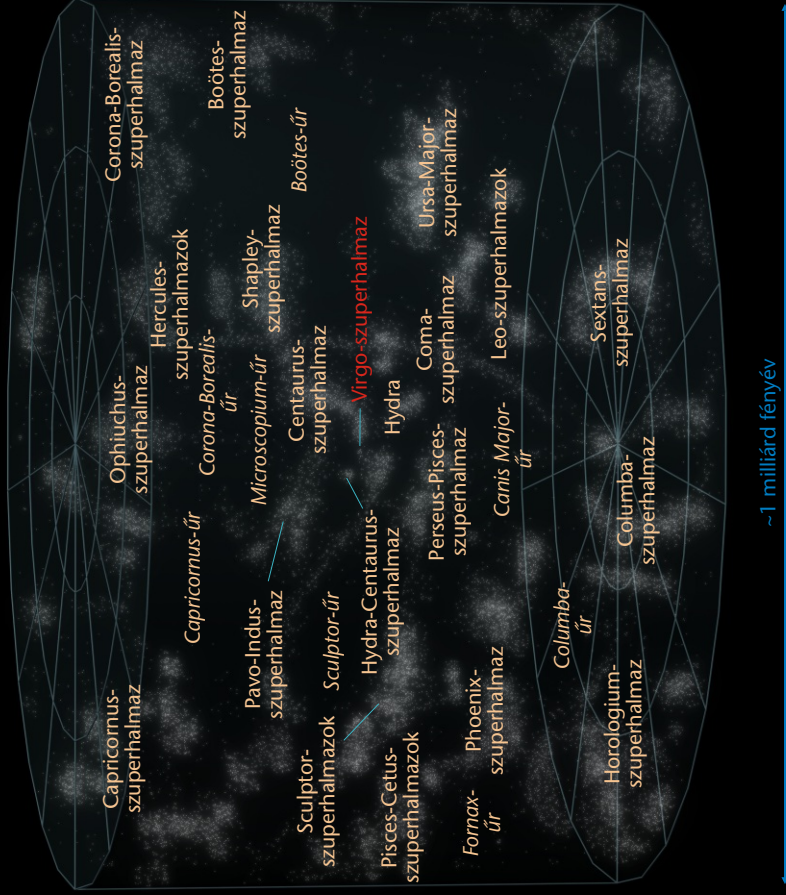


# fizikai szemle

2014/4

# HELYÜNK A VILÁGEGYETEMBEN – IV. rész

## Lokális szuperhalmazok



## Az észlelhető Univerzum



# Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

**Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat  
havonta megjelenő folyóirata.**

**Támogatók: a Magyar Tudományos  
Akadémia Fizikai Tudományok Osztálya,  
az Emberi Erőforrások Minisztériuma,  
a Magyar Biofizikai Társaság,  
a Magyar Nukleáris Társaság  
és a Magyar Fizikushallgatók Egyesülete**

Főszerkesztő:

**Szatmáry Zoltán**

Szerkesztőbizottság:

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

Szerkesztő:

**Füstöss László**

Műszaki szerkesztő:

**Kármán Tamás**

A folyóirat e-mail címe:

**szerkesztok@fizikaiszemle.hu**

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

**http://www.fizikaiszemle.hu**



A címlapon:

**Kuli Zoltán 2013. november 16-i  
felvétele a legszebb állapotában mutatja  
az ISON-üstököst, ám ez a szép  
megjelenés is egy négy nappal korábbi  
kitérés eredménye volt.**

## TARTALOM

<i>Sárneczky Krisztián: Az ISON-üstökös a Nap áldozata lett</i>	110
<i>Keresztúri András, Pataki István, Tóta Ádám: Negyedik generációs reaktorok</i>	112
<i>Piszter Gábor, Kertész Krisztián, Vértesy Zsófia, Biró László Péter, Bálint Zsolt, Jakab Emma: Lepkeszárnyak fotonikus nanoarchitektúráinak gáz/gőz-érzékelési tulajdonságai</i>	120
<i>Donkó Zoltán, Korolov Ibor, Magyar Péter: Franck–Hertz-kísérlet: 100 éve és ma</i>	125
<b>A FIZIKA TANÍTÁSA</b>	
<i>Gróf Andrea: Gyakorlatias fizika</i>	131
<i>Janóczki József: Kísérleti feladatok az Öveges József Országos Fizikaversenyen</i>	136
<i>Tichy-Rács Ádám: A 2013. évi Eötvös-verseny ünnepélyes eredményhirdetése</i>	139
<i>Bródy Imre Országos Fizika Kísérletverseny – felhívás (Kiss Lászlóné)</i>	143
<i>CERN – fizikatanároknak (Sükösd Csaba, Jarosievitz Beáta)</i>	144
<b>HÍREK – ESEMÉNYEK</b>	144

*K. Sárneczky: Destroyed by the Sun: the ISON comet*  
*A. Keresztúri, I. Pataki, Á. Tóta: Fourth generation reactors*  
*G. Piszter, K. Kertész, Z. Vértesy, L. P. Biró, Zs. Bálint, E. Jakab: Photonic nanocomposites  
in butterfly scales and their selective gas and vapor sensing*  
*Z. Donkó, I. Korolov, P. Magyar: The Franck–Hertz experiment 100 years ago and today*

### TEACHING PHYSICS

*A. Gróf: Practical physics*  
*J. Janóczki: Experiments as tasks of the Öveges competition*  
*Á. Tichy-Rács: The solemn proclamation of the 2013 Eötvös competition results*  
*The Imre Bródy contest of experiments in physics (L. Kiss)*  
*2014 CERN course for Hungarian physics teachers (Cs. Sükösd, B. Jarosievitz)*

### EVENTS

*K. Sárneczky: Im Sonnenfeld zerfallen: der Komet ISON*  
*A. Keresztúri, I. Pataki, Á. Tóta: Reaktoren der vierten Generation*  
*G. Piszter, K. Kertész, Z. Vértesy, L. P. Biró, Zs. Bálint, E. Jakab: Nanoarchitekturen  
auf den Flügeln von Schmetterlingen und die Möglichkeit, mit ihnen Gase und  
Dämpfe optisch nachzuweisen*  
*Z. Donkó, I. Korolov, P. Magyar: Das Franck–Hertzsche Experiment vor 100 Jahren  
und heute*

### PHYSIKUNTERRICHT

*A. Gróf: Praktische Physik*  
*J. Janóczki: Experimente als Aufgaben des Öveges-Wettbewerbs*  
*Á. Tichy-Rács: Festliche Verkündigung der Ergebnisse des Eötvös-Wettbewerbs 2013*  
*Der Imre-Bródy-Wettbewerb in Physikexperimenten (L. Kiss)*  
*CERN-Kurs 2014 für ungarische Physiklehrer (Cs. Sükösd, B. Jarosievitz)*

### EREIGNISSE

*K. Шарнецкий: Распад кометы ISON*  
*A. Кэрестури, И. Патаки, А. Тота: Реакторы четвертого поколения*  
*G. Пистер, К. Керте, З. Вертеши, Л. П. Биро, Ж. Балинт, Е. Якаб:  
Наноархитектуры на крылах бабочек и их способность обнаружить газы  
и пары*  
*З. Донко, И. Королов, П. Мадьяр: Эксперимент Франка–Герца столетнее и  
современное его исполнение*

### ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

*A. Gróf: Практическая физика*  
*Й. Яноцкий: Задачи по экспериментам на физическом конкурсе им. Эвегеша*  
*А. Тихи-Рач: Торжественная публикация итогов конкурса им. Этвеша 2013 г.*  
*Призыв к конкурсу физических экспериментов им. Имре Броди (Л. Куш)*  
*Курс (2014 г.) Института CERN для венгерских учителей физики (Ч. Шюкёшд,  
Б. Ярошевиц)*

### ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ

**Fizikai Szemle**  
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését támogatják:



# AZ ISON-ÜSTÖKÖS A NAP ÁLDOZATA LETT

Sárneckzy Krisztián

MTA CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet

Az elmúlt évtized legjobban várt, legtöbb reménnyel kecsegtető üstököse volt az ISON, amely végül nagy csalódást okozva nem élte túl tavaly november 28-i napközelségét. Szakmai szempontból persze sokat tanultunk tőle, ám a napközelsége után várt fenséges látványról le kellett mondanunk, pedig az északi féltekéről már 17 éve nem figyelhettünk meg igazán látványos üstököst.

Az üstököst *Vitalij Nyevszkij* fehérorosz és *Artyom Novicsonok* orosz amatőrcsillagászok fedezték fel egy 40 cm-es távcső 2012. szeptember 21-i felvételein. Mivel a 19 magnitúdós égitest a képeken csillagszerűnek mutatkozott, kisbolygóként jelentették be, így amikor mások észlelései alapján kiderült, hogy valójában üstökös, már nem kaphatta meg a felfedezőik nevét. Ezért a Nemzetközi Csillagászati Unió szabályai alapján annak a nemzetközi programnak (International Scientific Optical Network – ISON) a rövidített nevét kapta, amelynek keretében az észak-kaukázusi régióban, Kiszlovodszk közelében található automata távcsövet üzemeltetik. Azóta már mindkét amatőrcsillagász kárpótolta magát, sikerült olyan üstököst felfedezniük, amely megkaphatta nevüket.

Már az első pályaszámítások is arra utaltak, hogy az ISON minden idők egyik legkisebb perihélium-távolságú üstököse lehet, amit az archívumokból előkerült, jóval korábbi megfigyelések igazoltak. Kiderült, hogy a kisbolygókat kereső Mt. Lemmon Survey (MLS) és az égboltot térképező Panoramic Survey Telescope & Rapid Response System (PanSTARRS) távcsövei már majd' egy évvel korábban, 2011/2012 telén lefotózták és azonosították is az akkor még 8,5 CSE távolságban járó, 20 magnitúdós égitestet, csak ezek a programok is kisbolygónak vélték, így nem tulajdonítottak neki nagyobb jelentőséget. Később a PanSTARRS képeinek átvizsgálásával egészen 2011 szeptemberéig sikerült visszakövetni az ekkor 9,4 CSE-re, vagyis majdnem a Szaturnusz távolságában járó, 21 magnitúdó fényességű üstökös halvány nyomát.

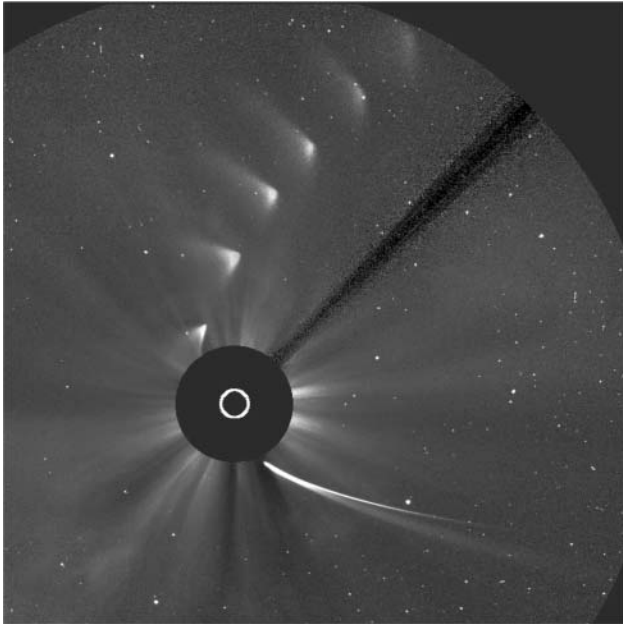
Ezek a korai megfigyelések egyrészt mutatták, hogy nem csak egy hirtelen felfényesedésről van szó, hanem tényleg egy stabil aktivitású üstökös érkezik hozzánk, másrészt azt sugallták, hogy a mag igen nagy átmérőjű, különben hogyan tudott volna ilyen nagy távolságban anyagot kibocsátani (egy átlagos, csupasz üstökös mag a Szaturnusz távolságában körülbelül 25-26 magnitúdós lenne). Az archív adatok alapján rövid idő alatt igen pontos pályá-

elemek álltak rendelkezésre. Ezek szerint az üstökös 2013. november 28-án este 9 óra körül 0,0125 CSE-re megközelítette a Napot, vagyis 1,2 millió km-rel haladt el a fotoszféra felett. A Kreutz-féle napsűrűlő üstökösöket kivéve – amelyek egyetlen korábbi égitest szétszóródott maradványai – csak egy olyan üstököst ismerünk, amely ennél is jobban megközelítette csillagunkat. Az 1680-as Nagy Üstökösről van szó, amely napközelsége idején szabad szemmel is látszott a nappali égen, majd távolodóban 90 fok hosszú, az esti égen látszó csóvával hívta fel magára a figyelmet. A hasonlóan kicsi napközelpont-távolságú üstökösök az erős napsugárzás miatt szinte mindig látványos, szabad szemmel is könnyen megfigyelhető égitestek voltak. Ilyenek pedig évszázadonként csak néhány alkalommal érkeznek a belső bolygók térségébe.

A napsugárzás persze halálos ellenségé is válhat, amennyiben az üstökös magja túl kicsi, vagy túl porózus. A Nap felszínétől 1,2 millió km-es távolságban az égitestek felszíne 2000-2500 °C-ra hevül, miközben csillagunk árapályereje is rendkívüli erőhatásokat gyakorol rájuk. A nagyobb napsűrűlő üstökösöknél többször figyelték már meg magjuk darabolódását, a kisebbeknél pedig a mag teljes szétesését. Korai és nagy távolságból történt felfedezése miatt azonban mindvégig reménykedtünk, hogy az ISON magja elegendően nagy a pokoli körülmények túléléséhez. Egyetlen zavaró tényező azonban akadt: az üstökös keringési ideje. A számítások szerint az üstökös pályája a bolygórendszer elérése előtt rendkívül közel állt a parabolához, formális keringési ideje 10-15 millió év volt. Ez alapján most először látogatott hozzánk az Oort-felhőből, ezek az üstökösök pedig sok borsot törtek az orunk alá az elmúlt években. Mivel még sosem jártak napközelpont közelében, felszínük gazdag illó anyagokban, így már ezek nagy naptávolságban elkezdnek szublimálni, főleg az alacsony olvadáspontú CO és CO<sub>2</sub>. A mai, nagy látómezejű és érzékeny távcső-

1. ábra. Ezt a különleges felvételt a Nap körül keringő egyik STEREO űrszonda készítette 2013. november 23-án. A képen a perihéliuma előtt öt nappal járó ISON mellett otthonunk is látható, az ISON feje és a bolygónk erős fénye okozta túlesordulás között pedig egy másik híres üstökös, a 2P/Encke is látszik (NASA).





2. ábra. A SOHO napkutató szonda 2013. november 28-a és 30-a között készült felvételein nyomon követhető az üstökös pusztulása. A napközelség előtti órákban még egy szép, hosszú csóvás üstökös látszik a képeken a Naptól délre, a perihélium után viszont már csak a felbomlás nyomán keletkezett porfelhő lassú oszlását és halványodását figyelhetjük meg (ESA/NASA).

vekkorán, évekkorán a napközelség előtt felfedezik ezeket, később azonban nem fényesednek olyan ütemben, ahogyan azt régebben, sokkal kisebb naptávolságokban megtalált üstökösöknél megszokhattuk. Úgymond túl hamar csúcsra jár az aktivitásuk, a szokatlanul nagy fényesség miatt pedig túl optimista előrejelzéseket készítünk. A pályaelemek és az elmúlt évek tapasztalatai alapján az ISON-nál is számoltunk a fényesedés lassulásával, de mindenki úgy volt vele, hogy a  $-10$  magnitúdó helyett legfeljebb majd csak  $-5$  magnitúdós lesz.

A felfedezés utáni hónapok még gond nélkül teltek, az üstökös a várakozásnak megfelelően fényesedett, így 2013 elején a NASA kampányt indított az ISON észlelésére. A sors szeszélye, hogy éppen 2013 januárjától kezdtek mutatkozni az első aggasztó jelek. Az üstökös fényesedése megtorpant, majd halványodásba kezdett, holott közeledett a Naphoz. Ekkor még azzal vigasztaltuk magunkat, hogy legfeljebb nem lesz telehold fényességű a napközelség idején, a  $-5$  magnitúdó is nagyon szép, ahogy azt 2007 elején a McNaught-üstökös nappali észleléseinél már megtapasztalhattuk. Tavasz végén azután ismét beindult az aktivitás, ám az üstökös hamarosan együttállásba került a Nappal, így csak augusztus végétől láthattuk újra. Ekkor megint fényesedőben volt, majd szeptemberben ismét beragadt. Ez az egyenetlen fényesedés is tipikusan a kis méretű, idővel széteső üstökösök sajátja, de még a szakemberek többsége is a nagy naptávolságban megfigyelt aktivitással nyugtatta magát. Az nem lehet, hogy egy kisméretű üstökös mag már a Szaturnusz távolságában is észlelhető legyen...

Pedig pontosan ez volt a helyzet. A Nap felé közeledő üstökös október 1-jén 10,8 millió km-re megközelítette a Marsot, remek észlelési alkalmat kínálva az ott dolgozó űrszondáknak. A vörös bolygó körüli pályáról készített felvételek elemzése megmutatta, hogy az ISON magja nem nagyobb 1 km-nél, ami még az üstökösök között is kicsinek számít, ám az elemzésekkel sajnos csak a napközelség után készültek el, amikor már egyértelmű volt: az üstökös nem élte túl napközelségét. Korábban csak a Hubble-űrtávcső tavaszi mérései álltak rendelkezésünkre, amelyek 1-5 km-re tették a mag átmérőjét, ami esetünkben nagyon bizonytalan mérésnek számít, hiszen az üstökösöknél az 1 km-es és az 5 km-es két külön kategória. Végül – sajnos – a legkisebb méret bizonyult igaznak, pedig az ISON sokáig hitegetett bennünket. Még azután is erőre kapott néhány órára, hogy a napközelség óráiban teljesen széteszlani látszott. Rengetegen szurkoltak neki a világhálón, a hazai levelezőlisták és közösségi oldalak használói is egyként sóhajtottak fel, amikor a napkutató szondák koronagráfjain ismét feltűnt az elpárologni látszó üstökös. Sajnos ez csak egy gyenge porfelhő volt, az üstökös teljesen feldarabolódott magjának maradványa – belső utánpótlás hiányában – néhány nap alatt teljesen széteszlott.

