolás indult a gimnáziumi és szakközépiskolai kategóriában. Az első fordulóban valamennyi kategória versenyzői iskolai tanulmányaiknak megfelelő feladatlapot kaptak, és 6 feladatot kellett megoldaniuk 3 óra alatt. A szaktanárok elbírálása alapján 420 tanuló jutott a második fordulóba, amely a kijelölt megyei és fővárosi centrumokban 2004. március 24-én került megrendezésre.

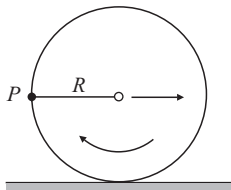
A második fordulóban a 2 kategóriában 3 óra alatt 4 feladatot kellett a résztvevőknek megoldaniuk. A dolgozatokat a versenybizottság Sopronban bírálta el. A második fordulóban elért eredményük alapján a 10. osztályosok közül 38 gimnazista és 10 szakközépiskolás jutott az országos döntőbe.

A döntőnek Sopronban ebben az évben is a Vas- és Villamosipari Szakképző Iskola és Gimnázium adott helyet, ahol a versenyzőknek az első napon 4 elméleti feladatot kellett megoldaniuk a rendelkezésre álló 180 perc alatt, majd a második napon egy kísérleti problémát kellett elemezniük 3 óra alatt.

Elméleti feladatok

Gimnázium 10. osztály

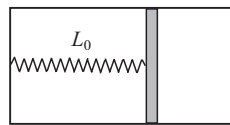
1. A jeges, vízszintes, egyenes úton egy személygépkocsi kereke úgy mozog, hogy a kerék tengelye $t = 2$ s alatt állandó sebességgel $s_1 = 2,5$ m hosszúságú utat tesz meg, a kerék kerületi pontjai pedig ezalatt egyenes mozgással $s_2 = 5$ m hosszúságú ívet futnak be. A kerék sugara $R = 25$ cm.



- Mekkora az ábrán megjelölt P pont úttesthez viszonyított sebessége és gyorsulása?
- Mekkora a P pont gyorsulásának pálya menti és a pályára merőleges komponense?
- Mekkora a kiszemelt P pont pályájának görbüeti sugara ezen a helyen?

(Koncz Károly, Pécs)

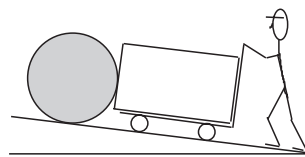
2. Egyik végén zárt, vízszintes hengerben lévő, sűrűdásmentesen mozgó dugattyú kétatomos ideális gázt zár el. A dugattyút a henger végével a dugattyúhoz és henger végéhez rögzített, $L_0 = 50$ cm hosszúságú, nyújtatlan húzó–nyomó rugó köti össze. A gáz kezdeti hőmérséklete $T_0 = 560$ K. A hengerben elzárt gázt lassan lehűtjük olyan T_1 hőmérsékletre, hogy a rugó hosszúsága $L_1 = 25$ cm-re csökken. A hűtés során a gáz $Q_1 = 1060$ J hőt ad le a környezetének. A hűtés után a gázt lassan olyan T_2 hőmérsékletre melegítjük fel, hogy a rugó hosszúsága $L_2 = 75$ cm legyen. Ismert, továbbá hogy a Kelvin-skálán mért hőmérsékletek aránya $T_2:T_1 = 4:1$.



- Határozzuk meg T_1 és T_2 értékét!
- Mennyi hőt kell közölni a gázzal azon folyamat során, amikor a rugó hosszúsága L_0 -ról L_2 -re növekszik?

(Kotek László, Pécs)

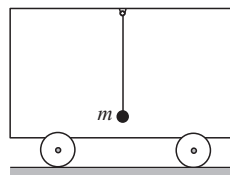
3. Egy enyhe lejtésű betonúton fel kell juttatnunk egy nagy ládát és egy hordót. Van egy jól olajozott targoncánk, amelynek gördülő ellenállása elhanyagolható, de erre csak a láda fér rá. Ezért a hordót az ábra szerint a targonca elé helyezük, és a targoncával felgördetjük a lejtőn, miközben a hordó a ládához sűrűdik. A láda és a hordó között a súrlódási együttható $\mu = 0,4$. A hordó tömege ugyanakkora, mint a láda és targonca együttes tömege.



- Mekkora erőt kell kifejtenünk a targoncára a „szerelevény” egyenes felfelé haladása közben, ha hordó nélkül, csupán a ládával megterhelt targonca felfelé mozgatásához $F_1 = 60$ N nagyságú, lejtőirányú erő kell?
- Mennyi hő fejlődik a hordó és a láda érintkezési helyén az $s = 100$ m hosszú úton?

(Károlyházy Frigyes, Budapest)

4.a Egy nyugalomban lévő jármű belső térében a karosszériához rögzített matematikai inga lóg függőlegesen. Az ingatest tömege m . Az inga vékony fonala elszakad, ha azt $2mg$ -nél nagyobb erő terheli. A közegellenállás elhanyagolható, $g = 10$ m/s².

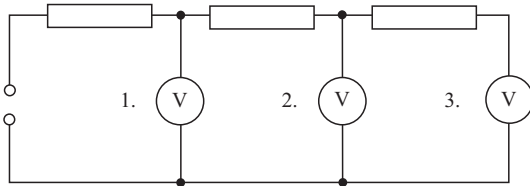


- Legfeljebb mekkora gyorsulással indulhat a jármű?

- b) A jármű lehetséges maximális gyorsulása esetén mekkora az ingatest talajhoz viszonyított gyorsulása akkor, amikor a fonál a legnagyobb szöget zárja be a függőleges iránnyal?

(Varga István, Békéscsaba)

4.b Az ábra szerinti kapcsolásban az elhanyagolható belső ellenállású feszültségforrás három azonos ellenállású fogyasztót működtet. A feszültségmérők is azonosak. Az 1. számú feszültségmérő $U_1 = 10$ V feszültséget, 3. számú feszültségmérő $U_3 = 8$ V feszültséget jelez.



- a) Mekkora feszültséget jelez a 2. számú feszültségmérő?
b) Határozzuk meg a feszültségforrás feszültségét!

(Kotek László, Pécs)

Szakközépiskola 10. osztály

Az 1. feladat az alábbi két feladat közül szabadon választható:

1.a Egy hőszigetelt tartályt hőszigetelő anyagból készült válaszfal oszt ketté. A tartály egyik, $V_1 = 41,4$ dm³ térfogatú részében, $p_1 = 1,2 \cdot 10^5$ Pa nyomású, $T_1 = 300$ K hőmérsékletű hélium van. A másik, $V_2 = 51,75$ dm³ térfogatú részét pedig $p_2 = 2,4 \cdot 10^5$ Pa nyomású, $T_2 = 500$ K hőmérsékletű hidrogén tölti ki.

Mekkora lenne a gázkeverék hőmérséklete és a nyomása, ha a hőszigetelő anyagból készült válaszfalat kivennék?

(Kiss Miklós, Gyöngyös)

1.b Adott U_0 üresjárású feszültségű (elektromotoros erejű) és R_b belső ellenállású feszültségforrásokat egyszer sorba, másszor párhuzamosan kapcsolunk. A keletkezett telepek kivezetéseire fogyasztót, és azzal sorosan egy elhanyagolható belső ellenállású áramerősség-mérő műszert kapcsolunk. A fogyasztó ellenállása 50-szerese egy feszültségforrás belső ellenállásának ($R_k = 50 R_b$).

- a) Melyik kapcsolás esetén nagyobb a fogyasztó által felvett teljesítmény?
b) Hány feszültségforrást kapcsolunk össze, ha a soros kapcsolású telep esetén 10,75 amper, a párhuzamos kapcsolású telep esetén pedig 2,0 amper erősségű áramot jelzett a műszer?

(Kopcsa József, Debrecen)

2. A talaj felett $h_1 = 1$ m magasan elejtett gumilabda $h_2 = 64$ cm magassáig pattan vissza, $g = 10$ m/s².

- a) Sebességének hányadrészét veszíti el a labda a talajjal való ütközés során?
b) Milyen kezdősebességgel kell a h_1 magasságból függőlegesen elindítani a labdát, hogy visszapattanjon az indítási pontba? Feltételezhető, hogy a labda sebességének

négyes nagysága minden ütközésben ugyanazon arányban csökken.

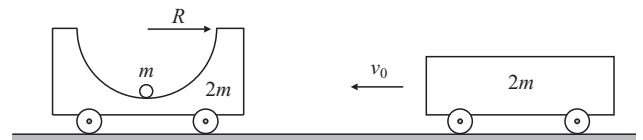
(Simon Péter, Pécs)

3. Két, $d = 25$ cm hosszúságú fonálingát felfüggesztünk egymástól $4d$ távolságban úgy, hogy az $m = 0,2$ kg tömegű ingatestek azonos magasságban legyenek. Az ingatesteket egy $L_0 = 50$ cm nyugalmi hosszúságú, elhanyagolható tömegű gumiszállal kötjük össze, majd függőleges helyzetükből egyszerre elengedjük őket. A gumiszál helyzete mindvégig vízszintesnek tekinthető. Az ingatestek távolsága a legnagyobb sebességű helyzetükben $x = 70$ cm. A közege ellenállás elhanyagolható, $g = 10$ m/s².

- a) Mekkora erő hatására nyúlik meg a gumiszál 1 métert, ha megnyúlása egyenesen arányos a feszítőerővel?
b) Határozzuk meg az ingatestek legnagyobb sebességét!

(Szkladányi András, Baja)

4. Vízszintes talajon nyugszik egy $2m = 2$ kg tömegű kocsis, amelynek tetején egy $R = 0,5$ m sugarú, félgömb alakú tartály van rögzítve, alján egy pontszerűnek tekinthető, $m = 1$ kg tömegű golyóval. A kocsi tengelyében $v_0 = 3$ m/s sebességgel érkezik egy ugyancsak $2m = 2$ kg tömegű kocsi, amely az állóval abszolút rugalmasan és pillanatszerűen ütközik. Minden súrlódás elhanyagolható, $g = 10$ m/s².