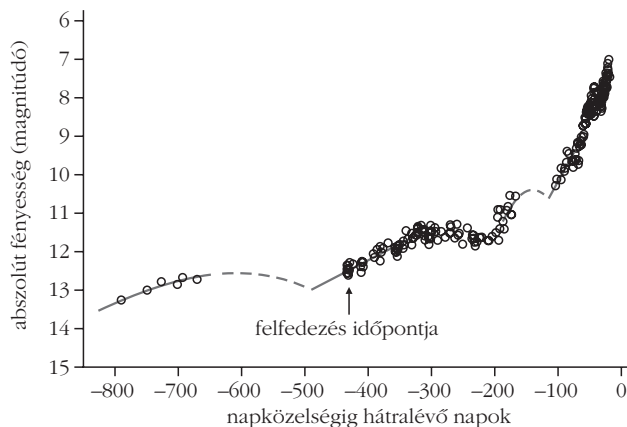
A SOHO napkutató szonda által a napközelség során készült felvételek alapján az is kiderült, hogy nem csak a Szaturnusz, de már az Uránusz távolságában is aktív volt, amit közeledő kométáknál még sohasem sikerült kimutatni. Ezt minden bizonnyal más üstökösök is megteszik, de megfigyeléséhez az kellett, hogy az ISON ennyire megközelítse a Napot, és porösvénye szokatlan mértékben kifényesedjen. Az üstökös mag maradványa már régen távolodott a Naptól, amikor a pálya mentén található és a fejtől lemaradt por még mindig fénylett a napközelség előtti szakaszon. Az ISON a Naprendszer keletkezése óta először látogatott a Nap közelébe, ezért magja illékony anyagokban gazdag volt, így nagy távolságban is jelentős aktivitást mutatott, ami meglepettette a szakembereket. Kis mérete miatt nem tudta tartani aktivitását, néhány kitöréstől eltekintve egyre lassabban fényesedett, majd a Nap közelében végleg széteszlott (1–2. ábra).

Az ISON láthatósága során tapasztalt fényesedő szakaszok közül a koraiakat a magban található illékony anyagok szublimációjának beindulása okozta. A távoli aktivitásért a CO és CO<sub>2</sub> okolható, a nyári együttállás után pedig a H<sub>2</sub>O vezérelte a fényesedést, ám a kicsi mag miatt hamar kifogytak a gáztartalékok, így mindkét esetben elhalványodás vagy stagnálás következett (3. ábra). A napközelség előtti két hétben tapasztalt kitöréseket már inkább a mag kezdődő felbomlása, darabolódása okozta, amire a kóma szerkezetében a Nap felőli oldalon mutatkozó szárnyak vagy bajszok utaltak.

Tapasztalataink alapján nem csak a mag kis mérete okolható a felbomlásért, ehhez porózus, gyengén kötött szerkezete is kellett, hiszen 2011-ben a Lovejoy-üstökös úgy is túlélte kisebb távolságú napközelségét,

hogy mérete nem haladta meg az 500 métert. A Lovejoy a már említett Kreutz-féle napsúrolók közé tartozott, így korábban is járt igen közel a Naphoz. Mivel akkor nem semmisült meg, eleve szilárd belső szerkezettel bírt, felszíne pedig már keményre éghetett. Így fordulhatott elő, hogy a Lovejoy két héttel a napközelség előtt még csak 14-15 magnitúdós volt, amit az ISON már legalább fél évvel korábban elért. Mégis, a napközelségük előtti órákban nagyjából ugyanolyan fényesek voltak, a Lovejoy magja pedig a perihélium után további 2-3 napig bírta, míg nem az árapályerők okozta szerkezeti gyengülések miatt végleg szétoszlott.

Az ISON-üstökös végül nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket, ám utolsó óráit emberek milliói kísérték figyelemmel az interneten keresztül, és amikor már a szétesés jeleit mutatta, rengetegen szurkoltak neki, hogy túlélje a Nap tüzes poklát. Igazi globális közösemény volt az ISON napközelsége, amely nagyszámú, a csillagászathoz gyengén kötődő, abban kevésbé járatos érdeklődőt is megmozgatott. Szakmai szempontból rendkívül hasznos volt az üstökös, sokat tanultunk és tapasztaltunk az Oort-felhőből érkező és a napsúroló üstökösökről is, miközben a műkedvelők és ér-



3. ábra. Az üstökös abszolút fényességének változása 2011. szeptember 30-a és 2013. november 10-e között. A hullámzó fényesedés a kisméretű, az Oort-felhőből először érkező üstökösök sajátja (Z. Sekanina, 2013).

deklődők számára kétségkívül komoly csalódást jelentett a fél eget átszelő, vagy legalább 10-20 fokos csóva elmaradása. Valahol azonban már biztosan közeledik felénk a következő, tényleg nagy látványt nyújtó üstökös, csak ki kell várnunk az érkezését.

## NEGYEDIK GENERÁCIÓS REAKTOROK

Keresztúri András, Pataki István, Tóta Ádám

MTA Energiatudományi Kutatóközpont, Reaktoranalízis Laboratórium

2000-ben az Egyesült Államok kormányának kezdeményezésére létrejött a Generation-IV International Forum (GIF) olyan új típusú, negyedik generációs atomerőművek nemzetközi együttműködésben történő kifejlesztésére, amelyek az akkori elképzelések szerint 2025-2030 körül állhatnak majd üzembe. Azóta közel 14 év telt el. Emiatt – a jelenlegi típusok felváltásának szükségességén, a kitűzött célokon, az egyes típusok egymáshoz viszonyított előnyeinek és hátrányainak értékelésén túl – célszerű áttekinteni az eddigi vizsgálatok tükrében azokat a felmerülő problémákat is, amelyek további elemzéseket, újításokat, fejlesztéseket tesznek szükségessé, és amelyek időben történő megoldásának hiánya esetleg megakadályozhatja egy-egy típus ipari alkalmazását a GIF által megjelölt időpontig. Az áttekintés a [2] és [3] publikációk felhasználásával történt.

Az atomerőművek eddig megvalósult és az építés befejezése előtt álló generációi

Az első generációs erőművek az 1950–60-as években jöttek létre. Ezek korai prototípusok, amelyeket gyakran nagy bonyolultság és időnként a biztonságot is érintő módosításokat igénylő megoldások jellemezték. Ilyen reaktorok a következők:

- Egyesült Államok: „Shippingport” nyomottvizes (PWR) típus, az energiatermelés mellett feladata a hasadóképes  $^{235}\text{U}$  tórium alapú tenyésztése is; „Dresden” nyomott vizes típus; „Fermi I” szaporító gyors spektrumú reaktor,
- Nagy-Britannia: „Magnox2” ( $\text{CO}_2$  hűtésű), grafitmoderálás, természetes urán hasadóanyag,
- Szovjetunió: „VVER-440/230” típusú atomerőművek.

A második generációs erőművek a ma működő, az 1970–1990 években épített, kereskedelmi típusok, amelyek kifejlesztése során felhasználták az első generációs tapasztalatokat:

- PWR (nyomottvizes), BWR (forralóvizes), CANDU (csöves nyomottvizes) a nyugati országokban,
- VVER- és RBMK-típusú könnyűvizes reaktorok a Szovjetunióban kifejlesztve,
- HTGR: nagy hőmérsékletű, gázhűtéses reaktor,
- AGR: javított grafitmoderálású, gázhűtéses reaktor,
- Magnox: grafitmoderálású, gázhűtéses reaktor.

A csernobili atomerőmű (RBMK-típus) balesete után az újabb, második generációs erőművek létrehozásában egy rövidebb szünet következett be, amit azonban kihasználtak a még újabb, a harmadik generációs típusok kifejlesztésére, amelyek jellemzői a következőkben foglalhatók össze:

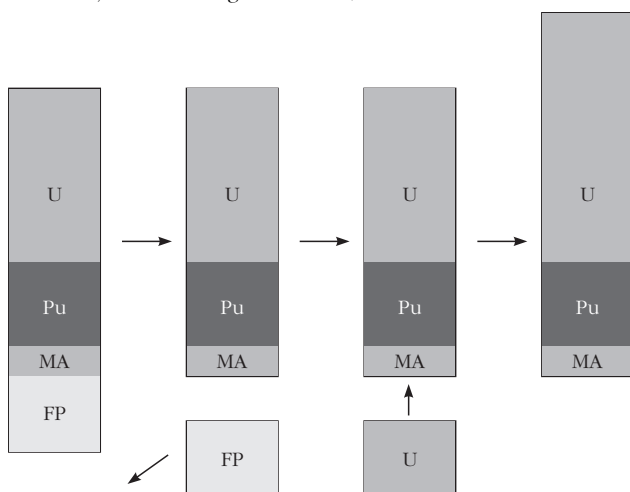
- jobb biztonsági és gazdaságossági paraméterek,
- szabványosított tervek,
- alacsonyabb fajlagos beruházási költség,
- törekvés az inherens biztonságra és a passzív védelemre,
- hosszabb üzemi élettartam (például 60 év),
- a zónaolvadásos balesetek kisebb valószínűsége ( $\sim 10^{-6}$ /reaktorév),
- magasabb kiégetési szint, ami hatékonyabb üzemanyag-felhasználást, kevesebb kiégett üzemanyagot eredményez,
- rövid idejű (<20 nap) átrakások, 18 vagy 24 hónapos kampányok.

Ilyen erőmű ma még nem sok üzemel, de egyes országokban (Franciaország, Finnország, Oroszország, Kína, India) építésük már éppen befejezés előtt áll. Hangsúlyozni kell, hogy a harmadik generációs reaktortípusok hosszú – időnként buktatókat is magában foglaló – fejlődési folyamat során kristályosodtak ki, gazdaságosságuk és biztonsági színvonaluk meghaladása az elkövetkező egy vagy két évtizedben rendkívüli kihívást jelent, különösen akkor, ha ezektől alapvetően eltérő jövőbeli típusok létrehozása a cél.

## Üzemanyagciklus

Vázlatosan ki kell térnünk az üzemanyagciklussal kapcsolatos kérdésekre, nevezetesen a nagy aktivitású hulladék környezeti hatásainak minimalizálására és az uránkészletek hosszú távú felhasználhatóságára, ugyanis ezek az alapvető fontosságú igények döntő szerepet játszanak a negyedik generációs törekvésekben. Minden szakmai előrejelzés szerint a világ villamosenergia-felhasználásának növekedése folytatódni fog, és az így is nagyon magas CO<sub>2</sub>-kibocsátás még tovább emelkedhet. Az adott helyzetben – a további lehetőségek kihasználása mellett – nem hagyható figyelmen kívül az a versenyképes és elérhető alternatíva sem, amit az atomenergia jelent. Így felmerült az

1. ábra. Gyors reaktoros egyensúlyi fűtőelemciklus (FP: hasadási termékek, MA: másodlagos aktinidák).



igény a modernebb, a jelen és az előrelátható jövő kihívásait sokkal jobban kielégítő, új nukleáris energiatermelő rendszerek tervezésére.

A második és harmadik generációs reaktorok döntő többségükben termikus spektrummal rendelkeznek (az urán hasadását a hűtőközeggel termikus egyensúlyban lévő – „lassú” – eV-nál kisebb energiájú neutronok váltják ki), működésük nagyrészt az <sup>235</sup>U izotóp hasadásán alapul, aminek következtében az uránkészleteknek csak hozzávetőlegesen 1%-a hasznosítható. A plutónium kivonása a kiégett fűtőelemekből és újbóli felhasználása termikus reaktorban – mint MOX (Mixed OXide) fűtőelem – csökkenti a dúsítási költségeket, de a MOX fűtőelemek csak egyszer égethetők ki, mert a további reprocessálásuk után keletkező üzemanyag már kedvezőtlen neutronháztartással rendelkezik. Így a termikus reaktorok használata a 21. század végén befejeződik (az atomenergia használatának közepes mérvű növekedését prognosztizálva) a gazdaságosan kitermelhető uránkészletek kimerülése miatt. Ezzel szemben a gyors spektrumú reaktorokban (az urán hasadási spektrumától nem nagyon eltérő – „gyors” – MeV nagyságrendű energiájú neutronok váltják ki) a hatáskeresztmetszet-viszonyok jobban kihasználhatók, ezekben az <sup>238</sup>U izotópból relatíve (a hasadóanyag fogyáshoz képest) nagyobb mennyiségű hasadásra képes plutónium keletkezik, így a hasadóanyagok keletkezése elérheti a fogyasztukat. Ily módon a maghasadáson alapuló energiatermelés használata fenntarthatóvá válik, 50-100-szorosára nőhet a felhasználható uránkészlet is. Ráadásul a jelenlegi gyakorlat szerinti urándúsítás is elhagyható. Ha az emberiségnek továbbra is szüksége lesz a maghasadásból származó energiára, akkor a jövő reaktoraik többségének gyors spektrumúnak kell lennie. Ezek további nagyon fontos előnye, hogy a magfizikai folyamatok révén keletkező, jelentős, hosszú idejű radiotoxicitással rendelkező, úgynevezett másodlagos aktinidák (neptúnium, amerícium, kúrrium) nagyrészt hasítás révén kiégethetők, és így a nukleáris energiatermelés radioaktív hulladékának a radiotoxicitása belátható időn belül kisebbé válik, mint a felhasználandó uránércé. További fontos, az üzemanyagciklussal kapcsolatos részletek találhatóak a *Fizikai Szemle* egy korábbi számában [1]. További lényeges kérdés, hogy az átállás a termikus spektrumú reaktorokról a gyors spektrumúakra csak folyamatos lehet, aminek legfőbb oka, hogy az öfenntartó izotópháztartással rendelkező gyors spektrumú reaktorok első üzembe helyezése előtt megfelelő mennyiségű plutónium felhalmozása szükséges a termikus spektrumú reaktorokban. Ez például egy nátriumhűtésű reaktor esetében 18 t/GWe, míg egy gázhűtésű esetében 23 t/GWe plutóniumot jelent.

Egy néhány évtized múlva tervezett, egyensúlyi, gyors reaktoros fűtőelemciklust szemléltet az 1. ábra [5]. A reaktor legjobban kiégett fűtőelemeit (például az összes egyötöd részét), aminek összetételét az első oszlop mutatja, az átrakás idejére leállított reaktorból eltávolítják, pihentetik (azért, hogy aktivitása

és hőtermelése kezelhető szintre csökkenjen), majd reprocessálják. Gyakran célszerű a reprocesszálló üzemzet közvetlenül az erőmű mellé telepíteni. Az első lépésben (2. oszlop) a hasadási termékeket („FP”) távolítják el, amelyeket majd végleges tárolókban helyeznek el, mivel raditoxicitásuk belátható időn belül – tehát amíg izolálásuk nagy biztonsággal megoldható – a felhasznált uránércnél kisebb lesz. Ezután a második lépésben természetes, vagy a hagyományos üzemanyagciklusból nagy mennyiségben visszamaradt, szegényített uránnal egészítik ki az üzemanyagot. Ezzel pótolják az előző kiegészítő ciklusban plutóniummá alakult  $^{238}\text{U}$  izotópokat. Az eltávolított üzemanyag rész pótlására a reaktorba helyező friss üzemanyag összetételét a 4. oszlop mutatja. Lényeges – termikus spektrumban nem megvalósítható – jellegzetesség, hogy mindeközben a plutónium és másodlagos aktinidák („MA”, amerícium, neptúnium, kúrrium) mennyiségei változatlanok maradnak. A másodlagos aktinidák koncentrációja ugyanis – legnagyobb részét a gyors neutronok hasítása révén – éppen annyit csökken, mint amennyi a többi izotóp befogása és az azt követő bomlások után keletkezik. A plutóniummal a helyzet ugyanez, az  $^{238}\text{U}$  neutronbefogása, majd bomlása révén éppen annyi keletkezik, mint amennyi elhasad, vagy neutronbefogás révén átalakul (többnyire másodlagos aktinidává).

## A negyedik generációs kezdeményezés

A jelenlegi atomerőművek, a harmadik generációs reaktorok tervezési és építési munkái során szerzett tapasztalatok lehetőséget adhatnak a fentiekben jelzett igények kielégítésére, nevezetesen egy, az előző típusoktól többször alapvetően eltérő, még kedvezőbb tulajdonságokkal rendelkező atomerőművi generáció, a Generation-IV International Forum új típusú, negyedik generációs atomerőművek nemzetközi együttműködésben történő kifejlesztésére. Ezek a GIF életre hívásának idejében, 2000-ben az elképzelések szerint 2025-2030 körül állhatnak üzembe. A résztvevők az Egyesült Államok, Kanada, Franciaország, Nagy-Britannia, Svájc, Dél-afrikai Köztársaság, Argentína, Brazília, Japán, Koreai Köztársaság, valamint 2003-tól az Európai Unió is, és így az EURATOM révén valamennyi EU-tagország. 2006-tól Oroszország és Kína is tagja a GIF-nek. Megjegyezzük, hogy Indiában – amely nem tagja a GIF-nek – is jelentős harmadik és negyedik generációs fejlesztések vannak.

A GIF 2000-ben a negyedik generációs erőművekkel kapcsolatban az alábbi alapvető követelményeket állította fel:

- gazdaságosság,
- biztonság és megbízhatóság, a nukleáris biztonsági kockázatok csökkentése,
- a természeti erőforrások fenntarthatósága,
- a keletkező hulladékok és az innen származó környezeti hatások minimalizálása,

- proliferációállóság: katonai célra való felhasználhatatlanság, az atomfegyver minőségű hasadóanyag keletkezésének és ezáltal az atomfegyverek elterjedésének kizárása,

- új típusú üzemanyagciklus kifejlesztése, ami a fenti, előző követelményekkel szoros összefüggésben áll.

A GIF által megjelölt lehetséges típusok:

- folyékonynátrium-hűtésű, gyors spektrumú reaktor,
- folyékonyólom-hűtésű és ólom-bizmut hűtésű, gyors spektrumú reaktorok,
- gázhűtésű, gyors spektrumú reaktor,
- nagyon magas hőmérsékletű, termikus spektrumú reaktor,
- szuperkritikus, vízzel hűtött reaktor,
- folyékony-só-olvadékos reaktor.

A Generation-IV projekt által perspektivikusnak tekintett, új reaktortípusok nem előzmény nélküliek, a gázhűtésű, gyors spektrumú és a szuperkritikus, vízzel hűtött reaktorok kivételével valamilyen első vagy második generációs előddel minden fenti típus rendelkezett már. Az eddig megvalósult és az építés befejezése előtt álló generációt áttekintő fejezetben leírtakkal összhangban – a biztonság és a gazdaságosság mellett – az egyes típusok értékelésének egyik legfontosabb szempontja, hogy az izotópház-tartás feleljen meg a fenntartható fejlődés követelményének. Ezért az alábbiakban a negyedik generációs reaktorok közül csak azokat a típusokat ismertetjük részletesebben, amelyekben egyrészt a megfelelő gyorsneutron-spektrum már jelenleg is biztosnak látszik, másrészt a koncepciók kidolgozottsága – a szerzők véleménye szerint – elegendően kiérlelt ahhoz, hogy azokat a GIF által megadott időpont szerinti elkövetkező 20-30 évben üzembe lehessen állítani. A szuperkritikus, vízzel hűtött reaktor is létrehozható ebben az időszakban, és annak ellenére, hogy a gyors spektrumos változat lehetősége egyelőre nincs kellőképpen igazolva, magas termikus határfoka miatt fontos szerepe lehet az átmenet idején. Ezt a típust [2] inkább a forralóvízes harmadik generációs típus továbbfejlesztésének tartja. Az ismertetés során bemutatunk néhány, az MTA Energetikai Kutatóközpontban született elemzési eredményt is.

Mindenekelőtt érdemes áttekinteni az egyes típusokban alkalmazni kívánt hűtőközegek legfontosabb fizikai tulajdonságait (1. táblázat).

## Nátriumhűtésű, gyors spektrumú reaktorok

A nátriumhűtésű, gyors spektrumú reaktorban a fűtőelem anyaga általában  $\text{UO}_2$  vagy MOX ( $\text{UPuO}_2$ ), de vizsgálják a karbid, nitrid vagy fém (például  $\text{UPuZr}$ ) alapú fűtőelemek lehetőségét is. (Az utóbbiak jobb hővezető-képességgel rendelkeznek.) Az általában szokásos típusokkal szemben ebben az esetben nem kettő, hanem három hűtőkört alkalmaznak, aminek



## A hűtőközegek legfontosabb fizikai tulajdonságai

	nátrium	ólom	ólom-bizmut	hélium
halmazállapot	folyadék	folyadék	folyadék	gáz
hővezető-képesség (W/m K)	64,0	15,0	14,0	~0
fajhő, $C_p$ (J/kg K)	1270	145	146	5200
sűrűség, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	825	10415	10020	2,6
olvadáspont (°C)	98	327	125	–
forráspont (°C)	883	1737	1670	–268
hőtranszport-képesség, $\rho \cdot C_p$ (kJ/m <sup>3</sup> K)	1048	1510	1463	14
kompatibilitás a szerkezeti anyagokkal	jó	magas hőmérsék- leten erős korrózió	magas hőmérsék- leten erős korrózió	jó
kémiai reakcióképesség a vízzel és levegővel	súlyosan intenzív	kis mértékű	kis mértékű	kis mértékű
optikai átláthatóság	átlátszatlan	átlátszatlan	átlátszatlan	átlátszó

oka a nátrium intenzív reakciója a vízzel. Az itt alkalmazott közbenső kör hűtőközege szintén nátrium. A primer körű nátrium hőmérséklete elérheti az 550 °C-ot, ami egyrészt 40% körüli termikus hatásfok elérését teszi lehetővé, másrészt a közel 883 °C forráspont elérésétől elégséges tartalékot biztosít. A nátrium hűtőközeg (közel) atmoszférikus nyomáson van, ami – a víz vagy gázhűtésű rendszerhez képest – lényegesen csökkenti a hűtőközeg-vesztéses üzemzavarok lehetőségét. A létező (létezett) és a tervezett reaktoroknak három típusa van:

– *Medence típus*, „Pool-type”: ilyenek a francia reaktorok: Phénix, Superphénix, ASTRID; továbbá az orosz reaktorok: BN-350, BN-600, a jelenleg épülő BN-800; valamint a tervezett koreai KALIMER reaktor. Közös jellegzetességük a nagy méretű, szabad nátriumfelszínnel rendelkező „pool”. Ebben található az aktív zónán kívül az egész primer kör a közbenső hűtőkör hőcserélőjével együtt. Ez a megoldás kedvező a hűtőközeg-vesztéses üzemzavarok elkerülése szempontjából.

– *Hurok típus*, „Loop-type”: lásd például hagyományos PWR; japán nátriumhűtésű, gyors spektrumú reaktorok: JOYO, MONJU, tervezett JSFR. A hűtőközeg-vesztéses üzemzavarok elkerülését kettős falú, primer körű csőrendszer kifejlesztésével tervezik megoldani, például a JSFR reaktorban.

– Tervezett, kisebb méretű, moduláris szerkezetű reaktorok.

A fenti, első két esetben a turbinákat meghajtó vizet hurok nem közvetlenül, hanem közbenső hűtőkörön keresztül áll kapcsolatban a primer körrel.

#### A nátrium hűtőközeg további előnyei:

– Gyenge moderáló-képesség, ami elégségesen gyors spektrumot tesz lehetővé ahhoz, hogy ez a típus tenyésztő reaktorként működhessen, valamint alkalmas legyen a másodlagos aktinidák (Am, Cm, Np) kiégetésére is.

– Jó hővezető-képesség, ami a fűtőelempálcák viszonylag szűkebb rácsosztását teszi lehetővé, és aminek révén nagy teljesítménysűrűség, hozzávetőlegesen 300 MW/m<sup>3</sup> érhető el. (Ólomhűtés és a mai PWR reaktorok esetén a jellemző teljesítménysűrűség ~100 MW/m<sup>3</sup>.)

#### Az ólomhűtéshez képest további előnyök:

- kis sűrűség, kisebb szivattyúteljesítmény is elegendő;
- csak kis mértékű felaktiválódás;
- a szerkezeti elemek kis mértékű korróziója;
- a szerkezeti elemek kisebb mechanikai terhelése.

#### A nátriumhűtésű, gyors spektrumú reaktorokkal kapcsolatban eddig felbalmozódott, jelentős üzemeltetési tapasztalatok:

– Franciaországban: *Phénix*, 250 MWe (elektromos teljesítmény), leállítva 2009-ben; *Superphénix*, 1240 MWe, leállítva 1997-ben.

– A volt Szovjetunióban (Kazahsztánban): *BN 350*, 250 MWe, leállítva 1998-ban. Oroszországban: *BN 600*, 550 MWe, 1980 óta folyamatosan üzemel!

– Japánban: *Monju*, 280 MWe, 1995-ben leállítva Na-tűz miatt, 2010-ben újraindítva, majd később leállítva fűtőelem-kezelési problémák miatt. *Joyo*, 140 MWth (hőteljesítmény), leállítva fűtőelem-kezelési problémák miatt.

– USA-ban: *EBR-1*, 200 kWe, 1952–1960, részleges olvadás a fűtőelemek elhajlása miatt; *Fermi 1*, 94 MWe, 1963–1972, 105 fűtőelem megolvadása leváló szerkezeti elem által okozott hűtőcsatorna-elzáródás miatt.

– Kínában: kísérleti, gyors spektrumú reaktor, 2011-ben a hálózatra kapcsolva, teljesítménye 25 MWe, orosz közreműködéssel épült.

– Indiában: gyors spektrumú, kísérleti, tenyésztő reaktor (*FBTR*), 1985 óta üzemel; jelenleg MOX üzemanyagok besugárzásos tesztelésére használják.

## Az MTA EK-ban vizsgált nátriumhűtésű reaktorzónák tulajdonságai

	termikus teljesítmény (MWth)	egyensúlyi kampány hossza (effektív nap)	fűtőelemkötegek száma	reflektorkötegek száma	reaktivitást szabályozó elemek száma	konverziós tényező*
nagy zóna, karbid fűtőelem	3600	410	487	300	27	1,15
nagy zóna, oxid fűtőelem	3600	410	453	330	33	1,08
közepes méretű zóna, metál fűtőelem	1000	365	180	180	19	0,79
közepes méretű zóna, oxid fűtőelem	1000	365	180	180	19	0,84

\* A hasadóanyag keletkezésének és fogyásának aránya.

## A megoldandó problémák, hátrányok:

- A nátrium intenzív kémiai reakciója a vízzel és a levegővel; a keletkező aeroszolok kémiai mérgezők.

- Fűtőelem-sérülés esetén a nátrium intenzív reakciója az oxid fűtőelemmel.

- A nátrium üregetényezője pozitív (ha felforr – pozitív visszacsatolás miatt – növekszik a teljesítmény), gondos zónatervezéssel a probléma esetleg megoldhatóan tűnik.

- 98 °C alatt a nátrium szilárd halmazállapotúvá válik, visszaolvasztás alatt mechanikai feszültségek keletkeznek a szerkezeti elemekben.

- A nagy mennyiségű nátrium bonyolult áramlási viszonyai a „pool-type” esetben, különösen a szerkezeti elemek közelében.

- A zónarács geometriájának egyes változásai (például földrengés közben összenyomás során) reaktivitásnövekedést okozhatnak.

- A gőzgenerátor csöveinek törése nyomáshullámokat, felmelegedést okozhat a közbenső hűtőkörben. Ezen kívül ilyenkor hidrogén is keletkezhet.

- A szerkezeti elemek vizsgálata, monitorozása speciális technika kidolgozását igényli a nátrium átlátszatlansága miatt.

- Szükséges a másodlagos aktinidákat tartalmazó fűtőelem tesztelése (részben még fejlesztése, a kiegészítő hatásának vizsgálata).

## Tervezett nátriumhűtésű, gyors spektrumú reaktorok:

- EU, Franciaország: a köztársasági elnök 2006-os nyilatkozata nyomán született törvény 3. cikkelye alapján, ami a radioaktív anyagok és hulladék fenntartható kezelését írja elő és 2020. december 31-ig üzembe kell állítani egy negyedik generációs prototípust. Ennek megfelelően a 600 MWe ASTRID (Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration) tervezése folyik.

- 1500 MWe Japan Sodium-Cooled Fast Reactor („JSFR”), a részletes tervek 2015-ig készülnek el, 2025-ig tervezik üzembe állítani.

- BN-800 Oroszországban a közeljövőben eléri a kritikusságot, 2013-ban két újabb blokk építése kezdődik Kínában.

- A BN-1200 tervezése folyik, itt nitrid alapú fűtőelem alkalmazását is tervezik, amit már teszteltek a BR-10 nátriumhűtésű kísérleti reaktorban (az utóbbi 2002-ben leállítva).

- Prototype Fast Breeder Reactor (PFBR) Indiában, kritikusság a közeljövőben.

## A vizsgált zónák biztonsággal kapcsolatos jellemzői

	effektív későneutron-hányad* (%)	Doppler-reaktivitástényező** (pcm/K)	üregetényező (%)	külső abszorbersrudak értékesége (%)	belső abszorbersrudak értékesége (%)
nagy zóna, karbid fűtőelem	0,405	-0,62	2,31	0,11	0,15
nagy zóna, oxid fűtőelem	0,393	-0,45	2,08	0,10	0,17
közepes méretű zóna, metál fűtőelem	0,366	-0,34	1,91	0,51	1,34
közepes méretű zóna, oxid fűtőelem	0,357	-0,45	1,76	0,45	1,26

\* A reaktor kinetikai folyamatai és ennek során szabályozhatósága szempontjából fontos mennyiség.

\*\* A fűtőelem hőmérséklet-változásának hatására bekövetkező reaktivitásváltozás.

## Nátriumhűtésű reaktorok reaktivásvizonyai (IAEA-TECDOC-1531)

	izotermikus reaktivástényező (pcm/°C)	teljesítmény szerinti reaktivástényező (pcm/MWth)	maximális üregtényező (%)
FBTR (India)	-4,8	-19	-20,6
JOYO (Japán)	-3,1	-4,2	-4,1
BR-10 (Oroszország)	-2,2	-8,2	-6,1
CEFR (Kína)	-4,57	-6,54	-5,0
Phénix (Franciaország)	-2,7	-0,5	-
PFBR (India)	-1,2	-0,64	+4,3
MONJU (Japán)	-2,0	-	-
BN-350 (Kazahsztán)	-1,9	-0,7	-0,6
BN-600 (Oroszország)	-1,7	-0,6	-0,3
KALIMER-150 (Korea, tervezett)	-	-	2,6
Superphénix 1 (Franciaország)	-2,75	-0,1	+5,9
BN-1600 (Oroszország, tervezett)	-1,6	-0,1	~0
BN-800 (Oroszország, befejezés előtt)	-1,7	-0,36	~0
JSFR-1500 (Japán, tervezett)	-0,6	-0,15	+5,3

- Chinese Demonstrator Fast Reactor (CDFR) tervezése, 900 MWe.
- Chinese Commercial Fast Reactor (CCFR) tervezése, 1500 MWe.
- Dél-Korea: Korean Advanced Liquid Metal Reactor „KALIMER” tervezése, 1200 MWe.

Amint említettük, a tervezett, nátrium hűtésű, gyors spektrumú reaktorban a fűtőelem anyaga általában  $UO_2$  vagy MOX ( $UPuO_2$ ), de fejlesztés alatt állnak más típusú, kedvezőbb paraméterekkel (például jobb hővezető-képességgel) rendelkező karbid vagy fém ( $UPuZr$ ) alapú fűtőelemek is. A 2. és 3. táblázatban bemutatjuk néhány, különböző, nátriumhűtésű reaktorzónára vonatkozó, az MTA EK-ban számolt összehasonlító elemzés eredményét [4]. A számítások egyensúlyi üzemanyciklus összetételére vonatkoznak.

A legígéretesebb koncepció a karbid fűtőelemekből álló nagy méretű zóna, mivel

- a konverziós tényező erre a zónára a legkedvezőbb, lényegesen nagyobb, mint 1,0;
- az erős Doppler-effektus képes kompenzálni a pozitív üregtényező hatását;
- az egyes abszorbensrudak biztonságosan kis értékességűek, nem tervezett mozgásuk nem okozhat biztonsági problémát.

A táblázatokból látszik, hogy a lezárási reaktivitás elegendő mind a négy zónára.

Megjegyezzük, hogy – amint azt a 4. táblázat adatai mutatják – a pozitív üregtényező csak különleges esetekben eredményezhet reaktivásvitelt, mivel még pozitív értékek mellett is az izotermikus és a tel-

jesítmény szerinti reaktivástényező rendszerint negatív. Ráadásul bizonyos fűtőelemek és zónák esetében elérhető nullához közeli és negatív üregtényező is.

### Folyékony ólom és ólom-bizmut hűtésű, gyors spektrumú reaktor

A tervezett ólom vagy ólom-bizmut hűtésű, gyors spektrumú reaktorban a fűtőelem anyaga általában  $UO_2$  vagy MOX ( $UPuO_2$ ), de vizsgálják nitrid- és karbid-alapú fűtőelemek lehetőségét is. A hűtőközeg (közel) atmoszférikus nyomáson van, ami – a víz vagy gázhűtésű rendszerhez képest – lényegesen csökkenti a hűtőközegvesztéses üzemzavarok lehetőségét. A szabad felszínnel rendelkező tartályban található az aktív zónán kívül az egész primer kör a közbelső hűtőkör hőcserélőjével együtt. Az ólom reakcióképessége a vízzel és a levegővel csekély, ezért két hűtőkör alkalmazása elegendő. A primer kör hűtőközeg hőmérséklete elérheti a 480 °C-ot, ami az 1600 °C-nál magasabb forráspont elérésétől nagy tartalékot biztosít. A fűtőelem burkolatának korróziója miatt ennél magasabb hőmérséklet csak a burkolat felületén alkalmazott védőréteg segítségével lenne elérhető, ami egyelőre még nincs kidolgozva. Mindez egyelőre kisebb termikus hatásfokot tesz lehetővé, mint a nátriumhűtésű típus esetében.

*Az ólom vagy ólom-bizmut hűtőközeg alkalmazásának előnyei*

- Magas forráspont (1737 °C az ólom, 1670 °C az ólom-bizmut esetében) → üzemzavarok esetén a forrás valószínű elkerülése.

- Nagy hőkapacitás → hűtés kimaradása esetén jelentős idő az operátori beavatkozásra.
- A szivattyúk leállása után intenzív, természetes cirkuláció lehetősége.
- Gyenge moderáló képesség (gyengébb, mint a Na esetében) → kemény neutronspektrum, nagyobb átömlési keresztmetszetű hűtőcsatornák, és így kisebb hőhordozó-sebesség is megengedhető, növelve ezzel a természetes cirkuláció lehetőségét.
- Rendkívül lassú, endoterm reakció a levegővel és a vízzel → nincs szükség közbelső hűtőkörre (szemben a nátriumhűtésű típusal) → kisebb költség, egyszerűbb felépítés.