- a) Az ütközés után milyen magasra csúszik fel a pontszerű golyó?
b) Mekkora sebességgel mozognak a testek, miután a golyó visszaérkezett a tartály aljára?
c) Mekkora erővel nyomja ekkor a golyó a tartályt?

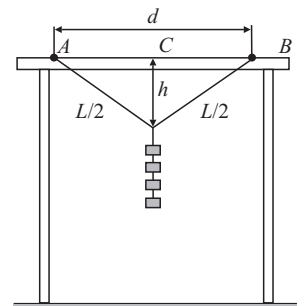
(Holics László, Budapest)

Kísérleti feladat

Munkaasztal szélén az egymástól d távolságra lévő A és B pontokban rögzítettük egy L_0 hosszúságú gumiszál két végét. A továbbiakban vizsgáljuk a gumiszál rugalmasságát!

Eszközök

10 db azonos, $m = 50$ g tömegű nehezék; mérőszalag; vonalzó; tartópálca; ragasztószalag; milliméter-papír; írólapok.



Feladatok

1. Méréssel határozd meg d és L_0 pontos értékét! Akassz a gumiszál közepére nehezékeket! Jelölje b a gumiszál közepének elmozdulását az AB szakasz C felezőpontjához képest!

- a) Mérd meg hogy, hogyan függ a b elmozdulás a gumiszál közepét lefelé húzó F erő értékétől!
- b) Mérési eredményeidet foglald táblázatba, és ábrázold grafikusan b elmozdulást az F húzóerő függvényében!
2. Számítsd ki, hogy mekkora a gumiszál maximális rugalmas energiája!
3. Jelölje K a gumiszálban ébredő rugalmas feszítőerőt! Vezess le olyan összefüggést, amelynek segítségével a mért adatokból K meghatározható! Ábrázold grafikusan K -t az F erő függvényében!
4. Mérési eredményeid alapján tanulmányozd, hogy a gumiszál megnyúlására érvényes-e Hooke törvénye?
(Varga István, Békéscsaba)

Sopronban az ünnepélyes eredményhirdetésre május 11-én délelőtt került sor. A versenyzőket Nagy Márton, a Vermes Miklós Országos Fizikus Tehetség gondozó Alapítvány ügyvezető igazgatója, a verseny főszervezője üdvözölte. Az eredményeket a versenybizottság (Kotek László, Pápai Gyula, Szkladányi András, Varga István, Zsúdel László) nevében Kotek László (elnök) ismertette. Az első helyezetteknek járó Mikola-émlékérmeket Walter Dezső Sopron város polgármestere adta át. Sopron város polgármesterén kívül köszöntötte a versenyzőket és szervezőket Papp György, a Nyugat-Magyarországi Egyetem Fizikai Intézetének professzora is. A helyet adó iskola nevében Bokor Ákos igazgatóhelyettes köszönt el a tanulóktól.

A döntő színvonalát jelzi az élen végzett tanulók teljesítménye. A gimnáziumi kategóriában az első helyezett a maximális 60 pontból (40 pont elméleti feladat, 20 pont kísérleti feladat) 54 pontot ért el. Az első három helyen végzett tanuló teljesítménye százalékban: gimnáziumi kategóriában: 90%, 78,3%, 73,3%; szakközépiskolai kategóriában: 60%, 55%, 55%.

A döntőben szerepelt 38 gimnazista átlagteljesítménye a kitűzött feladatokat illetően:

1. feladat	51,1%
2. feladat	51,1%
3. feladat	52,9%
4. feladat	28,4%
Kísérleti feladat	62,5%

A döntőben szerepelt 10 szakközépiskolás átlagteljesítménye a kitűzött feladatokat illetően:

1. feladat	89%
2. feladat	82%
3. feladat	20%
4. feladat	15%
Kísérleti feladat	41%

A verseny végeredménye

Gimnáziumi kategória

- HALÁSZ GÁBOR, ELTE Radnóti Miklós Gyak. Gimnázium, Budapest, felkészítő tanára: *Honyek Gyula*
- JANKÓ ZSUZSANNA, Radnóti Miklós Kís. Gimnázium, Szeged, *Mező Tamás*
- HOLLÓ LÁSZLÓ, Fazekas Mihály Főv. Gyak. Ált. Isk. és Gimnázium, Budapest, *Horváth Gábor*

- PAULIN ROLAND, Fazekas Mihály Főv. Gyak. Ált. Isk. és Gimnázium, Budapest, Horváth Gábor, 4. VÉGH SÁNDOR ZSOMBOR, DE, Kossuth Lajos Gyakorló Gimnázium, Debrecen, *Szegediné Nagy Judit, Dudics Pál*, 4. SZÉCHENYI GÁBOR, Verseghy Ferenc Gimnázium, Szolnok, *Pécsi István*, 7. KISS GERGELY, Fazekas Mihály Főv. Gyak. Ált. Isk. és Gimnázium, Budapest, Horváth Gábor, 8. SZALLER DÁVID, Berze-Nagy János Gimnázium és Szki., Gyöngyös, *Kissné Császár Erzsébet*, 9. ERDÉLYI VIKTOR, Radnóti Miklós Gimnázium, Dunakeszi, *Tölgyesiné Irmes Marianna*, 10. SZARVAS TAMÁS, Révai Miklós Gimnázium, Győr, *Csete Lajos*

- Incze Attila*, Radnóti Miklós Kís. Gimnázium, Szeged, Mező Tamás, 11. *Szilágyi Csaba*, Radnóti Miklós Kís. Gimnázium, Szeged, Mező Tamás, 11. *Szabó Tamás*, Radnóti Miklós Kís. Gimnázium, Szeged, Mező Tamás, 11. *Nikbázy László*, Kazinczy Ferenc Gimnázium, Győr, Dóczi Róbertné, 11. *Tornyai Árpád*, Fazekas Mihály Főv. Gyak. Ált. Isk. és Gimnázium, Budapest, Horváth Gábor, 11. *Erdélyi Márton*, Fazekas Mihály Főv. Gyak. Ált. Isk. és Gimnázium, Budapest, Horváth Gábor, 17. *Sajtos László*, Hőgyes Endre Gimnázium és Szakközépisk., Hajdúszoboszló, Szandai Kázmér, 17. *Engedy Balázs*, Dobó István Gimnázium, Eger, Hóbor Sándor, 19. *Kocsis Vilmos*, SZTE Ságvári Endre Gyak. Gimn., Szeged, Tóth Károly, 19. *Szijaártó Rita*, Garay János Gimnázium, Szekszárd, Jurisits József, 21. *Domokos Tamás*, Bethlen Gábor Református Gimnázium, Hódmezővásárhely, Berecz János, 21. *Boross Péter*, Tóth Árpád Gimnázium, Debrecen, Kovács Miklós, 23. *Faragó Dávid*, SZTE Ságvári Endre Gyak. Gimn., Szeged, Tóth Károly, 23. *Jobbágy László*, Árpád Gimnázium és Kollégium, Sárospatak, Szarvas Ilona, 25. *Tóth Manó*, ELTE Radnóti Miklós Gyak. Gimnázium, Budapest, Markovits Tibor, 25. *Várgedő Lajos*, Fazekas Mihály Főv. Gyak. Ált. Isk. és Gimnázium, Budapest, Horváth Gábor, 27. *Haraszi Réka*, Fazekas Mihály Főv. Gyak. Ált. Isk. és Gimnázium, Budapest, Tóth László, 27. *Matulík Gábor*, Leőwey Klára Gimnázium, Pécs, Simon Péter, 29. *Molnár Kristóf*, Zrínyi Miklós Gimnázium, Zalaegerszeg, Pálovics Róbert, 29. *Kovács Judit*, Fazekas Mihály Főv. Gyak. Ált. Isk. és Gimnázium, Budapest, Horváth Gábor, 31. *Hülber Tímea*, Fazekas Mihály Főv. Gyak. Ált. Isk. és Gimnázium, Budapest, Horváth Gábor, 31. *Karszt Mariann*, Magyar–Angol Tannyelvű Gimnázium, Balatonalmádi, Uray Szabolcs, 33. *Farkas Gergő*, Illyés Gyula Gimnázium, Dombóvár, Freller Miklós, 33. *Berényi Dániel*, ELTE Apáczai Csere János Gyak. Gimnázium, Budapest, Flórik György, 33. *Bana Péter*, Varga Katalin Gimnázium, Szolnok, Nagy Tibor, 33. *Pallos Tamás*, Fazekas Mihály Főv. Gyak. Ált. Isk. és Gimnázium, Budapest, Horváth Gábor, 37. *Fábián Gábor*, Fazekas Mihály Főv. Gyak. Ált. Isk. és Gimnázium, Budapest, Tóth László, 38. *Tóth Róbert*, Radnóti Miklós Kís. Gimnázium, Szeged, Dudás Zoltánné.

Szakközépiskolai kategória

- VASKÓ LÁSZLÓ, Puskás Tivadar Távközlési Technikum, Budapest, felkészítő tanára: *Szabó Gábor*
- EGRESSY ATTILA, Puskás Tivadar Távközlési Technikum, Budapest, Szabó Gábor
- FEKETE ZOLTÁN, Gábor Dénes E.M.K., Debrecen, *Gyebnárné Nagy Andrea*

4. LENDVAI ZSOLT, Puskás Tivadar Távközlési Technikum, Budapest, *Beregszászi Zoltán*, 5. VADKERTI-TÓTH EVELIN, II. Rákóczi F. Mg. és Közgazd. Szki., Kiskunhalas, *Tóbiás Zoltánné*, 6. NYÁRI ZOLTÁN, Puskás Tivadar Távközlési Technikum, Budapest, Beregszászi Zoltán, 7. ECKER TIBOR ÁDÁM, Puskás Tivadar Távközlési Technikum, Budapest, Szabó Gábor, 8. DAJKA ATTILA NORBERT, Kandó Kálmán Szakközépisk., Kecskemét, *Horváth Lajos*, 9. PINTÉR GYULA, Neumann J. Középisk. és Koll., Eger, *Balog Ildikó*, 10. MAGASHEGYI ISTVÁN, Pattantyús Áron Géza Ip. Szki. Győr, *Kóboriné Nagy Marianna*.