#### *Ólom-bizmut és ólom hűtőközeg összehasonlítása, előnyök és hátrányok*

- Az ólom-bizmut hűtőközeg olvadáspontja alacsonyabb (125 °C 327 °C helyett). → Az ólom megszilárdulásának kisebb a veszélye, alacsonyabb üzemi hőmérséklet is lehetséges a szerkezeti anyagok kisebb igénybevételével.
- Radioaktív és kémiailag is mérgező polónium keletkezése a bizmutból.
- Bizmutból kevés van és drága.

Az adott típusal kapcsolatban 80 reaktorév- tapasztalat halmozódott fel az ólom-bizmut hűtésű Alfa/Lira típusú szovjet gyártmányú tengeralattjárók üzemelése során. Ezen kívül csak tervek, elképzelések léteznek: BREST, SVBR (orosz), ELSY, ALFRED demonstrátor (EU), amelyek közül (leginkább) a BREST reaktorok terveinek részletes kidolgozottsága biztató.

#### *Megoldandó, kezelendő, a biztonságot is érintő problémák*

- Az ólom intenzív kémiai reakcióba lép az acél szerkezeti elemekkel, ami korróziót okoz. A korróziós termékek, az ólom oxidjának felhalmozódása a hűtőcsatornák elzáródásához vezethet. Ugyanakkor szükség van 0,01 ppm nagyságú kontrollált oxigéntartalomra az acélfelületek védő oxidrétegének megtartásához. Ez alatt az oxidréteg nem véd, vas oldódik a hűtőközegbe, e felett szilárd oxidrészecskék keletkeznek, a hűtőcsatornák elzáródhatnak. Az oxidkoncentráció közben tartásához folytonos monitorozás és tisztítási lehetőség szükséges. A fentiekkel kapcsolatos problémák zónaolvadási balesetet okoztak tengeralattjárón.
- A szerkezeti elemek eróziója miatt nem megengedett 2 cm/s-nál nagyobb hűtőközeg-sebesség. → Nagyobb területű hűtőcsatornák, kisebb teljesítménysűrűség (100 W/cm<sup>3</sup>), nagyobb méretű, tömegű zóna szükséges.
- A szerkezeti elemek vizsgálata, monitorozása speciális technika kidolgozását igényli az ólom átlátszatlansága miatt.
- A hőmérsékletet 400 és 480 °C között kell tartani, felette nő a korrózió, alatta az acél szerkezeti elemek elridegnek.
- Az ólom gőze kémiailag mérgező.

- Súlyos baleset során megolvadt zóna könnyebb, mint a hűtőközeg, elemzések szükségesek a tartály esetleges átolvadásával kapcsolatban.
- 327 °C alatt az ólom szilárd halmazállapotúvá válik, visszaolvastás alatt mechanikai feszültségek keletkeznek a szerkezeti elemekben.
- A nagy mennyiségű ólom bonyolult áramlási viszonyai, különösen a szerkezeti elemek közelében.
- A nagy sűrűségű, nagy mennyiségű hűtőközeg földrengés esetén – speciális megerősítések nélkül – károsíthatja a szerkezeti elemeket.
- A zónarács geometriájának egyes változásai (például földrengés közbeni összenyomás során) reaktivitásnövekedést okozhatnak.
- A gőzgenerátor csöveinek törése a primer körben nyomáshullámokat okozhat.
- Az ólom üregegyezője egyes esetekben pozitív lehet (kevésbé, mint nátriumhűtés esetében).
- A szerkezeti elemek szilárdsági elemzése (például földrengés esetén), esetleg a rögzítő elemek megerősítése szükséges a súlyos, nagy méretű zónára való tekintettel.
- Aeroszolkezelés kidolgozása szükséges a mérgező ólomgőz miatt.
- Korrózióálló anyagok keresése lenne ajánlatos.

## Gázhűtésű, gyors spektrumú reaktor

### *A gázhűtésű, gyors spektrumú reaktor hűtőközege bélium, ami számos előnnyel rendelkezik:*

- Nem lehetséges fázisátalakulás, forrás. → A folyékonyfém-hűtésű típusoknál jóval magasabb hőmérséklet (850 °C) és hatásfok érhető el. Ez a hőmérséklet már elég magas a termokémiai reakción alapuló hidrogéntermeléshez is.
- Gyenge moderáló képesség → elégségesen gyors spektrum ahhoz, hogy tenyésztő reaktorként működhessen, valamint alkalmas legyen a másodlagos aktinidák (Am, Cm, Np) transzmutálására is.
- Nem felaktiválódó hűtőközeg.
- Kémiailag semleges → a szerkezeti elemek magas hőmérsékleten is korróziómentesek.
- Rendkívül kicsi (de mégis pozitív) üregegyező.
- Az átlátszóság megkönnyíti a szerkezeti elemek monitorozását, karbantartását.

Ilyen reaktor még nem épült, de egy európai együttműködésben kidolgozásra került egy 2400 MWth teljesítményű 70 bar nyomású koncepció. Az eredeti koncepció 600 MWth teljesítményű volt, de ennek izotópházartásával a tervezők – reális kampányhosszak mellett – elégedetlenek voltak. Megjegyezhető, hogy a teljesítmény és a méret tekintetében hasonló látható a nátriumhűtésű típusok számításai esetén is.

2013 júliusában létrejött a V4G4 kiválósági központ (a Cseh Köztársaság, Lengyelország, Magyarország és Szlovákia részvételével), aminek legfontosabb célja a gázhűtésű, gyors spektrumú, 70 MWth teljesítményű ALLEGRO demonstrátor megépítésének előkészítése.

Ebben a reaktorban a kezdeti időszakban a nátrium-hűtésű Phénix reaktor acélburkolattal rendelkező fűtőelemeit alkalmazzák.

#### *A hélium hűtőközeg hátrányai:*

- Rendkívül kis hőkapacitása és hőtehetetlensége miatt egyes üzemzavarok – például a kényszeráramlás megszűnésével járók – a fűtőelemek gyors felmelegedéshez vezetnek, és így a zónasérülés előtt kevés idő áll rendelkezésre a szükséges biztonsági beavatkozásokig.
- Hűtőközeg-vesztéses üzemzavarok után – a hűtőközeg lecsökkent sűrűsége miatt – nem elégséges a természetes cirkuláció, speciális követelmények merülnek fel a kényszeráramlást biztosító fuvattyúkkal szemben.
- A folyékonyfém-hűtésű típusokkal ellentétben a tartályt lényegében nem árnyékolja a hűtőközeg a neutronsugárzás ellen, ami speciális árnyékolás nélkül a tartály anyagának elridegedéséhez vezethet. Ezen árnyékoló anyaga azonban magas hőmérséklet mellett még nem kidolgozott.
- Súlyos balesetek esetén – szemben a többi típusal – a hűtőközeg nem tartja vissza az aktív izotópokat.
- Egyes előrejelzések szerint a Föld héliumkészlete a jelenlegi felhasználás mellett körülbelül 25-30 évre elegendő. Ráadásul – a jelenlegi technológiák mellett – a hélium diffúziója és kiszökése jelentős.

*A gázhűtésű, gyors spektrumú reaktorok alábbiakban megadott, alapvető, jelenleg még meg nem válaszolt problémái miatt az adott típus életképessége nem ítéltető meg:*

– Fűtőelem, szerkezeti anyagok: a magas hőmérsékletnek megfelelően jelenleg U-Pu-C fűtőelemmátrix és SiC burkolatban gondolkodnak. A tablettá anyaga magas hőmérsékleten erősen diffundál, ami a burkolat anyagában korróziót eredményez. Emiatt a burkolaton vékony védőrétegre lenne szükség, de az egyelőre nincs kidolgozva.

– Hőpajzs szükséges a forró gáz és a szerkezeti elemek között, aminek anyaga még nem ismert.

A fenti problémák lehetséges megoldásai nincsenek kellőképpen kidolgozva, és emiatt nem valószínű a hatósági engedélyezés a fűtőelem és a szerkezeti anyagok kísérleti kvalifikációja nélkül.

– A maradványhőt eltávolító biztonsági rendszer jelenleg csak aktív szelepműködtetéssel megoldott, ami nem a kívánatos passzív megoldás. A maradványhőt eltávolító rendszer működőképességének teljes léptékű, kísérleti berendezéseken alapuló kísérleti bizonyítottasága szükséges.

## Összegzés

Minden szakmai előrejelzés szerint folytatódni fog a világ villamosenergia-felhasználásának növekedése, és az így is nagyon magas CO<sub>2</sub>-kibocsátás még tovább emelkedhet. Az adott helyzetben – a további lehetőségek kihasználása mellett – nem hagyható figyelmen kívül az a versenyképes alternatíva sem, amit az atom-

energia jelent. Így merült fel az igény a modernebb, a jelen és az előrelátható jövő kihívásait sokkal jobban kielégítő, negyedik generációs nukleárisenergia-termelő rendszerek tervezésére. A legfontosabb célkitűzések a fenntarthatóság biztosítása – vagyis az uránkészletek kihasználása – és a nagy aktivitású hulladék környezeti hatásainak drasztikus csökkentése. Mindez csak az eddigiektől eltérő, gyorsneutron-spektrumú erőművek alkalmazásával érhető el.

A szükséges fejlesztések – amelyek okait a fentiekben részben megadtuk – csak lépésről lépésre, jelentős volumenű kutatási programok, komponentesztek, kísérleti és demonstrációs reaktorok megvalósításával érhetőek el. Ezek előrehaladása a 2000-ben elképzelhető képest lelassult. A század közepére – jó esetben is – csak egyetlen kereskedelmi típus létrejöttével számolhatunk. Az áttörés elsősorban Oroszországban, Kínában és Indiában várható. Jelenleg a nátriumhűtésű verzió a legkiforrottabb, az orosz BN-800 reaktor kritikus-sága a közeljövőben várható. 2013-ban két újabb blokk építése kezdődött Kínában. Ehhez képest legalább 10 és 20 éves késésben van a két további – az ólom-, illetve gázhűtésű – típusok tervezése és fejlesztése. Európában az ASTRID nátriumhűtésű ipari demonstrátor nincs túl messze a megvalósíthatósági szinttől, a gázhűtésű, gyors spektrumú technológia életképessége viszont ma még bizonytalanak mondható. Az ólomhűtésű technológia a BREST reaktorok terveinek részletes kidolgozottsága révén is rendkívül biztató [5].

A jelenleg befejezés előtt álló harmadik generációs reaktortípusok hosszú idejű fejlődési folyamat során alakultak ki, gazdaságosságuk, biztonságosságuk meghaladása vagy elérése gyors spektrumú típusok alkalmazásával az elkövetkező évtizedekben rendkívüli kihívást jelent. Bár a közelmúltbeli balesetek tapasztalatainak a tervekbe való beépítése megkezdődött [2], a biztonság tekintetében a zónaolvadásos balesetek következményeinek enyhítésére szolgáló technikai megoldások még egyik új típus esetén sem mondhatók teljesen kiforrottnak. Egy gazdaságossági értékelések szerint a nátriumhűtésű erőművek építése 20%-kal, üzemeltetésük pedig 10%-kal fogja meghaladni a jelenlegi típusok költségeit.

#### Irodalom:

1. Szatmáry Zoltán: Fogytán az urán a Földön? *Fizikai Szemle* 60/4 (2010) 122.
2. Overview of Generation IV. (Gen IV) Reactor Designs, Safety and Radiological Protection Considerations. *IRSN Report 2012/158* September 2012, [http://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/collection-ouvrages-IRSN/Documents/GENIV\\_texte\\_VA\\_241012a.pdf](http://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/collection-ouvrages-IRSN/Documents/GENIV_texte_VA_241012a.pdf)
3. Yoshikiko Sakamoto et al: Selection of sodium coolant fast reactors in the US, France and Japan. *Nuclear Engineering and Design* 254 (2013) 194–217.
4. Á. Tóta, I. Pataki, A. Keresztúri: Calculation of Sodium Cooled Fast Reactor Concepts, Preliminary results of an OECD NEA benchmark calculation. *International Conference on Fast Reactors and Related Fuel Cycles, Safe Technologies and Sustainable Scenarios (FR13)* ID: IAEA-CN-199/167.
5. V. S. Smirnov: Lead-Cooled Fast Reactor BREST – Project Status and Prospects. *International Workshop on Innovative Nuclear Reactors Cooled by Heavy Liquid Metals: Status and Perspectives*, Pisa, April 17–20, 2012.

# LEPKESZÁRNYAK FOTONIKUS NANOARCHITEKTÚRÁINAK GÁZ- ÉS GŐZÉRZÉKELÉSI TULAJDONSÁGAI

Piszter Gábor, Kertész Krisztián, Vértesy Zofia, Biró László Péter  
MTA TTK Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet<sup>1</sup>

Bálint Zsolt  
Magyar Természettudományi Múzeum, Lepkegyűjtemény<sup>2</sup>

Jakab Emma  
MTA TTK Anyag- és Környezetkémiai Kutatóintézet<sup>3</sup>

*Bizonyos rovarok csillogó színét a külső testfelszínüket képező kitin nanoszerkezete határozza meg. Így például a lepkék esetében gyakran a látható fény hullámhosszának nagyságrendjébe eső méretű nanoarchitektúra alakul ki a szárnyat borító pikkelyekben. Ez a szerkezet természetes fotonikus kristályként működik, és az általa visszavert fény hullámhosszát – az esetlegesen jelenlévő festékekanyagokon kívül – a nanoarchitektúrát alkotó nanoszerkezetek jellemző méretei, illetve a pikkely anyagának és környezetének törésmutató-különbsége határozza meg. Ha a környezet törésmutatóját megváltoztatjuk, a pikkelyek fényvisszaverési spektrumában eltérést tapasztalunk. A jelenséget felhasználhatjuk optikai elvű szelektív gáz/gőzérzékelésre: a környező gőzök lecsapódnak a nanoszerkezetben, és spektrométerrel mérhető eltérést idéznek elő a visszavert fény színében. Az eltérés mértéke függ a gőz koncentrációjától. Cikkünkben erre összpontosítunk, bemutatva néhány gőzdetektálási mérésünket, amelyek nagy részét közel rokon boglárkalepkék kék szárnyain végeztünk. A kísérletek során az alkalmazások szempontjából nagyon fontos kémiai szelektivitást állapítottunk meg, valamint a jelenség hőmérséklettől való függését is megfigyeltük.*

A boglárka-rokonúak nemzetségét képviselő lepkefajok többségének hímjei szerkezeti eredetű kék szárnyakkal rendelkeznek. A fajonként különböző árnyalatú kék szín összetett nanoszerkezettől származik, amely képes szelektíven kölcsönhatni a ráeső fehér fény különböző hullámhossz-tartományával: bizonyos hullámhosszak behatolnak a szerkezetbe (ahol szóródnak és a festékekanyagokban elnyelődnek), míg mások visszaverődnek [1–3]. Az ilyen típusú nanoarchitektúrákat fotonikus kristály típusúnak nevezzük. A lepkék szárnypikkelyeiben található fotonikus nanoarchitektúra egy nanokompozit, amiben kitin- és levegőtartományok váltakoznak a látható fény hullámhosszának megfelelő (pár 100 nm) periodicitással. Ez a periodicitás, illetve a komponensek törésmutatója közötti eltérés, azaz a törésmutató-kontraszt alakítja ki a fotonikus kristály hullámhosszfüggő visszaverési

karakterisztikáját, az úgynevezett fotonikus tiltott sávot. A név az elektronok szilárdtestfizikából jól ismert tiltott sávjával analóg: amíg a félvezetőkben bizonyos energiájú elektronok nem tudnak terjedni az atomi szerkezetben, addig a fotonikus kristályok esetében a jól meghatározott energiájú (hullámhosszú) fotonok terjedése tiltott. Azonban a fotonikus kristályok jellemző méretei mintegy ezerszer nagyobbak, mint a szilárdtestek kristályszerkezetét leíró elemi cellák méretei. A nanoszerkezetek által ilyen módon visszavert fényt fizikai (vagy szerkezeti) színnek nevezzük, mivel a hullámhosszát tisztán a nanokompozit paraméterei határozzák meg.

## A vizsgált lepkék és színváltozásuk

A kilenc vizsgált boglárkalepke-faj [4] – amandusz (*Polyommatus amandus*), égszínkék (*P. bellargus*), ezüstkék (*P. coridon*), csíkos (*P. damon*), csipkés (*P. daphnis*), mezei (*P. dorylas*), ikarusz (*P. icarus*), aprószemes (*P. semiargus*) és terzitész (*P. thersites*) – egyedei a Magyar Természettudományi Múzeum Állattárából származnak. Jellemző rájuk az ivari kétalakúság, azaz csak a hímek rendelkeznek élénk színű szárnyakkal, míg a nőstények barnák. Szárnyaikat tetőcserépszerűen apró kitinpikkelyek borítják, amelyek tipikusan  $100 \times 50 \times 1 \mu\text{m}^3$  méretűek. A boglárkalepkék kék szárnypikkelyeinek belsejét egy háromdimenziós kitin-levegő nanoarchitektúra tölti ki, ami fotonikus kristályként viselkedik. Ha megváltoztatjuk az egyik összetevő anyagi minőségét, azaz például a levegőt valamilyen más anyaggal helyettesítjük, akkor megváltozik a nanoszerkezetben a törésmutató-kontraszt. Ezáltal eltolódik a visszavert fény spektrumának csúcspontját jellemző hullámhossz is, ami a szárny színének megváltozását eredményezi.

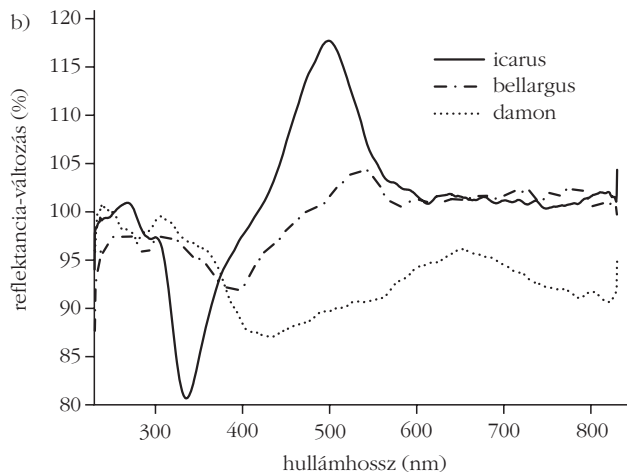
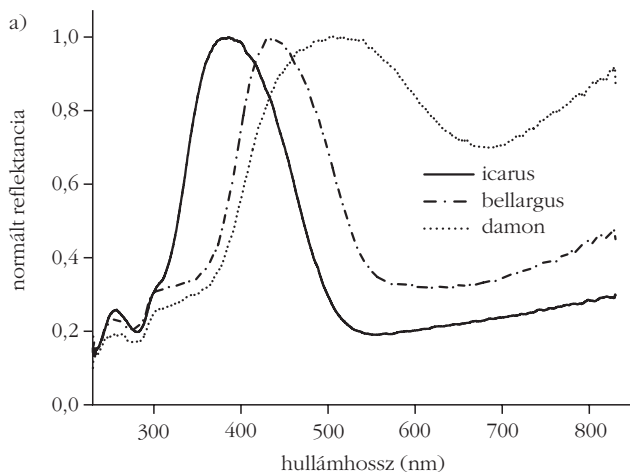
A struktúra feltérképezéséhez – a szárnyminták megfelelő előkészítése után – a pikkelyekről pásztázó (SEM) és keresztmetszeti transzmissziós elektronmikroszkópos (TEM) felvételeket készítettünk. Ezek alapján a pikkelyek háromdimenziós nanoszerkezetét összehasonlítottuk egymással. A SEM és TEM felvételeken [1–3] jól látható a pikkelyek háromdimenziós struktúrájának nyitott, szivacszerű felépítése. Ebből következően a kitin-levegő nanokompozit törésmutató-kontrasztja a nanoarchitektúra üregeit kitöltő közeg megváltoztatásával egyszerűen elhangolható. Ilyenkor a szer-

A munka az OTKA PD 83483 és a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült.

<sup>1</sup> www.nanotechnology.hu

<sup>2</sup> www.nhmus.hu

<sup>3</sup> www.ttk.mta.hu/intezetek/anyag-es-kornyezetkemiai-intezet



1. ábra. a) A három vizsgált boglárkalepke-faj (*Polyommatus icarus*, *P. bellargus*, *P. damon*) szárnyának 1-re normált fényvisszaverési spektruma a fehér (diffúz) referenciához viszonyítva. b) Ugyanazon fajok szárnyának válaszejele (definíció a szövegben) telített (100%) etanol gőzére.

kezetben található levegőt valamilyen illékony folyadék gőze és a levegő keverékére cserélve detektálható mértékű spektrális eltolódást tapasztalunk a szárnyon. A hatás magyarázata a gőz cseppfolyósodása a pikkelyekben. Mivel a fotonikus szerkezet pórusos és jellemző méretei a 100 nanométeres tartományban vannak, kapilláris kondenzáció történik [5].

A fentiek alapján olyan mérési elrendezés tervezhető meg, amely a lepkeshárnyat, mint optikai elvű szenzoranyagot alkalmazza: a karakterisztikus színváltozásból következtetni lehet a szenzort körülvevő gőz anyagi minőségére és koncentrációjára. A kapilláris kondenzáció jelenléte miatt fontos szerepet játszik a hőmérséklet és a gőzből lecsapódott folyadék felületi feszültsége.

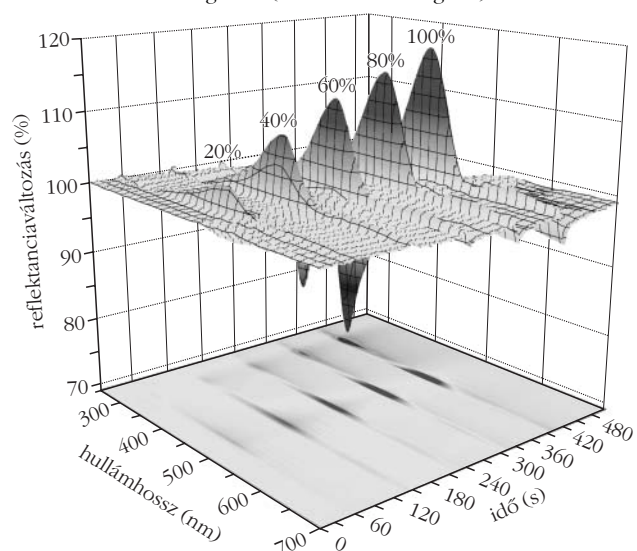
## Vizsgálati módszerek

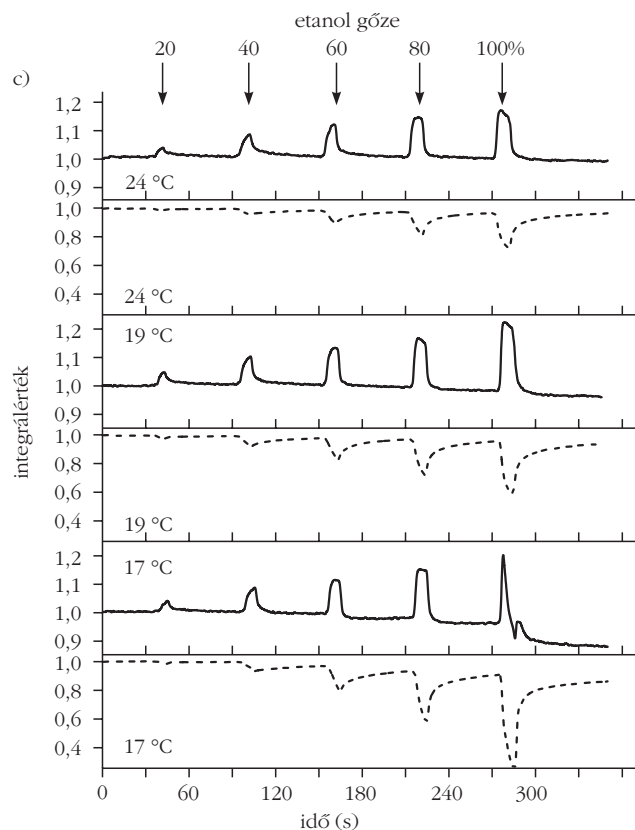
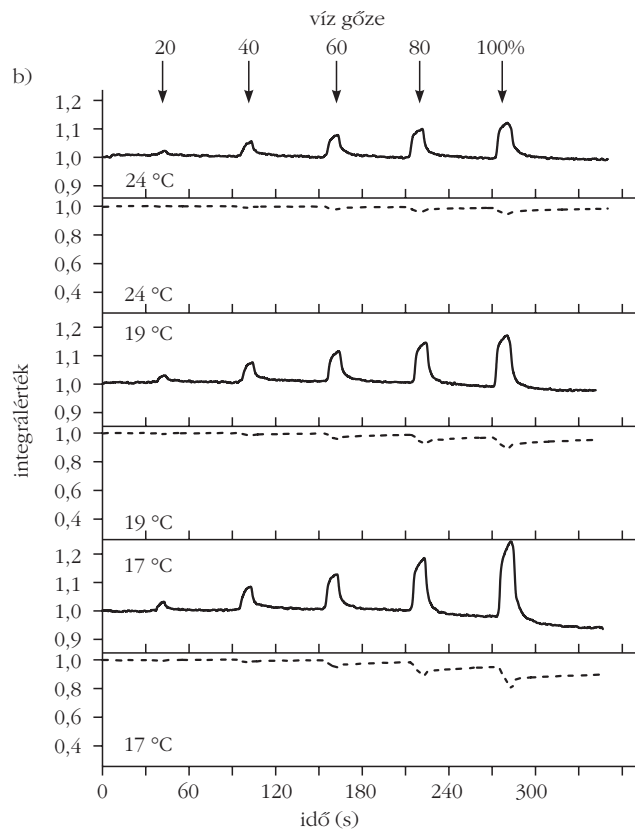
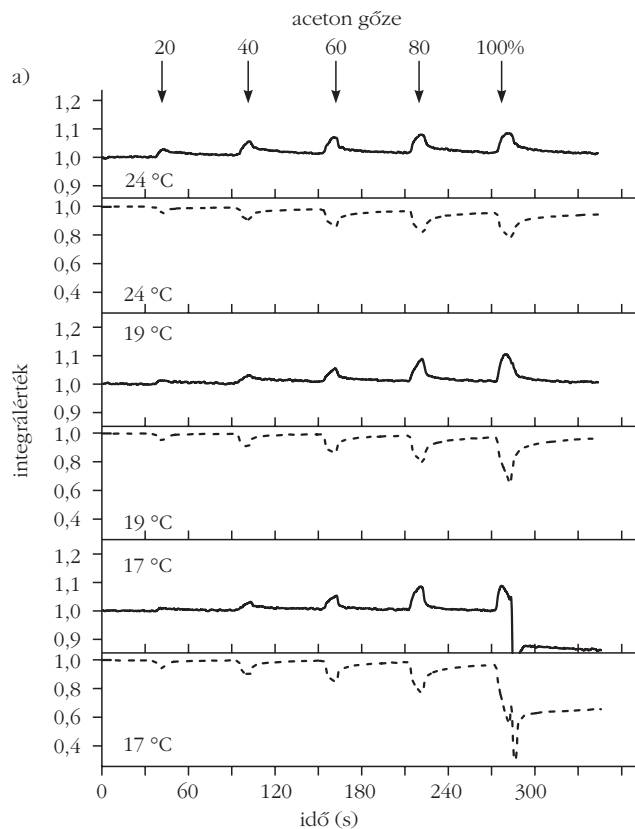
A gőz/gázérzékelési és optikai méréseink során – a minták mechanikai roncsolódását elkerülendő – a lepkeshárnyakat papírkeretbe helyeztük. Az így bekeretezett szárnyak pontosan illeszkedtek a gázcellaiba, ami egy légmentesen zárt alumíniumdoboz volt, a gázbeengedéshez szükséges csatlakozókkal és a fedőlapján egy kvarcablakkal, amin keresztül elvégezhetőek voltak a látható és ultraibolya tartományba eső optikai mérések. A gázkeverő rendszer számítógéppel vezérelhető gázáramlás-szabályzókból (*Aalborg*) állt, amelyek bemenetére szintetikus levegőt (Messer, 80% N<sub>2</sub>, 20% O<sub>2</sub>) tartalmazó gázpalackot kötöttünk. Az egyik szabályzó kimenetére a vizsgálni kívánt folyadékkal töltött, buborékolatós palackot csatlakoztatunk. Az így felépített eszköz segítségével pontosan meghatározható volt a vivőgáz és a palackon átbuborékolatott levegő mennyisége. A szintetikus levegőt és a telített gőzt hordozó (átbuborékolatott) levegőt előre megtervezett arányban (hozammal) összekeverve, beállítható volt a keverék kívánt gőzkoncentrációja. A keverékek összetételét kromatográfós mérésekkel hitelesítettük [5]. Vizsgálataink során a gázcella-

ban koncentrációtól független, állandó 1000 ml/perc áramlási sebességet biztosítottunk.

A keveréket a gázcellaiba juttatva száloptikás moduláris spektrofotométer (*Avantes HS-1024x122TEC*) segítségével vizsgáltuk a mintagőz által a lepkeshárnyon okozott színváltozást. Ehhez a szárnymintára merőleges megvilágítást és a fényvisszaverési maximumához igazodó detektálási irányt (~45°) használtunk. A gőzdetektálási mérésekben a spektrális jel relatív eltérését vizsgáltuk, amelyhez az áramló szintetikus levegőben rögzített reflektancia-spektrumot használtuk referenciaként. Ez azt jelenti, hogy a mérés kezdetekor rögzített szint használtuk 100%-os jelként a teljes hullámhossztartományban, és a különböző gőzök hatására létrejövő eltéréseket tekintettük a gőzök hatását mutató jelnek (*1.b ábra*). Korábbi vizsgálatainkban megbizonyosodtunk arról, hogy a relatív spektrális jel időbeli változása is fontos infor-

2. ábra. A fényvisszaverés változása időben növekvő koncentrációk (20, 40, 60, 80, 100%) hatására a hullámhossz és az idő függvényében. A reflektancia-változás-tengelyen 100%-nak felel meg a szárny színe szintetikus levegőben (definíció a szövegben).





3. ábra. A *Polyommatus icarus* lepke szárnyán mérhető relatív fényvisszaverés (definíció a szövegben) pozitív (az integrált hullámhossztartomány 480–510 nm) és negatív (az integrált hullámhossztartomány 300–330 nm) csúcsok integráljai három hőmérsékleten (24, 19, 17 °C). Időben az aceton (a), víz (b) és etanol (c) gőzének koncentrációja 20, 40, 60, 80 és 100% volt (felső tengely).

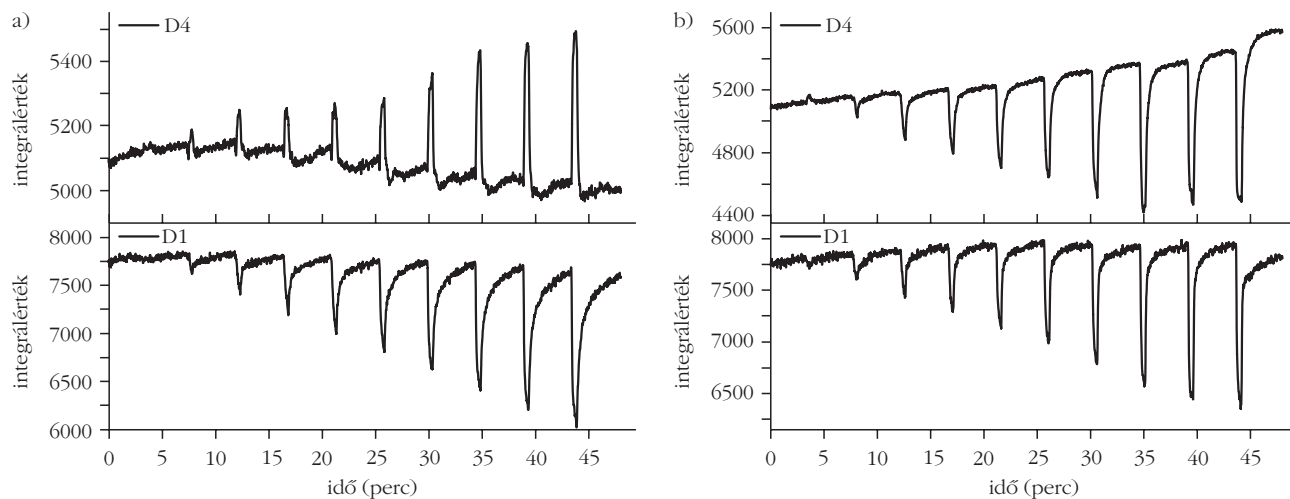
mációkat hordoz, ezért a mérések során körülbelül egy másodperces felbontással rögzítettük a spektrumokat, amelyeket ezután háromdimenziós felületként ábrázoltunk (2. ábra). Az így kapott diagramon az  $x$ - $y$ - $z$  tengelyek a hullámhossznak, az időnek és a relatív spektrális megváltozásnak felelnek meg.

A gázcellába rögzített Peltier-elem segítségével lehetőségünk nyílt hőmérsékletfüggő kísérletek elvégzésére is, amikor a szárny hőmérsékletének a válaszjelre kifejtett hatását vizsgáltuk. Ehhez három különböző hőmérséklet mellett rögzítettük a szárny különböző gőzök hatására bekövetkező spektrális változásait, és ezeket összevetettük a szobahőmérsékleten kapott mérési adatsorokkal.

## Kísérleti eredmények

Az egyes lepkefajok szárnypikkelyeit kitöltő nanoarchitektúrák általános felépítése nagyon hasonló egymáshoz, azonban az általuk előállított fizikai szín bizonyítottan fajspecifikus [2, 3]. A színárnyalatbeli különbségeket adó parányi különbségek feltárásához a szerkezetet leíró paraméterek részletes analízise szükséges. Ehhez nagyfelbontású elektronmikroszkópiát (SEM és TEM) és az osztályunkon fejlesztett szoftvert (BioPhot Analyzer) használtunk fel. Segítségükkel kimutattuk a lepkefajok és szárnypikkelyeik nanoarchitektúrája közötti korrelációt, illetve ilyen módon a fizikai szín árnyalata és a nanoarchitektúra szerkezete közötti kapcsolatot [3].





4. ábra. A kémiai szelektivitás bemutatására egy 50 perces mérés során 10%-os lépésekben növeltük az etanol (a) és a vízgőz (b) koncentrációját. A D1 és D4 görbék a visszaverési spektrumok integráljai a 250–350, valamint 700–750 nm tartományon.

A gáz/gőzérzékelési mérések előtt elvégeztük a lepkeszárnyak visszaverési spektrumainak felvételét áramló szintetikus levegőben. Ekkor a spektrométer gyártója által készített teflon referenciamintát használtuk viszonyításként. A reflektancia-spektrumokat közös grafikonon ábrázoltuk, és a kék tartományba eső csúcs maximumára normáltuk azokat, hogy karakterisztikus alakjuk könnyen összehasonlítható legyen. Ezek alapján megállapítottuk, hogy a vizsgált kilenc lepkefaj három színárnyalatsoportha rendezhető: lilás, kék és zöldeskék szárnyú fajok. A három csoportot jellemző egy-egy lepkefaj szárnyának reflektancia-spektruma az 1. a ábrán látható.