A soproni döntőben a szervezők gondoskodtak a diákok kikapcsolódásáról is. Lehetővé tették a város múzeumainak, nevezetességeinek megtekintését. Valamennyiük számára emlékezetes marad a *Kisberk János* tanár által vezetett, a Lővéreket meghódító hegyi túra. Egy életre szóló élményt jelentett a résztvevők számára *Károlyházy Frigyes* professzor előadása, amely igen szemléletesen mutatta meg, hogy hogyan lehet az élővilágban előforduló jelenségeket, mozgásokat a fizika törvényeivel, eszközeivel magyarázni.

A 2004. évi verseny érdekes következtetések levonására ösztönöz. A fizika tantárgy óraszámainak csökkentése mi-

att igen erőteljesen szűkül azon iskoláknak a száma, ahonnan a döntőig eljuthat tanuló. Az ilyen iskolában tanuló tehetséges diákoknak nagyon nehéz felvenni a versenyt azokkal, akik valamilyen ok miatt szervezett formában kiemelt óraszámokban foglalkozhatnak a matematikával és fizikával. A gimnáziumi kategóriában a döntőbe jutott 38 diák közül 14 diák a fővárosi gyakorló gimnáziumokban tanult.

Nagy örömmel értesültünk arról, hogy az ez évi Nemzetközi Fizikai Diákolimpián az a magyar diák, *Kömár Péter* (*Dvorák Cecília* tanítványa), érte el a legjobb kísérleti eredményt, és egyben aranyérmert nyert, aki a Mikolaversenyeken nevelkedett, edződött. 2002-ben Gyöngyösön a 9. osztályosok versenyén a 6. helyen végzett, majd 2003-ban Sopronban a 10. osztályosok versenyén a maximális pontszámmal győzött.

A soproni versenyen ismét megismerhettünk néhány igen tehetséges, nagy jövő előtt álló fiatalt. Közülük is kiemelkedik a gimnáziumi kategória győztese, *Halász Gábor* (*Honyek Gyula* tanítványa), aki duplázott, hiszen tavaly a 9. osztályos tanulók versenyét is megnyerte. Nem nehéz megjósolni, hogy hamarosan ő is a Magyar Olimpiai Csapat tagja lesz.

Kotek László

PTE TTK Fizikai Intézet

AKADÉMIAI OSZTÁLYKÖZLEMÉNYEK

AZ MTA FIZIKAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK ÜLÉSE DEBRECENBEN

2004. november 24-én, szerdán délelőtt 10.15 órai kezdettel az ATOMKI nagy előadótermében tartotta ülését az MTA Fizikai Tudományok Osztálya. Az ülés napirendje három részre tagolódott: a szokásos ügyrendi rész után 11.15-től az ülés nyilvános volt, és az ATOMKI 50 éves jubileumának, valamint *Gábor Zoltán* kolozsvári professzor 80. születésnapjának ünneplése jegyében zajlott. A nyilvános rész programja a következő volt:

AZ ATOMKI 50 ÉVES JUBILEUMÁVAL KAPCSOLATBAN elhangzott előadások:

Lovas Rezső (MTA lev. tag): Az ATOMKI ötven éve

Sulik Béla (MTA dokt.), *Tőkési Károly* (PhD): Pingpongozás elektronokkal

Krasznaborkay Attila (MTA dokt.): Axionvadászat

Gyürky György (PhD): A természet nukleáris vegyonyhája

GÁBOS ZOLTÁN, AZ MTA KÜLSŐ TAGJA KÖSZÖNTÉSE 80. születésnapja alkalmából:

Gulácsi Zoltán (fiz. tud. kand.): A pontosság, amit az ember a tanáraitól örökölt: egzakt megoldások két- és háromdimenziós sokrészeszkés rendszerekre

A látogatókat az alábbi, LABORATÓRIUMOKAT BEMUTATÓ ELŐADÁSOK készítették elő:

Molnár Mibály (PhD): A környezetanalitikai laboratórium bemutatása

Berényi Zoltán (dokt.), *Vad Kálmán* (fiz. tud. kand.): A SNIMS bemutatása

Máté Zoltán, ATOMKI

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

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

Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős: Berényi Dénes főszerkesztő.

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

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

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

Megjelenik havonta, egyes szám ára: 600.- Ft + postaköltség.

HU ISSN 0015-3257

JUBILEUMI MAJÁLIS A DEBRECENI ATOMKI-BAN

Sokan ismerjük azt az élményt, amit régen látott ismerősünkkel való találkozás jelent; pár másodpercig ismeretlennek tűnhet arca, aztán egyszerre csak meglátjuk benne a régi ismerőst. Öregdiákok, régi katonapajtások találkozásakor gyakori ez az öröm, ez az egymásra csodálkozás. Az ATOMKI ötvenéves jubileuma alkalmából összesereglett mintegy 350 főnyi egykori és jelenlegi dolgozónak is sok ilyen örömteli találkozásra adott alkalmat az ATOMKI udvarán 2004. május 21-én tartott majális.

Az MTA debreceni Atommagkutató Intézete 2004-ben ünnepli alapításának 50. évfordulóját. A jubileum jegyében íródtak a *Fizikai Szemle* 2004/5. számának cikkei, de az intézet több más módon is ünnepel: a fizikai ismeretterjesztés hagyományos tavaszi Fizikusnapjain az ATOMKI-ban folyó kutatásokról volt szó, ősszel nemzetközi tanácskozás és más tudományos összejövetelek során emlékezünk meg az ATOMKI ötven évéről külső intézmények képviselőinek a részvételével. Az ünnepi események tavaszi csokrának középpontjába egy olyan rendezvény került, amely az ATOMKI régi és jelenlegi dolgozói találkozásának, bensőséges ünneplésének volt hivatott lehetőséget adni.

Az ATOMKI-sok mindig örömmel hallgatják a látogatók dicséretét az ATOMKI udvarának, parkjának szépségéről. 2004. május 21-én a park tavaszi pompája a kertü mulatság előkészületeivel párosult: asztalok, padok sorakoztak a gyepen, a felkért vendéglátó cég sátrai alatt rotyogott a bográcsban a gulyás, hordókból hűs sör várt csapolásra. 11 órára egybegyűltek a résztvevők, az idő is szép volt, így a felhőtlen ünneplésnek minden feltétele adva volt.

A hangszórókban felhangzott a sláger: „Újra itt van a nagy csapat...”, majd *Lovas Rezső* igazgató megnyitotta a találkozót. *Berényi Dénes*t, az intézet egykori igazgatóját

kért fel ünnepi megemlékezésre. (Lásd *Berényi Dénes* írását alább.)

Berényi Dénes szavai után *Lovas Rezső* faafatási szerződés keretében elmondta, hogy mit jelképez a mellette levő facsemete, és mit takar a fácska melletti kék lepel.

A faafatás után az ünneplők az intézet Bem téri bejáratához vonultak, ahol *Lovas Rezső* megkoszorúzta az alapító igazgató *Szalay Sándor* emléktábláját, és felavatta az intézet egykori gyorsítóját mint térplasztikát. A 800 kilovoltos kaszkádgyorsító ezentúl szabadtéri muzeális tárgyként várja a Bem téren sétáló járókelők érdeklődő tekintetét.

A térről a résztvevők visszatértek az udvaron lévő asztalokhoz, és az igazgató pohárköszöntője után kezdődhetett az „aranylakoma”, ahogy azt *Lovas Rezső* nevezte utalva az 50-es számra. Az étel és ital mellett további kellemes események is voltak az ünneplésnek. Több vállalkozó munkatárs jóvoltából született a jubileum apropóján egy anekdotafüzet, amely az ötven év anekdotáiból, sztorijából foglal magában egy nagy csokorra valót. Ebből egy kis csokorra valót felolvasás során hallhattak a résztvevők, a többit az elvihető füzetből olvashatták el később. Ilyen elvihető dokumentum volt még a frissen elkészült intézetismertető füzet és a *Fizikai Szemlé*nek a jubileummal kapcsolatos száma. Egy kiállítás is várta a résztvevőket, amely az ötven év fényképeiből készült fűszerezve ATOMKI-s amatőr képzőművészek alkotásaival.

A történekekről már nem sok mindent kell mondani. Pedig az eddigiek csak a feltételekről szóltak, és a lényeg ez után teljesedett ki: beszélgetések ötven év ezernyi eseményéről, élményekről. Hosszú felezési idővel foglalkozott csak a résztvevők száma, és még a beköszöntő esti sötét-ség is talált adomázó ATOMKI-sokat az asztalok mellett.

Máté Zoltán

VISSZAEMLEKEZÉS AZ ATOMKI ALAPÍTÁSÁNAK 50. ÉVFORDULÓJÁN

Az elmúlt napokban, a jubileum közeledtével sokat gondoltam vissza a kezdetre. Persze nem a 15 milliárd évvel ezelőtti kezdetről, az ősröbannásról van szó, hanem arról az időről, amikor 50 évvel ezelőtt az ATOMKI elkezdte működését. Az 50 év a 15 milliárdhoz képest elenyészően rövid idő, de bizony az emberi életéhez képest, vagy egy intézmény életében bizony már jelentős időtartam, amelyre érdemes visszatekinteni.

Az ATOMKI alapításának 50. évfordulója tiszteletére rendezett majálison, 2004. május 21-én elhangzott visszaemlékezés írott változata.