A gáz/gőzérzékelési kísérletsorozatot először szobahőmérsékleten, majd ezt követően megváltoztatott szenzorhőmérséklet mellett végeztük el a következő módon: kezdetben pár percen keresztül szintetikus levegőt áramoltattunk keresztül a gázérzékelő cellán, megtisztítva így a teljes rendszert a maradék szobalevegőtől. Ekkor elvégeztük a referenciaspektrum felvételét is, ami a gáz/gőzérzékelési kísérletekben a szárny minta – áramló mesterséges levegőben mért – reflexiós spektrumát jelenti. A szárnyak színváltozásának összehasonlíthatósága érdekében mind a kilenc lepkefajnál ugyanazt a mérési sorozatot alkalmaztuk: az egy perces levegőbeengedést egy perc telített gőz beengedése követte, majd a gőzt három perces szintetikus levegős mosás ürítette ki a rendszerből.

Az ötperces kísérlet során a spektrális jel megváltozott a referenciaszinthez képest. A beengedett gőzök hatására a spektrum bizonyos hullámhossztartományai csökkentek, míg mások megnöttek. Ennek oka a reflexiós spektrumok kék tartományában található csúcs nagyobb hullámhosszak felé történő eltolódása volt, amit a gőzök által elhangolt törésmutató-kontraszt változása okozott. A szintetikus levegővel történő mosás során a gőzök távoztak a nanokompozitból, ezáltal a spektrális jel visszatért a 100%-os referenciaszintre.

A három színárnyalatsoporthot szemléltető három lepkefajnál közös grafikonon ábrázoltuk az etanolgőz hatására létrejövő, maximális válaszjelű, relatív refle-

xiós spektrumokat (1. b ábra). Jól látható, hogy mindhárom esetben a kék tartományban lévő főmaximum környékén tapasztalható jelentős változás, amit a főcsúcs eltolódása okoz. A relatív spektrumokon ezen eltolódás pozitív és negatív csúcsok megjelenésében nyilvánul meg.

A gőzkoncentráció hatásának kimutatására kialakítottunk egy mérési protokollt, aminek alapján egy teljes mérés 10 másodperces gőzbeengedésekből és 50 másodperces szintetikus levegős atmoszféraiból állt. A szintetikus levegő után minden lépésben 20%-kal növeltük a gőzkoncentrációt, így a 2. ábrának megfelelő gőzkoncentráció – optikai válaszjel felületet kaptunk. Ennek időbeli metszeteként elkészíthetők az egyes gőzkoncentrációknak megfelelő, a korábban már bemutatott maximális spektrális változást bemutató grafikonokhoz hasonló (1. b ábra) görbék, míg a hullámhossz szerinti metszetek a kísérlet időbeli lefutását mutatják meg (hasonlóan a 3. és 4. ábrákhoz).

A gőzszenzor kémiai szelektivitásának (az egyes különböző gőzökre adott jellegzetes válaszjel) és érzékenységének vizsgálatához szükséges a 2. ábrán bemutatotthoz hasonló gáz/gőzérzékelési 3D felületeken látható spektrális csúcsok hullámhossz szerinti és időbeni viselkedésének jellemzése. Ehhez két, 30 nm széles hullámhossztartományon integráltuk a spektrumokat: 480–510 nm (maximum) és 300–330 nm (minimum), aminek eredményeként minden gőz esetében egy integrálpárt kaptunk (3. ábra). Várakozásainknak megfelelően a két integrál igazodott a 2. ábrán bemutatott, háromdimenziós adatsor alakjához, azaz a gőzbeengedésnek megfelelő időpontokban jelentek meg a nagy intenzitású pozitív, illetve negatív csúcsok. Ezen eljárás előnye, hogy a teljes folyamatot leíró 3D ábrából könnyebben kezelhető, de mégis jellemző 2D adatsorokat választunk le, amelyek lehetővé teszik egy újabb paraméter, a szárnyhőmérséklet hatásának vizsgálatát.

A mérőcellában elhelyezett Peltier-elemmel változtattuk a szárny minta hőmérsékletét a mérés során, és rögzítettük a megváltozott relatív reflexiós spektrumo-

kat. Mind a szobahőmérsékleten, mind a hűtött (19 °C, 17 °C) esetben mért adatsorokból elkészítettük a fent említett időfüggő integrálokat, amelyeket acetone, vízgőz és etanol esetében a 3. ábra mutat. A folytonos vonal a pozitív, a szaggatott vonal a negatív csúcs integrálját mutatja, míg az alkalmazott gőzök koncentrációja a grafikonok tetején látható.

Mindhárom gőzfajtnál megfigyelhető volt, hogy a gőzkoncentrációval arányosan nőtt a detektált optikai jel. Amennyiben egyeneseket illesztettünk az integrálcúcsok maximumértékeire, lineáris kapcsolatot tapasztaltunk a gőzkoncentráció és a spektrális válaszjel között [5]. A szárnyak hűtésekor is fennállt ezen egyenes arányosság a két mennyiség között, azonban a hőmérséklet csökkentésével növekedett a spektrális jel intenzitása. Ennek oka a szárny minta színváltoztató képességének mechanizmusában keresendő. Korábban említettük, hogy a szárny pikkelyek pórusos nanoarchitektúrájában kapilláris kondenzáció játszódik le, és ez módosítja a szerkezet törésmutató-kontrasztját. Azonban a hőmérséklet megváltozása hatással van a kondenzálódott gőz mennyiségére: hűtéskor megnő a szerkezetben a lecsapódott gőz mennyisége, ami a reflektált hullámhosszak nagyobb mértékű eltolódását okozza, így növekszik a detektált relatív reflexiós spektrumok és az ebből képzett időfüggő integrálok intenzitása is. A 3. ábrán megfigyelhető, hogy a legalacsonyabb szárnyhőmérsékleten (17 °C) az acetonnak és az etanolnak megfelelő görbéken a legnagyobb alkalmazott koncentrációk esetében megváltozik a válaszjel alakja. Ez annak tulajdonítható, hogy az adott körülmények között a nanoarchitektúra teljes térfogata telítődik a kapilláris kondenzáció következtében cseppfolyósodott gőzzel [6].

A kémiai szelektivitás bemutatásához (4. ábra) meghosszabbított mérési időket és kisebb koncentrációlépcsőket alkalmaztunk. Ennek eredményeként egy közel 50 perces kísérletben vizsgáltuk az etanol és vízgőz hatását a lepkeszárny színére: a 30 másodperces gőzbeengedéseket négy perces szintetikus levegővel történő átmosás követte. A mért adatsorokból kiválasztottunk két hullámhossztartományt, amelyeken belül integráltunk: a két tartomány a gőzökre 250–350 nm (D1) és 700–750 nm (D4) volt. Mind a D1, mind a D4 integrál közel lineáris kapcsolatot mutatott a spektrális válaszjel és az alkalmazott gőzök koncentrációja között. Azonban etanol- és vízgőz esetében az integrálok alakja jelentősen eltért egymástól,

ami a D4 görbe vizsgálatával jól látható: míg az etanolgőz koncentrációjának növelésével az integrál értéke nőtt, addig a vízgőznél csökkenő jelet kaptunk. Kevésbé látványos, de ugyancsak karakterisztikus különbség volt felfedezhető a D1 görbe esetében is, ahol a cella atmoszférájánál fellépő intenzitáscsökkenés az etanolgőznél egyenletesebb és hosszabb időt vett igénybe, míg a vízgőznél a változás sokkal gyorsabb volt [6]. Jól látható tehát, hogy az integrálási tartományok megfelelő kiválasztásával a teljes 3D adatsorból (2. ábra) kiválaszthatók azok a tartományok, amelyek a nanoarchitektúrában kiváltott válaszjelük alapján legalkalmasabbak arra, hogy bizonyos, egymástól eltérő kémiai anyagokat megkülönböztessünk egymástól.

## Következtetések

Kutatásunk során boglárkalepkék szárny pikkelyeiben található fotonikus nanoarchitektúrák gáz/gőzérzékelési tulajdonságait vizsgáltuk. Két kísérletsorozat alapján bemutattuk, hogy a kék lepkeszárnyak felhasználásával érzékeny és kémiaiilag szelektív gáz/gőzérzékelő készíthető. Kilenc boglárkalepke-fajnál vizsgáltuk a szárny színének megváltozását különféle gőzök hatására. A megvizsgált fajokat három csoportra lehet osztani: a liláskék, a kék és a zöldeskék árnyalatú csoportra (1. ábra), amelyek jellemző képviselői a *Polyommatus icarus* (liláskék), a *Polyommatus belargus* (kék) és a *Polyommatus damon* (zöldeskék). A liláskék csoport bizonyult a leginkább alkalmasnak a gáz/gőzérzékelésre. A minták hőmérséklete szerinti méréseket is végeztünk, és megállapítottuk, hogy a szobahőmérséklet alá hűtött minták gőzök által kiváltott optikai válaszjele megnő. Azonban meg kell jegyezni, hogy nagy gőzkoncentrációk esetében a nanoarchitektúra cseppfolyósodott gőzzel való telítődése nyomán megváltozik a válaszjel alakja, ezt a kiértékelésben tekintetbe kell venni. Mivel a különböző lepkefajokon más-más optikai válaszjelek mérhetők, ezért megfelelő számú és jellegű szárny minta alkalmazásával – várhatóan – a gőzkeverékek kémiai összetétele is elemezhető lesz.

Természetesen nem zárható ki, hogy különféle, mesterséges nanoarchitektúrák, mint például az aerogélek versenyképeseknek bizonyulnak majd a lepkeszárnyakban előforduló fotonikus nanoarchitektúrák-



# SZÁMÍTUNK RÁD, LÉGY A FIZIKA BARÁTJA!

**Támogasd adód 1%-ával az Eötvös Társulatot!**  
**Adószámunk: 19815644-2-41**

kal, azonban a fent bemutatott biológiai eredetű nanoarchitektúráknak van néhány figyelemreméltó előnye a mesterségesekkel szemben:

- a szárnyaknak fontos szerepük van a lepkék szexuális kommunikációjában, színük – és ezáltal nanoarchitektúrájuk is – generációról generációra igen pontosan reprodukálódik,
- a lepkék tenyésztésével könnyen, környezetkímélő módon és olcsón előállíthatók a szárnyak, ellentétben a mesterséges nanoarchitektúrák gyakran bonyolult, költséges és környezetet károsító gyártásával,
- számos lepkefaj esetén már bizonyított, hogy színük fotonikus nanoarchitektúráknak tulajdonítható, a biológiai evolúció egy gazdag „nanoarchitektúra könyvtárral” látott el minket, amelynek feltárhatjuk a hasznos tulajdonságait.

## Irodalom

1. Bálint Zs., Biró L. P.: A lepkék színeváltozása. *Természet világa* 135/7(2004) 311–313.
2. Piszter G., Kertész K., Vétesy Z., Bálint Zs., Biró L. P.: Color based discrimination of chitin-air nanocomposites in butterfly scales and their role in conspecific recognition. *Anal. Methods* 3 (2010) 78–83.
3. Kertész K., Piszter G., Bálint Zs., Vétesy Z., Biró L. P.: Színek harmóniája: a boglárkalepkék szerkezeti kék színének fajfelismerési szerepe – I. és II. rész. *Fizikai Szemle* 63 (2013) 231–234, 293–298.
4. Bálint Zs., Kertész K., Piszter G., Vétesy Z., Biró L. P.: The well-tuned blues: the role of structural colours as optical signals in species recognition of a local butterfly fauna (Lepidoptera: Lycaenidae: Polyommatainae). *J. R. Soc. Interface* 9 (2012) 1745–1756.
5. Kertész K., Piszter G., Jakab E., Bálint Zs., Vétesy Z., Biró L. P.: Color change of blue butterfly wing scales in an air-vapor ambient. *Applied Surface Science* 281 (2013) 49–53.
6. Kertész K., Piszter G., Jakab E., Bálint Zs., Vétesy Z., Biró L. P.: Selective optical gas sensors using butterfly wing scales nanostructures. *Key Engineering Materials* 543 (2013) 97–100.

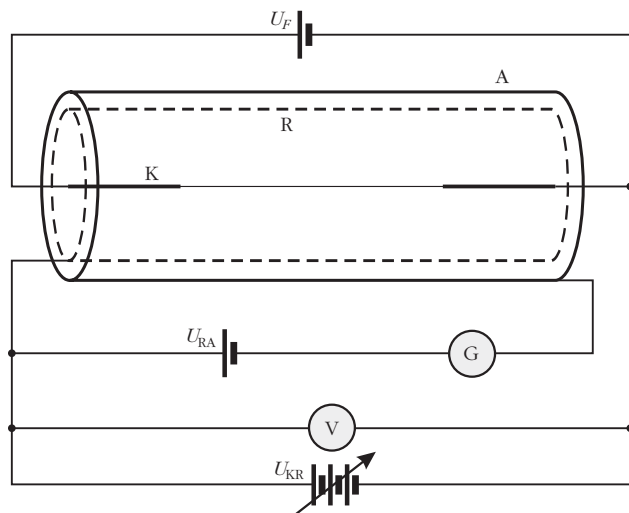
# FRANCK–HERTZ-KÍSÉRLET 100 ÉVE ÉS MA

Donkó Zoltán, Korolov Ihor  
MTA Wigner FK SZFI Komplex Folyadékok Osztály  
Magyar Péter  
ELTE Fizikus Szak

## A Franck–Hertz-kísérlet anno

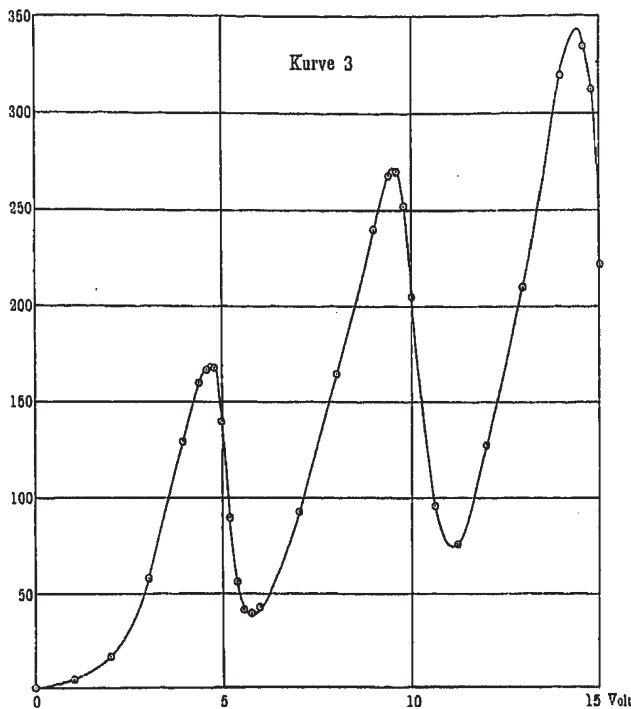
James Franck és Gustav Ludwig Hertz 1914-ben publikálták cikküket [1], amiben a később nevükkel jelzett, az elektronok és atomok kölcsönhatását tanulmányozó kísérletüket és annak értelmezését ismertették. Eredményeik fontos bizonyítékot szolgáltattak a kvantált atomi energiaszintek létezésére – munkájukat 1925-ben fizikai Nobel-díjjal jutalmazták [2]. Mérési

1. ábra. A Franck–Hertz-kísérlet elvi vázlata [1]. Az elektronokat a K jelű,  $U_F$  feszültséggel izzított szál bocsátja ki és az  $U_{KR}$  feszültség gyorsítja. Az elegendően nagy energiájú,  $U_{RA}$  lassítófeszültséget leküzdő elektronok eljuthatnak az A jelű anódra, áramukat a G galvanométer méri.



elrendezésük elvi vázlata az 1. ábrán látható. Kísérleti eszközük hengersizmetrikus elrendezésű volt, egy üveggöpenyben foglalt helyet a három, platinából készült elektróda. Az elektronok mozgását és ütközési folyamatait Hg-gőzben vizsgálták, amelynek nyomását a cellát körülvevő paraffinfürdő hőmérsékletével állították be. A cső tengelyén kifeszített, katódként szolgáló,  $U_F$  feszültséggel izzított vékony szál (K) bocsátotta ki az elektronokat, amelyeket egy hengeralakú rácsla (R) kapcsolt  $U_{KR}$  feszültséggel gyorsítottak. A rácsl és az anód közé egy ellentert ( $U_{RA}$  „lassítófeszültséget”) kapcsoltak. Az ezt leküzdni képes elektronokat a platinafóliából készült hengeres anód gyűjtötte össze, amelyhez érzékeny galvanométert (G) kapcsoltak.

A kísérletek során Franck és Hertz az anódáramot mérték a gyorsítófeszültség függvényében, állandó értéken tartott lassítófeszültség mellett. Az 1914-es cikkükből [1] átvett 2. ábrán jól látható az anódáram periodikus váltakozása a gyorsítófeszültség függvényében. Kis gyorsítófeszültségek mellett az elektronok csak rugalmasan ütköztek a Hg-atomokkal – ezen ütközések során az energiavesztés igen kicsi, az elektronok és a Hg-atomok tömegarányának nagyságrendjébe esik –, így elegendő energiájuk maradt a lassító tér leküzdésére és el tudták érni az anódot. Az  $U_{KR} = 4,9$  V gyorsítófeszültségnél megfigyelhető hirtelen csökkenést a rugalmatlan elektron – Hg-atom ütközések megjelenése, a Hg-atomok gerjesztése okozza. Az ezzel egyidejűleg megjelenő, 4,9 eV energiához tartozó, 253,6 nm hullámhosszú



2. ábra. Franck és Hertz eredeti méréséből és 1914-ben megjelent cikkéből származó karakterisztika [1]: a vízszintes tengelyen a gyorsítófeszültség látható (0 ... 15 V tartományban), a függőleges tengelyen az anódiáram, relatív egységekben.

(rezonáns) fénysugárzást Franck és Hertz a kísérletben ténylegesen megfigyelték.

Az elmúlt évtizedek alatt a Franck–Hertz-kísérlet az egyetemi hallgatói gyakorlatok részévé vált. Az irodalomban, valamint a világhálón fellelhető mérések Hg-gőz mellett más gázokra is. Többen felismerték, hogy a kísérlet pontos elemzéséhez az elektronok mozgásának kinetikus elmélet szerinti leírására van szükség [3, 4], ugyanis a tipikus elrendezésekben az elektrontranszport *nem-egyensúlyi* jellegű [5]. A következőkben ez utóbbi állítást értelmezzük.

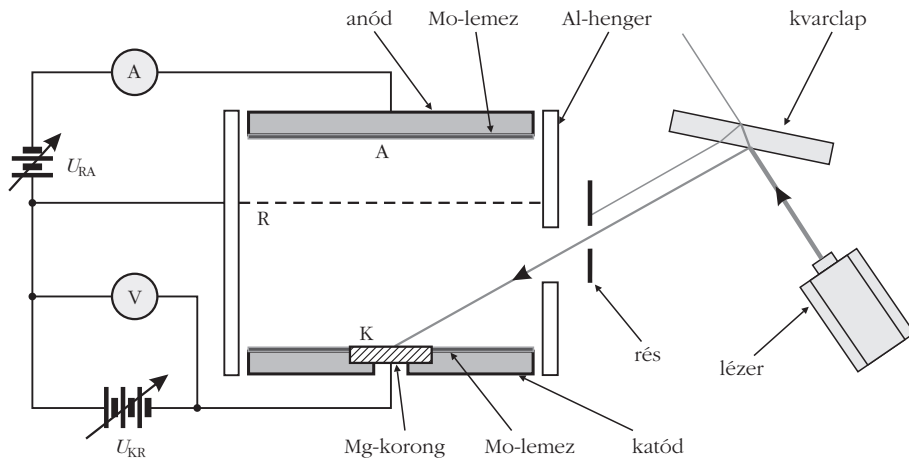
## Periodikus struktúrák a kinetikus elmélet alapján

A kinetikus elmélet központi mennyisége a részecskék  $f(\mathbf{r}, \mathbf{v}, t)$  *sebességeloszlás-függvénye*. A sebességeloszlás-függvény ismeretében meghatározhatók a sokaság makroszkopikus jellemzői (például sűrűség, fluxus) és a részecskék transzportjellemzői (például mozgékonyosság, diffúziós együttható, átlagenergia). Az egyszerűség kedvéért tekintsünk el az időfüggéstől és vizsgáljuk az elektronok mozgását homogén elektromos térben, távol mindenféle határoló felülettől. Ez esetben az elektronok sebességeloszlás-függvényének *alakját* (adott gáz esetén) egyértelműen meghatározza az úgynevezett *redukált elektromos térerősség*, amit az elektromos térerősség és a gáz sűrűségének aránya ( $E/n$ ) definiál. Mivel  $f(\mathbf{r}, \mathbf{v})$  sebességtérbeli integrálja az  $n_e$  elektronsűrűséget adja, így  $f$  helyfüggő lehet a sűrűségváltozás miatt, de  $f(\mathbf{r}, \mathbf{v})/n_e$  és a

transzportjellemzők változatlanok maradnak, a részecsketranszport egyensúlyi jellegű: az elektromos tértől felvett energia és az ütközések során leadott energia – a részecskék sokaságára átlagolva – kiegyenlítik egymást.

Következő lépésként tekintsük a kevésbé ideális, véges térrész esetét! Tegyük fel, hogy egy adott  $E/n$  értékkel jellemzett térrészben  $\mathbf{r} = 0$  helyen elektronokat keltünk, valamely  $f_i(\mathbf{v})$  kezdeti sebességeloszlással. Az elektronok az elektromos tér hatására gyorsulnak és ütköznek a háttérgáz atomjaival. Sodródó mozgásuk során a sebességeloszlásuk a hely függvényében változik és egy  $L_R$  relaxációs hossz befutása után az egyensúlyi eloszlásfüggvényhez konvergál. A relaxációs hossz függ a gáz típusától és  $E/n$  értékétől. Az említett konvergencia lehet monoton vagy oszcilláló jellegű. Korábbi vizsgálatok megmutatták, hogy  $E/n$  értékeire létezik egy „ablak”, ahol az  $f(\mathbf{r}, \mathbf{v})$  függvény kiterjedt térrészben periodikus struktúrát mutat [6]. Ez a viselkedés a következőkkel magyarázható: A gyorsító  $E/n$  tér nagyon kis értékei mellett a rugalmas ütközések (energiacsökkentő) hatása dominál, az elektronok energiája nem éri el a gerjesztési küszöböt. Nagy  $E/n$  értékekre számos gerjesztési, illetve az ionizációs szint is elérhetővé válik az elektronok számára, ami gyors relaxációhoz vezet. Közepes  $E/n$  értékek mellett viszont az elektronok lassan érik el a gáz első gerjesztési szintjének megfelelő energiát és nagy valószínűséggel ezt az állapotot gerjesztik. Ekkor jelentős energiát veszítenek és az „energiagyűjtési” folyamat elől kezdődik. Ilyen körülmények között a relaxációs hossz igen nagy (a gerjesztésre vonatkozó szabad úthossz sokszorosa) lehet. Egy adott kísérleti berendezésben periodikus struktúrák megfigyelésének lehetősége tehát a geometriai méretek és a relaxációs hossz arányától függ. A relaxációs térrészben a tértől felvett energia és az ütközésekben leadott energia aránya és így  $f(\mathbf{r}, \mathbf{v})/n_e$  is helyfüggő: *a részecsketranszport nem-egyensúlyi jellegű*.

Gondolatmenetünk alapján belátható, hogy a Franck–Hertz-kísérlet [1] esetében az elektronok eloszlásfüggvényének relaxációs hossza nagyobb a cella méreténél. Emiatt a vizsgált térrészben a részecskék transzportja nem-egyensúlyi jellegű, és ezért szükséges a kinetikus elméletnek megfelelő leírás. Ez utóbbi két alapvető módszere a *Boltzmann-egyenlet* megoldása, illetve a *részecskeszimulációs* megközelítés. Az „eredeti” Franck–Hertz-kísérlet eddigi legpontosabb leírását egy Boltzmann-egyenletre alapuló számítás adta meg [4], de ez a munka is számos egyszerűsítő feltevést tartalmaz. Ezek közül a leglényegesebb az, hogy a számolás homogén gázsűrűséget feltételez, míg a kísérletben – az izzó katód miatt – nyilvánvalóan egy hőmérséklet-gradiens, illetve ennek következtében inhomogén gázsűrűség-eloszlás jelent meg, helyfüggővé téve többek között az elektronok ütközések közötti szabad úthosszát. Ugyancsak egyszerűsítés az, hogy a számolás a rács jelenlétét egy veszteségi frekvenciával vette figyelembe.



3. ábra. A kísérleti összeállítás vázlatja.

A kis mérendő áramok ( $\sim$ nA) miatt a mérőrendszert körültekintően kellett földelni, a gyorsító- és lassítófeszültségeket – az elektromos hálózattól függetlenül – elemek biztosították. Az anód áramát egy Keithley 427 erősítőre vezettük, ami egy USB-6251 típusú LabView adatgyűjtő kártyához csatlakozott. A mérést vezérlő LabView program [8] ugyancsak ezen a kártyán keresztül állította be a gyorsítófeszültséget.

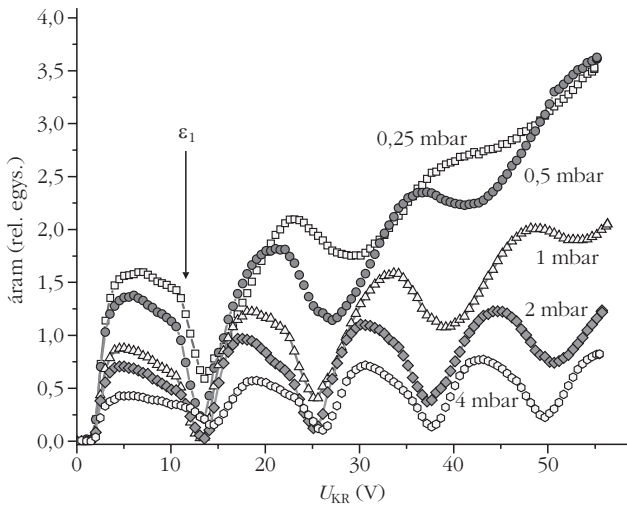
A rács egy Precision Eforming LLC gyártmányú,  $\sim$ 3 vonal/mm sűrűségű, négyzetes,  $17\ \mu\text{m}$  széles „drótokból” álló  $7\ \mu\text{m}$  vastagságú nikkelláló volt,  $T = 90\%$  geometriai transzmisszióval. A rács kiválasztásával kapcsolatban két dolgot kell megjegyeznünk: (1) A „sűrű” rács használata azért szükséges, mert a rács egyik oldalán létrehozott elektromos tér valamilyen mértékig annak másik oldalán is megjelenik a rács közelében, így egy „ritka” rács esetén a rács síkjában az elektromos potenciál jelentősen változhat a hely függvényében (a rácsvonalak közötti közép-pont potenciálja jelentősen eltérhet a rácsvonalak potenciáljától). Egy ilyen potenciálmoduláció a cella elektromos karakterisztikáján elkenheti a struktúrákat. Az általunk választott rács ezt az effektust minimális mértékűvé teszi. (2) Az elektronok mozgásának szimulációiból ismert (például [9]), hogy az alkalmazott kis elektromos tereknél a sebességeloszlás-függvényük közel izotróp és az átlagos energiájuknak megfelelő véletlenszerű sebességük sokkal nagyobb a sodródási sebességüknél. Ennek következtében várható, hogy az elektronok sokszor áthaladnak a rácson, mielőtt elnyelődnének, vagy annak környezetét elhagynák.

## Franck–Hertz-kísérlet ma

A fentiekből látszik, hogy egy modern Franck–Hertz-kísérlet felépítése és kinetikus szintű analízise elősegítheti a jelenségek pontosabb megértését. Ezen cél mellett munkánkkal tisztelettel emlékezni kívánunk James Franck és Gustav Ludwig Hertz professzorokra, fontos eredményeik publikálásának centenáriumára kapcsán.

Az általunk összeállított mérési elrendezés sémáját a 3. ábra mutatja [7]: a cella hengersizmetrikus elrendezésű, a rács két  $61\ \text{mm}$  átmérőjű, korong alakú elektróda között helyezkedik el a katódtól  $x_{\text{KR}} = 14,9\ \text{mm}$  távolságra; a rács és az anód távolsága  $7\ \text{mm}$ . Esetünkben az elektromos tér axiális irányú (legalábbis távol a cella falától, amely rácspotenciálon van), ellentétben Franck és Hertz összeállításával, amiben az elektromos tér radiális irányú volt. A rendszer tervezésénél fontos szempont volt, hogy a kísérletet modellezni is kívánjuk. Az eredeti Franck–Hertz-kísérletben alkalmazott izzókatód alternatívájaként ezért fotoelektromos effektuson alapuló elektronforrást használtunk a gázfűtés elkerülésére. Ez nagyban segíti a rendszer numerikus leírását, ugyanis feltételezhetjük, hogy a gázsűrűség homogén marad. A fotoelektronok keltéséhez egy MPL-F-266 nm-3 mW típusú frekvencianégyszerezett Nd:YAG lézert használtunk. Ennek  $266\ \text{nm}$  hullámhosszú,  $6\ \text{ns}$  hosszú,  $1,5\ \mu\text{J}$  energiájú,  $2\ \text{kHz}$  ismétlődési frekvenciájú impulzusait a cella katódjába süllyesztett,  $15\ \text{mm}$  átmérőjű Mg-korongra irányítottuk. Az anyag választását a nagy fotoelektromos hatásfok indokolta. A katód felületének többi részét és az anód felületét alacsony fotoelektromos hatásfokú Mo-lemezzel borítottuk be, az ezen felületekből (a katódról szóródó fény hatására) kilépő, nemkívánatos fotoáram minimalizálására. A cella egy rozsdamentes acél vákuumkamrában helyezkedett el. A mérések előtt a kamrát egy turbomolekuláris szivattyú segítségével  $p < 10^{-7}$  mbar nyomáson  $100\ \text{°C}$  hőmérsékleten fűtöttük ki. A mérések alatt lassú, szabályozott gázáramot használtunk, a  $6.0$  tisztaságú Ar-gázt a vákuumkamrába lépés előtt egy folyékony nitrogént tartalmazó csapdán vezettük át.

A cella karakterisztikáit öt különböző nyomáson vettük fel a  $p = 0,25\text{--}4$  mbar tartományban. Az  $U_{\text{KR}}$  gyorsítófeszültséget  $0$  és  $55\ \text{V}$  között változtattuk  $0,5\ \text{V}$ -os lépésekkel, állandó értéken tartott  $U_{\text{RA}} = -3,05\ \text{V}$  lassítófeszültség mellett. Minden mérési ponthoz  $80\ 000$  lézerimpulzust használtunk. A mért  $I_A(U_{\text{KR}})$  karakterisztikák a 4. ábrán láthatók. A legnagyobb nyomáson az anódáram jelentős modulációt mutat a gyorsítófeszültség függvényében. Ez azzal magyarázható, hogy a gerjesztések az Ar-atomok néhány alacsonyabb szintjére történnek, és következésképpen az elektronok energiaspektruma lassan szélesedik ki. Kisebb nyomások felé haladva a modulációs mélység csökken, ezen paraméterek mellett feltételezhetjük, hogy az energiaeloszlás gyorsabban szélesedik. A legkisebb nyomáson a moduláció tovább csökken és a karakterisztika jelentős pozitív meredekséget mutat, amit az ionizációs ütközések előtérbe kerülése magyaráz. A megfigyelt karakterisztikák természetesen csak egy olyan rendszerben állhatnak elő, ahol a ru-



4. ábra. A fotoelektromos Franck–Hertz-cella mért elektromos karakterisztikái Ar-gázban, különböző nyomások esetén.  $\epsilon_1$  az Ar-atomok első gerjesztett állapotának energiája, 11,55 eV.

galmatlan energiavesztés kvantált – mint ezt az eredeti Franck–Hertz-kísérlet már egyértelműen bizonyította.

A fenti magyarázatokat egzakt módon az elektronok mozgásának és ütközési folyamatainak szimulációjával erősíthetjük meg.

## A fotoelektromos Franck–Hertz-kísérlet kinetikus szimulációja

Mint azt már korábban említettük, a karakterisztikákban a periodikus jelleg azért jelenik meg, mert (i) az elektronok kezdeti – katódból történő kilépés utáni – sebességeloszlás-függvénye nem egyezik meg az adott redukált elektromos térerősséghez tartozó egyensúlyi sebességeloszlás-függvénnyel és (ii) az eloszlásfüggvény relaxációs hossza nagyobb a cella méreteinél. Az elektronok mozgásának leírására a Monte-Carlo-típusú részecskeszimulációs megközelítést alkalmazzuk. A módszer lényege, hogy az elektronok trajektóriáit két ütközés között a klasszikus mozgásegyenlet ( $\Delta t$  időlépésű) numerikus integrálásával követjük a hengersizmetrikusnak tekinthető  $U(x, r)$  elektrosztatikus potenciál jelenlétében, ahol  $x$  a katódtól mért távolság és  $r$  a sugárirányú koordináta. Az elektronokat 3-dimenziós valós térben és 3-dimenziós sebességtérben követjük. A pálya integrálása során minden időlépésben meghatározzuk az adott elektron pillanatnyi energiájától (sebességétől) függő ütközési valószínűséget (például [9]):

$$P_{\text{ütk.}} = 1 - \exp[-n \sigma_r(\epsilon) \Delta s].$$

Itt  $\sigma_r(\epsilon)$  az összes ütközési folyamatot figyelembe vevő teljes hatáskeresztmetszet,  $\Delta s$  a  $\Delta t$  időlépés alatt megtett út,  $n$  a háttérgáz sűrűsége. A szimuláció során csak az elektronok és az alapállapotú Ar-atomok kölcsönhatását (ütközéseit) vesszük figyelembe: ezek a rugalmas szórás, gerjesztés 25 különböző állapotba,

illetve az ionizáció (összesen 27 lehetséges folyamat), a [10] szerinti hatáskeresztmetszetekkel. Az ütközés bekövetkeztéről egy véletlenszám és a fent megadott ütközési valószínűség összehasonlításával döntünk: ehhez egy, a számítógép által előállított  $R_{01}$  véletlenszámot használunk, ami a  $[0,1)$  intervallumon egyenletes eloszlással rendelkezik. Ütközés  $R_{01} < P_{\text{ütk.}}$  esetén következik be.

Amennyiben egy időlépés után bekövetkezik egy ütközés, egy további véletlenszám segítségével választjuk ki a ténylegesen lejátszódó ütközés típusát. Ehhez a  $[0,1)$  intervallumot  $\sigma_k(\epsilon)/\sigma_r(\epsilon)$  szélességű szeletekre osztjuk ( $k = 1 \dots 27$ , az egyes különböző ütközési folyamatoknak felel meg, továbbá  $\epsilon$  az elektron energiája az ütközés időpontjában). A ténylegesen bekövetkező ütközés típusát az adja meg, hogy egy újonnan generált  $R_{01}$  véletlenszám melyik szeletbe esik. Ez az algoritmus azt valószínűsíti meg, hogy a hatáskeresztmetszetek relatív értékének megfelelő valószínűséggel következnek be a lehetséges folyamatok.