Ötven évvel ezelőtt még épületünk se volt, az egyetem Kísérleti Fizikai Tanszék helyiségeiben kezdtük el a munkát: néhány – nyugodtan mondhatjuk – zöldfülű fiatal tele ambícióval, lelkesedéssel. Tapasztalt kutató csak kettő volt köztünk: *Szalay Sándor*, a Prof és *Medveczky Laci*, a „szürke eminenciás”, az intézet szervezője.

1956-ban kaptuk meg első, felújított épületünket, mely még az 1800-as évek végén épült és változatos szerepet töltött be – árvaháznak készült, a két háború között *Horthy Miklósné* egyetemi leánykollégium, majd szakérettségis kollégium volt –, mielőtt mi „birtokba vettük”.

Azután kezdtek peregni az évek. Megjelentek első közleményeink a nemzetközi folyóiratokban. Elkezdtünk külföldi tanulmányutakra, konferenciákra járni, amire 1956 előtt nem volt lehetőségünk. Sőt egy idő után már hozzánk jöttek tanulmányútra külföldi kollégák. Már nemcsak konferenciákra jártunk, de egymásra mi is rendeztünk nemzetközi konferenciákat, ide tudtunk vonzani kutatási területünk számos neves képviselőjét. Belekerültünk a tudomány nemzetközi vérkeringésébe.

Közben egyre nőtt az intézet létszáma, egyre épültek újabb és újabb épületei (ezek száma ma már húszon felül van). Ez az intézet sok más társától eltérően „szervesen” fejlődött: a Prof évről évre kiválasztotta a tehetséges végzős hallgatókat, összegyűjtötte lassan, kiválogatva nemcsak a kutatókat és aktuális kutatási témákat, de a kiváló segédszemélyzetet is, és ahogy szaporodott az intézet így növekvő létszáma, ahogy bővült a kutatási spektrum, úgy épültek az épületek, úgy készültek az új berendezések: a gyorsítók, a spektrométerek és speciális elektronikák. És még valami jellemző volt mindig intézetünkre: a szoros kapcsolat az egyetemmel, az oktatással, a tanuló ifjúsággal.

Nem hagyhatjuk szó nélkül azt sem, hogy az alapkutatási témákon kívül az ATOMKI-ban mindig jelen voltak az alkalmazások is, a kifejezetten ipari feladatoktól kezdve az orvosi gyakorlat előmozdításáig. Például a PET-berendezés ma is az egyetlen az országban és Bécsset, Prágát megelőzve kezdte el működését.

És ma, ötven év után egy nemzetközileg ismert és elismert, világszínvonalon dolgozó intézet az ATOMKI, amelyet ma ünneplünk, és amely nemcsak az egyetemes tudomány haladásához járult hozzá, de sokat jelentett és jelent közvetlenül is a város és az ország társadalmának.

Manapság sokat beszélnek az öregkor örömeiről és nehézségeiről. Biztos vagyok benne, hogy az idős ember legnagyobb öröme mind munkájában, mind családjában,



Az ATOMKI előtt kiállított 800 kilovoltos kaszkádgyorsító

ha azt látja, hogy méltó utódok vették át a stafétabotot. Newton írta annak idején, hogy azért tudott olyan nagyot alkotni, mert óriások vállán állt, vagyis nagy elődök munkájára tudott építeni. Mi viszont, az ATOMKI egykori alapító tagjai azzal az érzéssel és reménnyel tekintünk az intézet mai munkatársaira, hogy *óriások ősei vagyunk*.

Berényi Dénes

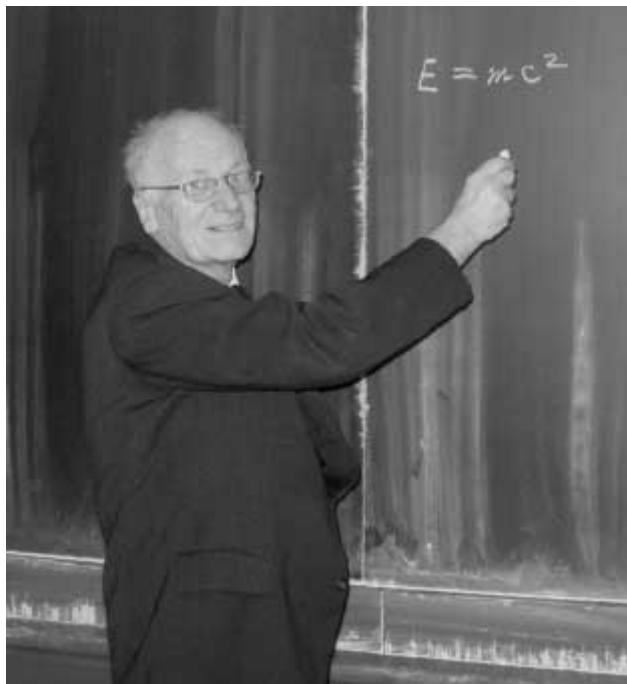
GÁBOS ZOLTÁN PROFESSZOR 80 ÉVES

Az a fizikus, vegyész, aki nem hallgathatta *Gábos Zoltán* professzor egyetemi és tudományos előadásait, aki nem dolgozhatott Vele együtt oktatói, tudományos közösségben, nem képes felmérni, mit veszített. Veszített, mert nem ismerhette meg közlő az egyetemi tanárt, a tudóst, a munkatársat, az embert, a felelős egyetemi vezetőt.

Példa értékű egyetemi oktató, nevelő. Magas mércét állított és állít önmagával és hallgatóival szemben, de azonnal meg kell jegyezni, hogy saját magától sokkal többet igényelt és követelt meg. Mindig élmény előadásait hallgatni, melyeket tudományos igényességgel és logikusan épít fel, lebilincselően ad elő. A hallgatóság figyelmét már az első mondataival leköti. Ez annak tulajdonítható, hogy minden alkalommal szabadon ad elő, a kréta kivételével más „segédanyagot” nem használ. Volt hallgatói, jelenlegi kollegái, több vagy kevesebb

sikerrel igyekeznek ezt a példamutató tanári magatartást követni. Tömören, logikusan, tudományos igényességgel fogalmaz, ugyanakkor a tömörség, az igényesség nem megy az érthetőség rovására, sokkal inkább azt segíti elő.

Személyes példája jótékonyan hat a hallgatókra, nem volt és nincs szüksége fegyelmezésre, vagy hogy felemelje a hangját. A hallgatók, de a mai kollégák – az egykoron volt hallgatók – is sok tantárgy esetében a minősítés érdekében készültünk a vizsgákra. Ez nem érvényes Gábos professzor esetében. Ilyen szintű előadások után hallgatóinak nagy többsége szégyellné, hogy készületlenül jelenjen meg a vizsgán. Itt el kell mondani, hogy Gábos professzor maximálisan megbízott a hallgatókban, fel sem merült benne – de a hallgatókban sem – a puskázás lehetősége, többször előfordult, hogy a vizsgázókat



magukra hagyta. A vizsgán a hallgatót partnernek tekintette, maximális segítséget nyújtott, jóindulatot tanúsított. Személyisége révén Gábos professzor nemcsak oktatót, hanem nevelt is, emberségével, erkölcsi és kollegiális magatartásával.

Nem mulaszthatjuk el, hogy ne szóljunk Gábos professzorról, a felelős egyetemi vezetőről. Tanszékvezetői, dékánhelyettesi, dékáni tevékenységét a közvetlenség, segítőkészség, őszinteség jellemezte. Nála nem létezett protokoll. Minden esetben lelkiismeretesen döntött annak ellenére is, hogy ez sok esetben karrierjét gátolta. Ennek tulajdonítható, hogy egy idő után már nem igényelték tudását és tapasztalatát. Vezetői minőségében kikérte és igényelte kollegái véleményét, és döntéseinél ezeket figyelembe is vette. Az utána következő felelős beosztású kollegáinak nagy többsége követte példáját, rendszeresen konzultált Gábos professzorral, és tanácsait mérvadónak tekintette.

Habár 1990-ben már nem volt vezetői beosztásban, következetesen, erkölcsösen, logikus érvekkel kiállt a Babeş-Bolyai Tudományegyetemen elsorvasztott magyar nyelvű oktatás újraindításáért, fejlődéséért, bővítéséért.

Mint tudósról is illik megemlékezni, de ez igazából nem szükséges, mert ezt tükrözik az alábbiak, de talán mindenképp az, hogy 1995 óta a MTA kültagja.

Gábos Zoltán professzor 1924-ben született Bánffyhyunadon. 1943-ban érettségizett a Kolozsvári Református Kollégiumban. Ezt követően 1943–1944 között a budapesti József Nándor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki karának hallgatója. Tanulmányait a kolozsvári Bolyai Egyetemen folytatja, és 1947-ben matematika-fizika szakos diplomát szerez. *Fényes Imre* tudományos irányításával *A mechanika formális elvei* című értekezésével megszerzi a doktori címet. 1948-ban kinevezik az Elméleti Fizika Tanszéken tanársegéd-

nek, 1950-ben adjunktusi, majd 1952-ben docensi címet szerez. Ebben a minőségében matematikai analízis és fizikai kémia előadásokat tart. 1956 és 1959 között a Fizika, majd az Elméleti Fizika Tanszék vezetője.

1959-től az egyesített BBTE Fizika Tanszékén fejt ki tevékenységét. Tudásának, hozzáértésének elismeréseként 1962-ben címzetes egyetemi tanárnak nevezik ki. 1962 és 1965 között dékánhelyettesi, majd 1966 és 1976 között a Fizika Kar dékáni tisztét tölti be. Ezt követően 1984-ig az Elméleti Fizika Tanszék tanszékvezető professzora.

A tanítás, oktatás szeretetét neves tanárai, *Fényes Imre, Vescan Teofil, Gyulai Zoltán, Borbély Samu, Imre Lajos* oltották Gábos professzorba.

Gazdag tudományos tevékenysége a nagy elődök *Réthy Mór, Vályi Gyula, Ortway Rudolf, Gombás Pál, Fényes Imre* munkáinak a folytatása. Tudományos kutatói tevékenységét – többek között – a következő területeken fejtette ki: disszipatív rendszerek mechanikája, forgó testek gravitációs kölcsönhatása, magasabb spinű részecskék kvantumelmélete, elemi részek polarizációja. Ez irányú tevékenységét 1990 után is folytatja, de ezek mellett mindinkább foglalkozik a fizika, a fizika oktatása történetével, megkülönböztetett figyelmet szentelve az erdélyi sajátosságoknak.

Tudományos és tudománypopularizáló tevékenységét a 100-nál is több dolgozat minősíti, melyek rangos, referált folyóiratokban jelentek meg, mint *Il Nuovo Cimento, Revue d'Optique, Acta Physica Polonica, Heavy Ion Physics, Studii si Cercetari de Fizica, Revue Roumaine de Physique, Astronomical Journal* stb.

Oktatói, tudományos tevékenységének elismeréseként több díjnak a tulajdonosa. A teljesség igényét mellőzve, néhányat megemlítünk, például Romániai érdekes egyetemi tanár (1970), a *Korunk* című folyóirat Bolyai-díja (1982), Fényes Imre-díj (1994), Eötvös Loránd Fizikai Társaság Tiszteletbeli tagja (1991), Erdélyi Múzeum Egyesület tiszteletbeli tagja (2000).

Tapasztalatát, ismereteit, igényességét kiaknázva több folyóirat szerkesztőbizottsági tagjává választotta, így a *Természet Világa, Firka, Múzeumi Füzetek*.

Ismereteit, tudását tanítványainak, a fizikusoknak, magyar és román nyelven írt egyetemi jegyzetek, könyvek formájában örököztette meg. Csak néhányat említsünk meg: *A kémiai termodinamika alapjai, Az elméleti fizika alapjai, Cours de termodinamica si fizica statistica, Fizikai kislexikon, Cours de Mecanica teoretica, Fundamentele mecanicii, Termodinamica si fizica statistica, Statistikus fizika*.

Még sok mindent kellene és illene elmondani Gábos professzorral kapcsolatban. Azt viszont feltétlenül meg kell említenünk, hogy kitűnő a humorérzéke. Finom humor jellemzi, s ennek tulajdonítható, hogy válságos helyzeteket humoros megjegyzéseivel számtalanszor sikerült feloldania.

Professzor Úr, kívánjuk, hogy még sokáig példát mutass mindnyájunknak, minél többet tanulhassunk továbbra is Tőled. Isten éltesse!

Karácsony János, NEDA ÁRPÁD
Babeş-Bolyai Egyetem, Fizikai Kar, Kolozsvár

NASA-ELISMERÉS MAGYAR KUTATÓKNAK

A NASA amerikai űrügynökség elismerő oklevéllel, *Group Achievement Award* díjjal tüntette ki az Európai Űrügynökség (ESA) Cluster-programjának vezető kutatóit, köztük a KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet négy munkatársát, a földkörüli térség kutatásához való sikeres hozzájárulásukért. ERDŐS GÉZA, KECSKEMÉTY KÁROLY, SZEGŐ KÁROLY és TÁTRALLYAY MARIELLA két kísérletben, a mágneses tér, valamint a közepes energiájú ionok és elektronok mérésében vesz részt. A Cluster-műholdak adatait a világ különböző pontjain elhelyezkedő adatközpontok kezelik, tárolják, készítik elő feldolgozásra. A nyolc adatközpont egyike a KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézetben működik. A magyar adatközpont szolgáltatja a pálya és egyéb kiegészítő adatokat a Cluster tudományos adatrendszerébe.

Az angol Cluster szó jelentése csoport. A program keretében négy, 2000-ben pályára állított, azonos műszerezésű műhold vizsgálja a Föld körüli térséget, adatokat gyűjt a Föld mágneses tere és a Naphól érkező áramlások bonyolult kölcsönhatásairól. A Naphól kiinduló változások, az „űrbeli időjárás változások” kihatnak a földi életre. Az űrkorszak egyik nagy felismerése volt, hogy milyen szorosan kötődünk a Naphoz, annak változásaihoz.

Az űrkutatás történetében először fordul elő, hogy több műhold egyidejűleg azonos feladatot lát el, így a mérések egyszerre szolgáltatnak adatokat a különböző jelenségek időbeli és térbeli lefolyásáról. A misszió során félévente változtatják a műholdak egymástól való távolságát, hogy különböző méretű jelenségeket tanulmányozhassanak.

Jéki László

RÁTZ TANÁR ÚR ÉLETMŰDÍJ – 2004

Az ELFT által felkért bizottság – *Molnár Miklós* (Szegedi Tudományegyetem Kísérleti Fizikai Tanszék – elnök), *Berkes József* (Pécsi Tudományegyetem), *Kotormán Mihály* (Debreceni Tudományegyetem Kossuth Lajos Gyakorló Általános Iskola), *Nagy Márton* (Berzsenyi Dániel Evangélikus Gimnázium, Szombathely), *Krassói Kornélia* (Jedlik Ányos Gimnázium, Budapest) és *Szegedi Ervin* (Debreceni Tudományegyetem Gyakorló Gimnáziuma) – javaslattetele alapján az Ericsson Magyarország Kft., a Graphisoft Rt. és a Richter Gedeon Rt. mint alapítók által létrehozott *Alapítvány a Magyar Természettudományos Oktatásért* Kuratóriuma – *Görög Sándor* vegyészprofesszor, akadémikus, *Kroó Norbert* fizikusprofesszor, akadémikus, az MTA főtitkára, valamint *Lajos Józsefné Balázs Erzsébet*, matematika tanítványi szakértő – a 2004. évi Rátz Tanár Úr Életműdíjakat az alábbi fizika szakos kiemelkedő tanároknak ítélte oda:

ZÁTONYI SÁNDOR (Sopron, OPI ny. ig. helyettes) azon nagy tanáregyeniségek közé tartozik, akik a legtöbbet tették a fizika tanításának korszerűsítéséért. Publikációi-

val, könyveivel, tankönyveivel egész tanárgenerációk szemléletmódját formálta. A Rátz Tanár Úr Életműdíj a fentebb bemutatott mintegy 57 éven keresztül kifejtett eredményes szolgálat, tevékenység, munka elismerése.

SEBESTYÉN ZOLTÁN (Pécs, a Testvérvárosok Terei Általános Iskola) nemcsak tanár, ízig-vérig pedagógus is. Hivatásának tekintette és tekinti tanítványai nevelését, személyiségük harmonikus fejlesztését, problémáik megoldásához önzetlen segítséget nyújt. Volt tanítványai érzelmileg is kötődnek hozzá, rendszeresen felkeresik, visszajárnak hozzá.

A társtudományok területén hasonló díjbizottságok javaslati alapján kiténtettek:

Matematika: RÁCZ JÁNOS (Székesfehérvár), REMÉNYI GUSZTÁVNNÉ (Budapest)

Kémia: KECSKÉS ANDRÁSNNÉ (Budapest), VILLÁNYI ATTILA (Budapest)

A díjakat ünnepélyes keretek között 2004. november 16-án a Thália Színházban adták át.

ERICSSON-DÍJAK – 2004

„A fizika népszerűsítéséért” díjat

ARANY TÓTH LÁSZLÓ (Boronkay György Műszaki Középiskola és Gimnázium, Vác),

KIRSCH ÉVA (Debreceni Egyetem Kossuth Lajos Gyakorló Gimnáziuma),

VARGA GÁBORNÉ (Csík Ferenc Általános Iskola és Gimnázium, Budapest) és

IFJ. ZÁTONYI SÁNDOR (Hugonnai Vilma Egészségügyi Szak-középiskola, Békéscsaba) kapta.

„A fizika tehetségeinek gondozásáért” díjat NAGYNNÉ FODOR ZSUZSANNA (Wigner Jenő Műszaki, Informatikai Középiskola, Eger) és

TÓTFALUSI PÉTER (Debreceni Református Kollégium Dóczy Gedeon Gimnáziuma) kapta.

Örömmel tudatjuk kedves tagtársainkkal, hogy társaságunk ismét megfelelt az előírásoknak és megkapta az Önök által a 2002. évi adóbevallásukban felajánlott 222.954,- Ft-ot, ami ismét több volt, mint az előző évi. A

fenti összeget a Társaság titkárságának alapvető működtetésére (irodabérlet egy részére) használtuk fel.

Támogatásukat nagyon köszönjük.

a Magyar Biofizikai Társaság elnöksége

A FIZIKAI SZEMLE LIV. ÉVFOLYAMÁNAK TARTALOMJEGYZÉKE

<i>Almár Iván, Both Előd</i> : A magyarországi őrtevékenység dióhéjban	73
<i>Balázs Lajos</i> : Az első magyar exobolygó?	47
<i>Barta András, Mizera Ferenc, Horváth Gábor</i> : Miért érdemes az égboltfény polarizációját az ultraibolyában érzékelni?	401
<i>Bäumler Ede, Deme Sándor, Vincze Árpád</i> : A hazai sugárvédelmi műszergyártás múltja és jelene	220
<i>Berényi Dénes</i> : Ismét a szinkrotronokról	361
<i>Bíró Tamás Sándor</i> : A kvarkanyag szokatlan termodinamikája	293
<i>Bodnár Andrea, Damjanovich Sándor, Vámosi György</i> : Nanotechnológia a biofizikában	325
<i>Bölcsöldi József</i> : Technikai civilizációk kapcsolatainak valószínűségi korlátjai	332
<i>Borbély András</i> : Szemcsés kompozitok vizsgálata röntgenholotomográfiával	37
<i>Bujdosó Ernő</i> : A Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam múltja, jelene és várható jövője	230
<i>Cseh József</i> : Rejtett szimmetriák	165
<i>Csete István</i> : A sugárvédelemben használatos mennyiségek és azok mérési lehetőségei	211
<i>Csőrgő Tamás</i> : Magyar kutatók részvétele a PHENIX-kísérletben	19
<i>Deák László, Bottyán László, Major Márton</i> : Vékonyrétegek szinkrotron-Mössbauer-reflektometriai vizsgálata stroboszkópos detektálással	372
<i>Faigel Gyula</i> : A röntgensugárzás hatása hétköznapijainkra	362
<i>Fényes Tibor</i> : Az atommagfizika fejlődési irányai	245
<i>Gábos Zoltán</i> : A klasszikus gravitációelméletéről	397
<i>Garab Győző</i> : Nemkettősréteg-lipidek kettősréteg-szerkezetű membránokban	377
<i>Haas János, Árkai Péter, Császár Géza, Vörös Attila</i> : Idő a geológiában – földtani időmegtározás	259
<i>Hajdu János</i> : Teller Ede hozzájárulása a szabad elektronok diamágnességének elméletéhez	408
<i>Horváth Dezső</i> : Antianyag-vizsgálatok a CERN-ben	90
<i>Horváthy, P.A.</i> : A bolygómozgás törvényeinek levezetése az oszcillátor mozgásából	180
<i>Inzelt György</i> : Régi-új áramforrások: a tüzelőanyag-elemek	252
<i>Jáki Szaniszló</i> : Egy megkésztet ébredés: Gödel a fizikában	338
<i>Jubász Bertalan, Fülöp Zsolt, Trócsányi Zoltán</i> : A nagy tudomány hálójában	146
<i>Jurcsik Johanna, Szeidl Béla</i> : Megújult a svábhegy 60 cm-es távcső és mérőrendszere	45
<i>Kanyár Béla</i> : Sugárvédelem Magyarországon – bevezetés	209
<i>Kanyár Béla, Zagyvai Péter, Homonnay Zoltán, Dezső Zoltán, Farkas György, Fehér István, Ozoray Kamilla, Pellet Sándor, Uray István, Vincze Árpád, Zombori Péter</i> : Sugárvédelem a felsőoktatásban	224
<i>Kenéz Lajos</i> : Plazmafizikai kutatások elektron-ciklotronrezonanciás ionforráson	411
<i>Kiss Árpád Zoltán, Szántó Zsuzsanna, Dezső Zoltán</i> : Az ATOMKI szerepe a környezet védelmében	155
<i>Korpa Csaba</i> : Mezonok és barionok a maganyagban	328
<i>Köteles György</i> : Biológiai ismeretek és sugárvédelmi szabályozás	216
<i>Kővári Zsolt</i> : Differenciális rotáció az LQ Hydrae felszínén	300
<i>Kövér László</i> : Elektronspektroszkópia és felületkutatás	120
<i>Krasznaborkay Attila</i> : Hogyan néz ki az atommag?	161
<i>Lovas István</i> : A legősibb atommagok	15
<i>Lovas Rezső</i> : Gloria in excelsis	289
<i>Lovas Rezső</i> : Honnan jött és merre tart az ATOMKI?	141
<i>Menyhárd Miklós</i> : Mélységi feltérképezés Auger-elektronspektroszkópiával	177
<i>Molnár József, Fenyvesi András</i> : Fejlesztések a CMS műondetektorainak helyzetérzékelő rendszeréhez	47
<i>Nagy Dénes Lajos, Bottyán László, Deák László, Major Márton, Szilágyi Edit, Tanczikó Ferenc</i> : Domének keletkezése és átalakulásai antiferromágnesesen csatolt multirétegekben	368
<i>Németh Judit</i> : Mi az a sötét energia?	1
<i>Németh Zoltán</i> : Újra a Marson!	80
<i>Odry Péter</i> : Digitális jelfeldolgozás alkalmazása a fizikában	381
<i>Pécz Béla</i> : Mágikus illeszkedés heteroátmenetű kristályszerkezetekben	304
<i>Sarkadi László</i> : Atomi ütközések fizikája	123
<i>Sulik Béla</i> : Fermi-gyorsítás: egy különös ionizációs mechanizmus	151
<i>Szabó Róbert, Csubry Zoltán, Kolláth Zoltán, Beaulieu, J.-P.</i> : A csillagok mint gravitációs távcsövek	7
<i>Szigeti János, Bakos József, Djotyán Gagik, Ignác Péter, Kedves Miklós, Sörlei Zsuzsa, Tóth Zoltán</i> : Igen alacsony hőmérsékletű atomok manipulálása rövid, frekvenciamodulált lézerympulzusokkal	84
<i>Tar Domokos</i> : A gömbvillám keletkezésének, lefolyásának és eltűnésének megfigyelése	334
<i>Tóth József</i> : A technika generációs fejlődése	54
<i>Török Szabina, Osán János</i> : Másodlagos aeroszolok nitrogénkomponenseinek mérése nagy időfelbontással	375
<i>Trajmár Sándor</i> : Elektron–atom (–molekula) ütközési folyamatok	109
<i>Varga Dezső</i> : β -spektroszkópiától az atomfizikáig	117
MEGEMLÉKEZÉSEK	
Berényi Dénes hetvenöt éves (<i>Lovas Rezső</i>)	131
Berényi Dénes: Szalay Sándor, az ember	172
Bor Pál, 1919–2004 (<i>Maróti Péter</i>)	206
Dezső Lóránt, 1914–2003 (<i>Ludmányi András</i>)	60
<i>Dombi József</i> : Emlékezés Budó professzorra, aki Szegeden a háború után a fizikát új életre keltette	387
<i>Füstöss László</i> : A műegyetemi Fizika Tanszék 150 éve	415
<i>Gergely György</i> : Szigeti György öröksége	25
Molnár Gábor, 1947–2004 (<i>Belgya Tamás</i>)	61
Neugebauer Tibor, 1904–1977 (<i>Nagy Károly</i>)	343
Novobátzky Károly (<i>Nagy Károly</i>)	200
Simonyi Károly és a magyar részecskegyorsítók (<i>Klopfert Ervin</i>)	204
Smidéliusz Zsuzsanna, 1943–2003 (<i>Fülöp Viktorné</i>)	59
Voszka Rudolf, 1928–2004 (<i>Hartmann Ervin, Janszky József</i>)	174
INTÉZETEINK, TANSZÉKEINK	
Bemutatkozik az ELTE Atomfizikai Tanszéke	31
<i>Berkes József, Buzády Andrea, Pálfalvi László</i> : Bemutatkozik a Pécsi Tudományegyetem Kísérleti Fizika Tanszéke	264
<i>Sailer Kornél</i> : A Debreceni Egyetem Elméleti Fizikai Tanszéke	63
AKADÉMIAI OSZTÁLYKÖZLEMÉNYEK	
A Fizikai Tudományok Osztálya 2004. évi díjai	199
A Magyar Tudományos Akadémia Közgyűlése	176
Az MTA Fizikai Tudományok Osztályának ülése Debrecenben (<i>Máté Zoltán</i>)	426
Emlékbeszéd Marx Györgyről (<i>Patkós András</i>)	193
Marx György, a jövő embere (<i>Ujvári Sándor</i>)	196
A FIZIKA TANÍTÁSA	
47. Országos Középszintű Fizikatanári Anket és Eszközkiállítás, Miskolc 2004. április 3–7. – Beszámoló az előkészületekről (<i>Mester András</i>)	69

47. Országos Középiskolai Fizikatanári Ankét és Eszközkiallítás (Kopcsa József)	282
Az Országos Szilárd Leó Fizikaverseny meghirdetése a 2004/2005. tanévre	318
Beszámoló a 23. Mikola Sándor fizikaverseny soproni döntőjéről (Kotek László)	423
Beszámoló a Hatvani István-fizikaversenyéről (Kopcsa József)	351
Farkas Zsuzsa: A vektorszköprendszer alkalmazása a kinematikában	345
Felhívás a Vénusz-átvonulás megfigyelésére	137
Harminc éves a Komárom–Esztergom Megyei Ifjú Fizikus Feladatmegoldó Verseny (Robonczai József)	106
Horváthy, P.A.: A Rutherford-féle szórásról	67
Jarosievič Beáta, Hártelein Károly, Mizser Attila: A Vénusz átvonulásának ünnepe	286
Javaslat a fizika oktatásának minimális követelményeire	27
Jedlik Ányos Országos Általános Iskolai Fizikaverseny, Nyíregyháza (Jármezei Tamás)	353
Középiskolai Fizikatanári Ankét	30
Légrádi Imre: Egy autózási probléma	175
Magyar siker „A Fizika színre lép” című nemzetközi kiállításon	138
Nagy Anett, Papp Katalin, Molnár Miklós: Gyorsabban, magasabban, erősebben	97
Öveges József Fizikaverseny – Győr, 2004 (Berkes József)	237
Pálfalvi László: Heuréka! – cáfolat és a helyes tétel	139
Sükkösd Csaba: „Magfizika és az élet” – a Szilárd Leó fizikaverseny néhány feladatának tükrében	307
Szabó Sándor: A Vénusz átvonulása 2004. június 8-án	133
Vannay László, Fülöp Ferenc, Máthé József, Nagy Tamás, Vankó Péter: A Fizika Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny harmadik fordulója a harmadik kategória részére 2002–2003	274
Vannay László, Fülöp Ferenc, Máthé József, Nagy Tamás, Vankó Péter: A fizika Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny harmadik fordulója a harmadik kategória részére – 2004	390
VII. Szilárd Leó Nukleáris Tanulmányi Verseny (Sükkösd Csaba)	311

DOKUMENTUM

Boojb, R.: Megvalósítható-e a fenntartható világ?	189
Pigozzi, M.J.: Az UNESCO és a Fenntartható Fejlődésre Nevelés Nemzetközi Évtizede, 2005–2015	185

TÁRSULATI ÉLET

A Magyar Fizikushallgatók Egyesületének közhasznúsági jelentése a 2003. évről	273
Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat alapszabálya július	
Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat közhasznúsági jelentése a 2003. évről	234
Felhívás javaslatlételre	36
Fizikus Vándorgyűlés	233
Köszönet az 1%-ért (Magyar Biofizikai Társaság elnöksége)	430
Nívódíj 2003	72

HÍREK – ESEMÉNYEK

2004. évi Bolyai-nap	321
2004. évi fizikai Nobel-díj	360
2004. évi Hevesy-érem	322
2005: A fizika éve	192
50 éves a CERN – ünnepi ülés az Akadémián (Horváth Dezső)	356
A 2003. évi fizikai Nobel-díjasok	36
A 2004. évi Bolyai-díjas: Bor Zsolt akadémikus (Roska Tamás)	393
A 2004. évi Jedlik Ányos-díj kitüntetettjei	132
A Magyar Szinkrotron Bizottságról (Nagy Dénes Lajos)	396
Átadták a 2004. évi Akadémiai Ifjúsági Díjakat	132
Átadták a Talentum Akadémiai Díjat	132
Bor Zsolt beszéde a díj átvételekor	394

Emléktáblát avattak Izsák Imre csillagász tiszteletére	132
Ericsson-díjak – 2004	430
Gábor Dénes-díj 2003	36
Gábor Zoltán professzor 80 éves (Karácsony János, Neda Árpád)	428
Jubileumi majális a debreceni ATOMKI-ban (Máté Zoltán)	427
Kitüntetés	322, 360
Kormánykitüntetések 2004. március 15-e alkalmából	132
Magyar diák sikere nemzetközi versenyen (Pakucs János)	306
Magyar Nukleáris Társaság közgyűlése	96
Már nem csak a csillagokból tekint le rájuk! (Láng Ágota)	360
NASA-elismerés magyar kutatóknak (Jéki László)	430
Nemzetközi tudománytörténeti konferencia Szombathelyen és Keszthelyen (Kovács László)	323
Rátz tanár úr életműdj – 2004 (felhívás)	319
Rátz tanár úr életműdj – 2004	430
Természet Világa Magyar Örökség-díjban részesült	322
Tudományos ülés Kroó Norbert akadémikus, az MTA főtákará 70. születésnapja tiszteletére	396
Úrtanítás 2004	323
Vajda István, Szalay András, Porjesz Tamás: Szupravezetők a mindennapokban: a XXI. század technológiája	354
Visszaemlékezés az ATOMKI alapításának 50. évfordulóján (Berényi Dénes)	427
Wigner Jenő munkássága magyar örökség	323

VÉLEMÉNYEK

A kísérletező tanár helyett kísérletező diák (H. Fodor Erika)	208
Hraskó Péter: Minden másképp van?	269
Kotormán Mihály: „Fizika a világ, s fizikus benne minden ember”	71
Nagy Károly: A természettudományos tanári pálya helyzete és távlatai	108
Próbaérettségi: elégtelen (Vankó Péter)	240
Végb László: Idegen szavak és a tanítás	320

KÖNYVESPOLC

Az elemek keletkezése (Fülöp Zsolt)	140
E. Szabó László: A nyitott jövő problémája (Berényi Dénes)	324
Enrico Fermi e la sua eredità scientifica (Abonyi Iván)	108
Gribov, V.N.: Gauge theories and quark confinement; The Gribov theory of quark confinement; Gribov lectures on theoretical physics (Frenkel Andor)	324
Hogyan kedveltessük meg a természettudományokat gyerekeinkkel?	324
Horváth Gábor, Varjú Dezső: Polarized light in animal vision (Haiman Ottó)	430
Hraskó Péter: Relativitáselmélet (Szabó József Béla)	72
Köthe, R.: Kísérletek könyve (Berényi Dénes)	107
Mackintosh, R., Al-Khalili, J., Jonson, B., Peña, T.: Az atommag – utazás az anyag szívébe	36
Neumann-emlékszám (Berényi Dénes)	176
Patkós András, Polónyi János: Sugárzás és részecskék (Sailer Kornél)	36
Planck válogatott írásai (Berényi Dénes)	72
Sagan, C.: Korok és démonok (Berényi Dénes)	324
Teller Ede: Huszadik századi utazás tudományban és politikában (Berényi Dénes)	140
Vargha Domokosné: Zách János Ferenc (1754–1832) (Abonyi Iván)	430

NÉGYSZÖGLETES KERÉK 72

PÁLYÁZATOK 24

FIZIKUSNAPTÁR 36, 140, 244, 322, 422

Horváth Gábor, Varjú Dezső: POLARIZED LIGHT IN ANIMAL VISION – POLARIZATION PATTERNS IN NATURE

Springer-Verlag, 2003

A Springer-Verlag *Élettudományok (Life Sciences)* sorozatában 2003-ban megjelent, elsősorban biológus, biofizikus, légkörfizikus és meteorológus képzettségű és érdeklődésű olvasóknak szánt, 447 oldalas könyv főcíme *Polarized Light in Animal Vision* (poláros fény az állati látásban), alcíme pedig *Polarization Patterns in Nature* (polarizációs mintázatok a természetben). A szokásostól eltérő módon az alcím nem magyarázza a főcímet, hanem egyenrangúként kiegészíti. Így pedig a két cím röviden és szabatosan tükrözi a könyv második és harmadik részének, a terjedelem 83%-át kitevő tartalmát.

A könyv első, mindössze 12 oldalas, *Imaging Polarimetry* (képalkotó polarimetria) című része a jellege és elhanyagolhatónak vélhető terjedelme ellenére a könyv elején található, holott az ilyen mérés- és megjelenítéstechnikai fejezetek többnyire a függelékek közé kerülnek. E fejezet viszont a könyv egyik fizikai jellegű bevezető része, amelyben a szerzők röviden ismertetik a képalkotó polarimetria lényegét, mely módszert nemcsak alkalmazták, hanem nemzetközileg elismert módon úttörően tovább is fejlesztették. E technika különféle változatait (monokuláris és sztereo, optikai, illetve ultrabolya video-polarimetriát; 1-lencsés 1-kamerás, illetve 3-lencsés 3-kamerás 180° látószögű képalkotó polarimetriát) azért fejlesztették ki, hogy az emberi szem számára gyakorlatilag láthatatlan, de a műszaki gyakorlatban jól használható és számos állat számára nélkülözhetetlen információt közvetítő fénypolarizáció térbeli eloszlását mérhessék, és nagyfelbontású, kétdimenziós, színes eloszlástérképek formájában jeleníthessék meg. A régebbi, pontforrású polarimetriás adatszerezési és -ábrázolási módszerekhez képest a képalkotó polarimetria legalább annyival nyújt többet, mint például egy háromdimenziós domborműves tájbrázolás a kétdimenziós, szintvonalas turistatérképekhez képest. E modern technika felhasználásával a könyv több helyen azt is szemlélteti – már amennyire a „látás” szubjektív élményről szövegek és ábrák egyáltalán tájékoztatni képesek –, milyenek „láthatják” az állatok azokat a tárgyakat vagy mintázatokat, amelyeknek nemcsak a fényességét és színét, hanem a sarkitottságát (polarizációját) is érzékeli.

A *Polarization Patterns in Nature* című, 91 oldalas 2. rész megismerteti az olvasót az állatok életterében – pontosabban: optikai környezetében – előforduló természetes (tisza és felhős égbolt, szivárvány, vízfelszín, délibáb, víz alatti világ) és antropogén eredetű (aszfaltutak, kőolajtavak, üvegházak, autókároszériák, mezőgazdaságban használatos műanyagfóliák) lineáris polarizációs mintázatokkal a legkülönbözőbb megvilágítási viszonyok között (nappal, napkeltekor/napnyugtakor, teliholdas éjjel, teljes napfogyatkozáskor). Egy külön fejezet foglalkozik a természetben előforduló cirkulárisan poláros fényvel, amelynek jelenlegi tudásunk szerint nem sok biológiai jelentősége lehet, mert az állatok képtelenek érzékelni azt. Ugyanakkor érdemes megjegyezni, hogy a szentjánosbogarak biolumineszcens fénye és a Scarabaeidae rovarcsaládba tartozó sok bogár (pl. cserebogarak) kitinpáncéljáról visszavert fény cirkulárisan poláros.

A *Polarized Light in Animal Vision* című 3. rész (280 oldal) arról szól, hogy az állatok (az ízeltlábú rovaroktól, rákoktól,

pókoktól és skorpióktól kezdve, a puhatestű lábasfejűeken és csigákon át, a halakon, kétlélűeken, hüllőkön és madarakon keresztül az emberig bezárólag) miként képesek anatómiailag és fiziológiailag a fény (fénynek tekintve a közeli ultrabolya és infravörös sugárzást is) sarkitottságának érzékelésére, és az ember kivételével mire használják e képességüket. Számos példa világítja meg, hogy egyes állatoknak miért célszerű, sőt életfontosságú a fény polarizációját érzékelni és aszerint viselkedni. Meg kell azonban jegyezni, hogy habár a könyvben behatóan tárgyalt nagyszámú állatfaj polarizációérzékelése bizonyított, annak biológiai célszerűségét még nem minden esetben sikerült földeríteniük a kutatóknak.

A könyv merész színekben pompázó borítójának háttérét az a tudománytörténetileg is jelentős polarizációs mintázat képezi, amely a poláros égboltfény és földfény rezgéssíkja orientációjának egy 4 km magasan lebegő hőlégballonról mért eloszlását ábrázolja egy gömbfelületen. A borító képének előterében néhány tipikus polarizációérzékelő állat látható, példázva a könyv biológiai vonatkozásait.

Horváth Gábor és *Varjú Dezső* könyve egy olyan tudományközi monográfia, amely biológiai, meteorológiai, légkörfizikai és fizikai (optikai) tényeket és téziseket szintetizál. A 400 oldalnyi, szabatosan és tömören megfogalmazott angol szöveget 850 (!), 1844 és 2003 nyara között megjelent közleményre való hivatkozás támasztja alá, illetve egészíti ki. Tartalmilag ugyancsak kiegészíti 130, többségében igen ügyesen tájékoztató, Horváth Gábor által készített szövegközi ábra, és 12 oldalnyi, kvantitatív információt is közlő színes tábla. A 350 tételes tárgymutatóval a szerzők – mint szokás – az olvasók segítségére igyekeznek lenni. Mivel a monográfia látóköre szinte az egész magasabb rendű állatvilágra kiterjed (egy alfejezet erejéig még a növények polarizációérzékelését és annak a növényi kloroplasztizok fényvezérelt irányulási mechanizmusában játszott szerepét is tárgyalja), a közölt információ mennyisége szinte nyomasztóan sok. Az interdiszciplináris jelleg miatt a szerzők fejtegetéseinek nagy része többszörös. Mindezek nehéz, de legalábbis szokatlan feladatok elé állítják a könyv olvasóinak többségét, kivéve persze a fő- és alcímekben körvonalazott tudományágakra szakosodott kutatókat, akik számára viszont a könyv bizonyára amolyan „poláros bibliává” válik.

Ami a mű tankönyvként való használatát illeti, pláne a *Fizikai Szemle* tanár olvasói és azok tanítványai részéről, nem tételezhető fel, hogy a szerzők erre gondolva írták volna meg könyvüket. Ennek ellenére a Lapunk olvasóinak tág körében többen is akadnak majd, akik haszonnal forgathatják a könyvet. A *Szemle*ben történő recenzálást egyébként a hazafiság is indokolja: büszkeséggel vehetjük tudomásul, hogy az igényes és igen válogatós Springer-Verlag habozás nélkül vállalta a szerzők által angol nyelvű szinopszis formájában benyújtott mű könyvként való kiadását és világpiacon dobását, nem is ötkrajcáros áron.

Kellemes kötelességemnek tartom, hogy kedvcsinálónak a poláros fény mozaikjaiból néhány érdekesebb és jelentősebb részletre hívjam fel a figyelmet: i) Megtudhatjuk a könyvből

például, hogy az égboltny polarizációjának ismeretében miként lehet a felhők földfelszínről, illetve űrszondáról történő detektálásának pontosságát jelentősen fokozni. ii) Fény derül a kuvaiti kőolajtavak és a budapesti pakurató, valamint más természetes, illetve mesterséges olajkiömlések azon optikai (fénypolarizáló) sajátosságaira, amelyek magyarázatot adnak arra a furcsa biológiai jelenségre, hogy ezek az olajfelületek mágnesként vonzzák magukhoz és pusztítják el a vízirovarokat. Megtudhatjuk azt is, hogy a vízirovarok polarotaxissal detektálják a vízfelületeket, ezért az olajfelszín poláros fénycsapdaként működnek számukra. iii) Polarimetriai és viselkedési kísérletekről olvasva megérthetjük azt a régóta megfejtetlen rejtélyt, hogy a kérészek, ezek a veszélyeztetett törekeny vízirovarok miért petéznek gyakran tömegestül a száraz aszfaltutakra. iv) A spektrum látható tartományában végzett mérések alapján bepillantást nyerhetünk abba, hogy az 1999. augusztus 11-i magyarországi teljes napfogyatkozáskor az égbolt polarizációs mintázata milyen volt, és miként változott az időben a totalitás néhány perce alatt uralkodó szokatlan megvilágítási viszonyok eredményeként. A napfogyatkozás egén több új polarizálatlan (neutrális) ponttal is megismerkedhetünk, amelyek léte egy korábbi elméleti jóslatot is igazol. v) Olvasóként átélhetjük azt a kalandos expedíciót is, melynek során hőlégballonról 4000 m magasságból napkeltekor végzett 180° látószögű képkalkító polarimetriai mérésekkel 2001 nyarán elsőnek sikerült a szerzők egyikének (Horváth Gábor) megfigyelnie a légkörben kialakuló negyedik neutrális pontot, amivel egyben lezárult a légköri optikának a neutrális pontok kísérleti kimutatásával kapcsolatos fejezete, amely 1810-ben, 1840-ben és 1842-ben kezdődött, mikor *Arago* francia csillagász, *Babinet* francia meteorológus és *Brewster* angol fizikus figyelte meg először a földről az égbolt később róluk elnevezett három neutrális pontját. Az elméleti megfontolásokból is következő 4. neutrális pont létét az 1840-es évek óta

számos sikertelen próbálkozás ellenére Horváth Gábor és diákjai előtt még senki sem volt képes kísérletileg bizonyítani. vi) Megismerkedhetünk az állatok polarizációlátása ultraibolya (UV) paradoxonának szakmai körökben régóta várt föloldásával is, vagyis magyarázatot lelhetünk arra, hogy miért az UV-tartományban detektálható leghatékonyabban az égbolt polarizációs mintázata részben felhős égbolt esetén. vii) Kiderül az is, hogy miért hat zavaróan a fény polarizáció a színek érzékelésére, avagy hogyan látnák a rovarok a virágok és levelek színeit polarizációérzékeny szemekkel, továbbá hogy miért kell ezeket a polarizáció keltette hamis színeket kiküszöbölniük a rovaroknak szemük növényeket figyelő részeiben?

A könyv szerzőit bemutató részből megtudhatjuk, hogy Varjú Dezső 1956-ban, Horváth Gábor pedig 1987-ben fizikusként végzett az ELTE-n. Varjú Dezső 1956-tól Németországban futott be karriert. A biokibernetika egyik „pápájaként” a Tübingeni Egyetem általa alapított Biokibernetikai Tanszékéről ment nyugdíjba. Jelenleg a Kognitív Neurotudományi Tanszék emeritus professzora. Horváth Gáborral, aki jelenleg az ELTE Biológiai Fizika Tanszékének habilitált docense és a Biooptikai Laboratórium vezetője, 1988-ban találtak egymásra, s azóta is töretlen erővel és sikerrel kutatnak együtt. Számos közös cikk írását követően legújabb együttműködésük, amelyet egy 14 hónapos Humboldt-ösztöndíj tett lehetővé, az itt ismertetett vastkos monográfia alkotásában csúcsonyodott ki. A recenziót jegyző alulírottak pedig Horváth Gáborral először akkor volt „dolgom”, amikor a *Fizikai Szemle* szerkesztőbizottsági tagjaként egyetértettem azzal, hogy a Lapunk 1986. és 1988. évi legjobb egyetemi hallgató által írt cikkéért dívdíjat kapjon. Részben az itt recenzált könyv elismerésül pedig az ELFT Horváth Gábot 2004-ben Budó Ágoston-díjjal tüntette ki.

Haiman Ottó

ELTE Biológiai Fizika Tanszék

Vargha Domokosné: ZÁCH JÁNOS FERENC (1754–1832)

Magyar Tudománytörténeti Szemle Könyvtára, 42. kötet

(A Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézet Kiadványai, 7. sz.)

Magyar Tudománytörténeti Intézet kiadása, Piliscsaba, 2003, 288 o.

A csillagászat történetének jeles kutatója, *Vargha Domokosné* új kötetével különösen érdekes témát kínál az olvasónak. Mert – bizonyára így van ezzel a csillagászat más szerelmese is – nem gyakorta találkozunk eddig *Zách János Ferenc* nevével a magyar tudományról vagy akárcsak a magyar tudománytörténetről szóló művekben. Így például a *Természettudományi Lexikon* 1968-ban megjelent kötete, de még a pótkötet sem lesz említést erről a személyiségről. Mi lehet ennek az oka? Nehéz erre a kérdésre válaszolni. Zách sajátos tevékenysége: a Naprendszeren belüli megfigyelések, az európai térképészet csillagászati módszereinek elterjesztése, a csillagászat és a felsőbb geodézia kérdéseit taglaló, többé-kevésbé gyakorta megjelenő nyomtatott kiadványok, hogy nem mondjuk így, csillagászati periodika Európa-szerte hozzáférhetővé tétele terén folytatott óriási küzdelem. Legendás emberi alakja iránt a nemzetközi érdeklődés – Vargha Domokosné forrásmunkáinak jó része is – néhány évtizede jelent csak meg.

Nem akarhatjuk Vargha Domokosné könyvét itt kivonatolni Zách életútjának összefoglalásával. Meg kell azonban mondanunk, hogy a szerző nagy feladatot vállalt magára, és csodálatosan ötvözött életrajzot írva mutatta be Zách szakmai tevékenységét. Zách életútjának bemutatása, az olmtüzi születésű, később pesti orvos apától a testvérekig, majd részletesebben az iskoláévek, a katonatiszti pálya, a térképészet és a csillagászat tevé-

kenységébe beleszerelmesedő fiatalember bemutatása a dokumentumok alapján élvezetes, már-már kalandregény. Ehhez járul annak a korszaknak a részletes leírása, amely a Nagy Francia Forradalom Európában felbolydított világában Zách személyes viszonyain is végigkalmaz. Tagadhatatlan, hogy a csillagásztevékenységből eredő számkivettség, a Monarchia területén kívülre kényszerített Zách, az 1786-tól a gothai udvarba került csillagász egyéni életútja – *Charlotte-Amália* szász-gothai hercegnővel való kapcsolata, mely később valószínűleg titkos házassághoz vezetett – nemcsak meghatározó emberi történet, hanem érdekes írás egy rendkívül aktív csillagász-térképész életéről.

Vargha Domokosné kötetének szerencsésen ötvözi az életút bemutatását Zách szakmai tevékenységének ismertetésével. Ennek eredménye, hogy csak csodálni tudjuk, hogy mekkora szakmai ügyszereket és tenni akarás ötvöződött Zách személyében, és döbentem olvassuk Zách életútjának alakulását. A kötet a magyar csillagászat történetének érdekes mozzanatát elemzi, eléri, hogy ne csak a „nagy” mozzanatok tanúi legyünk, hanem meglássuk a viszonylag „kisebb” tudománytörténeti eredmények igazi jelentőségét is. Csak örömmel szolgálhat, hogy Vargha Domokosné bemutatta ezt a sajátosan fontos magyar csillagászt, akiről – mint azt a könyvből is mutatja – a Hold egyik kráterét is elnevezték.

Abonyi Iván