Ezután, az ütközés „lejátszásánál” meg kell változtatni az elektron energiáját és haladási irányát. A rugalmatlan ütközési folyamatokban az elektron energiája az adott szinthez tartozó gerjesztési, illetve ionizációs energiával csökken. Az ütközésre jellemző (0 és  $\pi$  közötti)  $\chi$  szórási és (0 és  $2\pi$  közötti)  $\varphi$  azimut szögeket, amelyekkel az elektron trajektóriája eltérül, az alábbi módon határozzuk meg: A szórási szög kiszámítása az adott ütközési folyamat  $\sigma(\epsilon, \chi)$  differenciális hatáskeresztmetszetéből történik, az alábbi egyenlet  $\chi$ -re történő megoldásával (egy újabb  $R_{01}$  véletlenszám mellett):

$$\frac{2\pi}{\sigma(\epsilon)} \int_0^\chi \sigma(\epsilon, \chi) \sin\chi \, d\chi = R_{01},$$

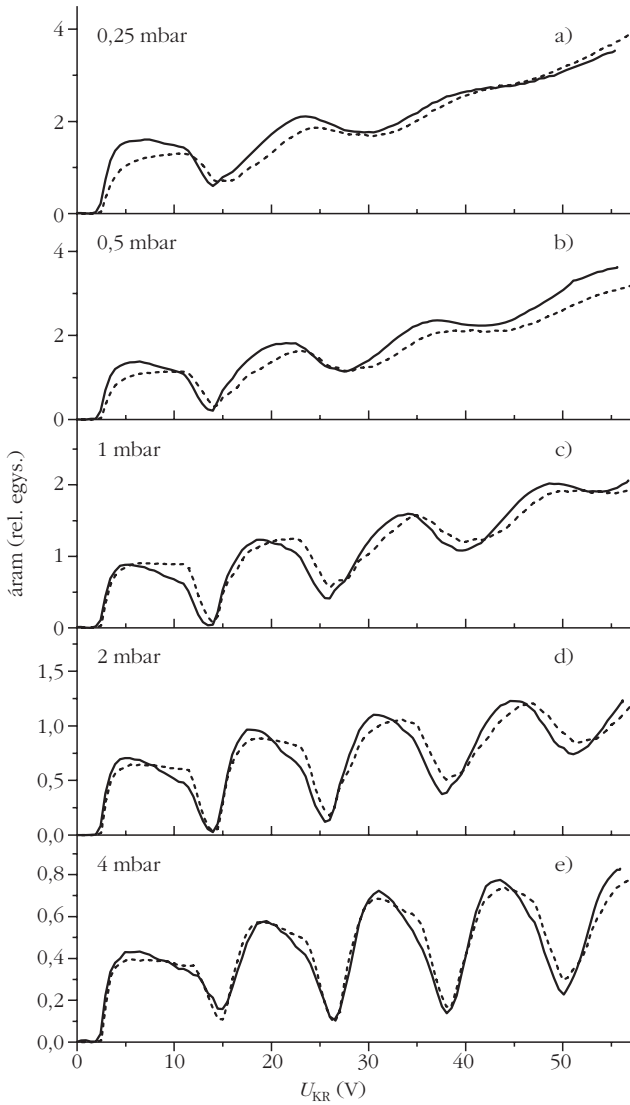
$$\text{ahol } \sigma(\epsilon) = 2\pi \int_0^\pi \sigma(\epsilon, \chi) \sin\chi \, d\chi.$$

A  $\varphi$  azimutszög megválasztása a szimmetria miatt (egy további  $R_{01}$  véletlenszám segítségével):

$$\varphi = 2\pi R_{01}.$$

A szimuláció során a katódból kilépő elektronokat addig követjük, amíg el nem érik valamelyik felületet (amely lehet a katód, a rács, a cella fala és az anód). A felületeken az elektronok még visszaverődhetnek, ilyenkor követésük tovább folytatódik. A rács esetében a geometriai transzmisszióknak megfelelő valószínűséggel jutnak át az elektronok a „túlso” oldalra. A rács síkját ekvipotenciális felületnek tekintjük (azaz nem oldjuk fel a rács finom struktúráját). Az ionizációs ütközések során keletkező újabb elektronok pályáját hasonlóan követjük.

A szimulációt minden nyomásérték mellett  $10^5$  fotoelektronra futtattuk le, a gyorsítófeszültség  $U_{\text{KR}} = 0 \dots 55$  V tartományára, 0,5 V lépésekkel. A lassítófeszültség értékére, a kísérletnek megfelelően,  $U_{\text{RA}} = -3,05$  V-ot vettünk. Az anóddáramot az anódot elért elektro-



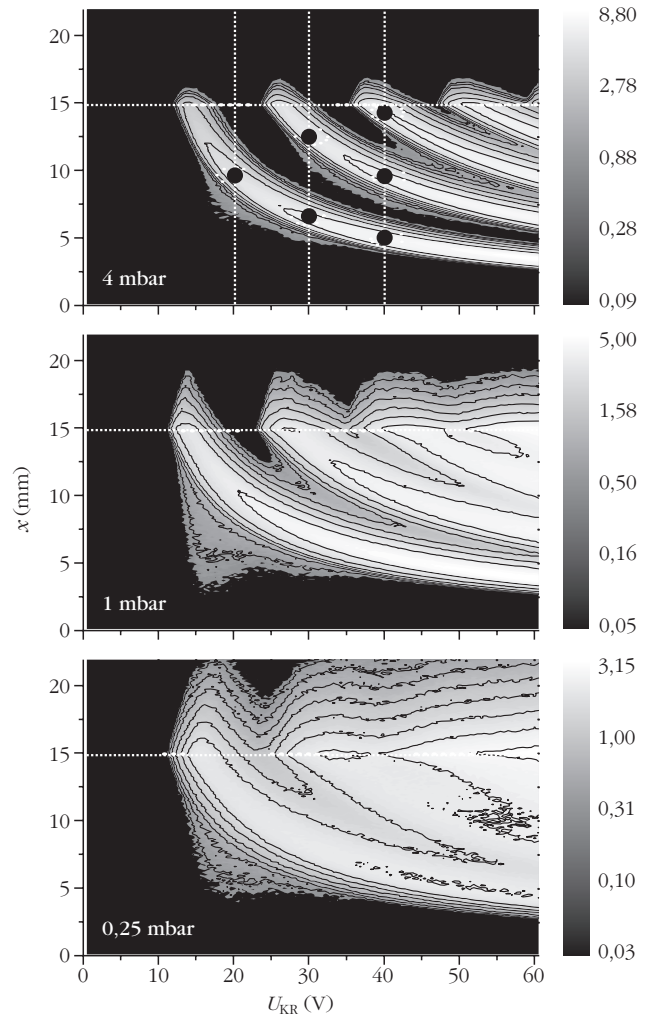
5. ábra. A mért és számolt elektromos karakterisztikák összehasonlítása a különböző nyomásokra. A folytonos vonalak a mért adatok, a szaggatott vonalak a szimulációs eredmények.

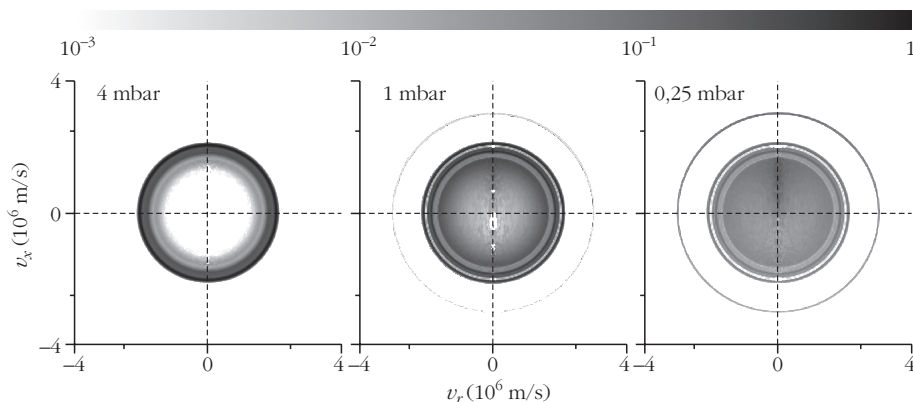
nok számával mérjük, relatív egységekben. Mivel a mérés is relatív egységekben adta meg az anódaáramot, ezért a számolt és mért áramokat egy skálázási faktossal kellett módosítani az összehasonlíthatóság érdekében. Fontos megjegyezni, hogy az összes különböző nyomás esetén ugyanazt a skálázási tényezőt használtuk. A mérési és számolási eredmények 5. ábrán látható összehasonlítása igen jó egyezést mutat, ami bizonyítja, hogy modellünk tartalmazza a jelenségek fontos részleteit.

A mért és számolt elektromos karakterisztikák jó egyezése alapján a szimulációk többi (közvetlenül nem mérhető) eredményét is hitelesnek feltételezzük, a továbbiakban ezek közül mutatunk be néhányat. Elsőként a gerjesztési folyamatok  $S(U_{KR}, x)$  előfordulási gyakoriságának térbeli eloszlását szemléltetjük a 6. ábrán a gyorsítófeszültség függvényében, különböző nyomások mellett ( $x$  a katódtól mért távolság). A legnagyobb nyomáson,  $p = 4$  mbar esetén, a gerjesztések pozíciói hiperbolákat rajzolnak ki, ugyanis például az

első gerjesztés helyére  $x_1 = U_1/E$ , ahol  $U_1$  az Ar-atomok első gerjesztett állapotának megfelelő potenciálérték,  $E = U_{KR}/x_R$ , vagyis  $U_{KR}x_1 = U_1x_R = \text{állandó}$ . Az ábrán körök jelölik azon pozíciókat, ahol az  $U_{KR} = 20$  V, 30 V és 40 V-hoz tartozó gerjesztés maximális. A nyomás csökkenésével  $S(U_{KR}, x)$  struktúrája egyre inkább elmosódik, a már korábban (akkor még csak feltételezésként) említett effektus, az egyre szélesedő elektronenergia-spektrum miatt. Az elektronok  $f(v)$  sebességeloszlás-függvényeinek analízise közvetlen bizonyítékot ad erre a viselkedésre. Az  $f(v)$  függvényeket a 7. ábrán mutatjuk be  $U_{KR} = 40$  V és  $x = 8,2$  mm értékekre,  $p = 4$  mbar és 0,25 mbar nyomásokra. Az ábra függőleges tengelyén a  $v_x$  tengelyirányú (a cellában függőleges) sebesség szerepel, a vízszintes tengelyen pedig a  $v_r$  radiális sebesség. (A cella véges radiális kiterjedése miatt a sebességeloszlás-függvényekhez az adatokat csak a belső,  $r \leq 7$  mm tartományából gyűjtöttük.)  $p = 4$  mbar esetén az ábrán egy gyűrűt látunk, ami a sebességterben egy véges vastagságú gömbhéjnak felel meg.

6. ábra. A gerjesztési folyamatok térbeli eloszlása a gyorsítófeszültség függvényében. A 4 mbar nyomáshoz tartozó ábrán (fekete körrel jelölve) feltüntettük az  $U_{KR} = 20$  V, 30 V és 40 V esetén azon pozíciókat, ahol a gerjesztés maximális. A vízszintes pontozott vonal a rác  $x_{KR} = 14,9$  mm pozícióját jelöli. A szürkességi skála a gerjesztési folyamatok relatív gyakoriságát fejezi ki.





7. ábra. Az elektronok  $f(v)$  sebességeloszlás-függvényei  $U_{kr} = 40$  V és  $x = 8,2$  mm mellett,  $p = 4$  mbar, 1 mbar és 0,25 mbar nyomásokra. A szürke skála  $f(v)$  értékét relatív egységekben adja meg.

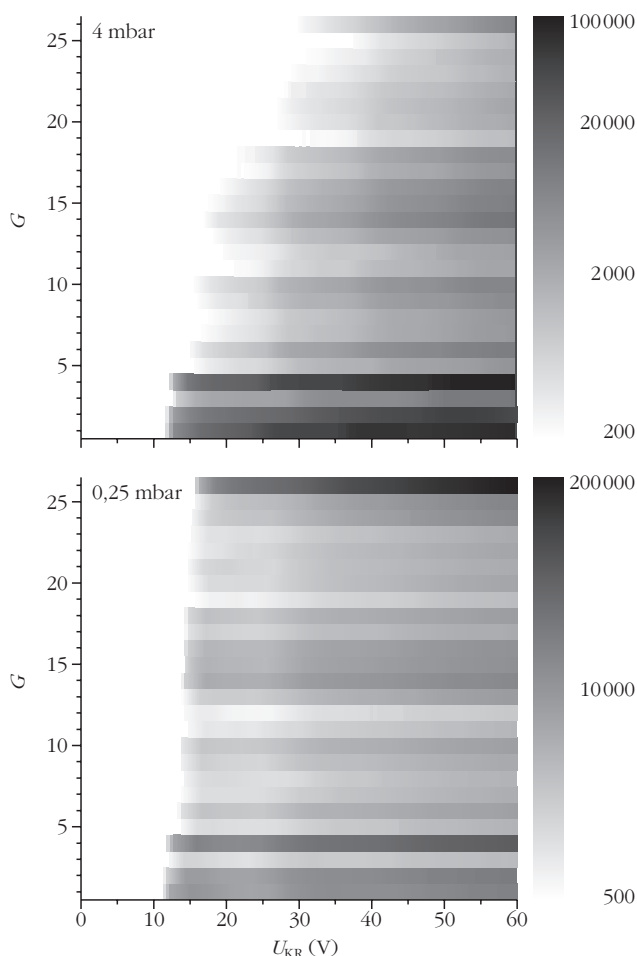
energia-spektrum (sebességeloszlás-függvény) meredeken emelkedő elektromos karakterisztikához és elmosódó modulációhoz vezet. Az elektronok mozgása kinetikus elméletnek megfelelő, részecskealapú szimulációjával jó egyezést kaptunk a mért elektromos karakterisztikákkal, és követni, illetve magyarázni tudtuk a közvetlenül nem mérhető jellemzők jellegzetes változásait a nyomás függvényében. A nagyobb nyomások esetén kapott karakterisztikák

Ez a struktúra egy viszonylag keskeny sebességeloszlást jelez. Látható, hogy kisebb nyomások felé haladva a sebességeloszlás-függvény egyre inkább betöltött gömb alakját veszi fel. Érdekes megfigyelni ugyanakkor egy nagyon vékony gömbhéj megjelenését is, amely azon leggyorsabb elektronoknak felel meg, amelyek az adott pozícióig rugalmatlan ütközés nélkül jutottak el. Ennek lehetősége a kisebb gázsűrűségek esetén – a nagyobb ütközési szabad úthossz miatt – nagyobb, ezért  $p = 0,25$  mbar esetén a legszembevetőbb a sebességeloszlás-függvény ezen része. A nyomás mindhárom értékére igaz, hogy az eloszlások közel *izotropok*, csak kis mértékben tolódnak el a pozitív  $v_x$  sebesség irányába, ami az elektronok sodródási sebességének felel meg. Ez utóbbi láthatóan sokkal kisebb, mint a véletlen irányú átlagsebesség.

A 8. ábra az egyes rugalmatlan ütközési folyamatok gyakoriságát szemlélteti az  $U_{kr}$  gyorsítófeszültség függvényében. Mint említettük, a szimulációban az Ar-atomok 25 különböző energiaszintjére történhetnek gerjesztések, ezeket a  $G = 1 \dots 25$  értékek azonosítják.  $G = 26$  az ionizációs folyamatnak felel meg,  $p = 4$  mbar nyomáson a rugalmatlan ütközések többsége a  $G \leq 4$  szintekre történő gerjesztés, az ionizáció valószínűségű.  $p = 0,25$  mbar mellett számos energiaszintre gerjesztődnek az Ar-atomok és az ionizáció válik domináns folyamatá. Ezek az adatok bizonyítják korábbi feltételezéseinket, miszerint az elektromos karakterisztikák periodikus jellege a kisebb nyomások irányába azért csökken, mert az elektronok sebességeloszlás-függvénye fokozatosan kiszélesedik.

– a gázok különbözősége ellenére – a működési tartomány és a gerjesztési mechanizmusok hasonlóságának köszönhetően kvalitatíven jól egyeztek a Franck és Hertz méréseiben kapottakkal: az első gerjesztett állapot energiájával szorosan összefüggő, periodikus modulációt mutatott a cella árama.

8. ábra. Az egyes rugalmatlan ütközési folyamatok relatív gyakorisága az  $U_{kr}$  gyorsítófeszültség függvényében, 4 mbar és 0,25 mbar esetén.  $G = 1 \dots 25$  az Ar-atomok egyes (energia szerint növekvő) energiaszintjeire történő gerjesztésnek felel meg,  $G = 26$  az ionizációs ütközést azonosítja. A szürke skála relatív egységekben adott.



## Összefoglalás

A felépített modern, fotoemisszióra alapuló kísérleti berendezéssel széles nyomástartományban meghatároztuk az elektromos Franck–Hertz-karakterisztikákat Ar-gázra. A kísérleti beállítások az erős periodicitású karakterisztikák tartományától, ahol a rugalmatlan ütközésekben az elektronok nagy többsége az Ar-atomok első néhány, alacsonyan fekvő szintjét gerjeszti, az ionizáció által dominált tartományig terjedtek, ahol a hely függvényében gyorsan kiszélesedő elektron-



## Köszönetnyilvánítás

A kísérleti berendezés kialakításához adott ötleteikért köszönet illeti csoportunk (Gázkisülésszfizikai Kutatócsoport) tagjait, valamint *Hartmann Pétert* a szimulációs program fejlesztéséhez nyújtott segítségért és *Derzsi Arankát* a kézirat gondos áttanulmányozásáért.

## Irodalom

1. Franck J., Hertz G. L.: Über Zusammenstöße zwischen Elektronen und Molekülen des Quecksilberdampfes und die Ionisierungsspannung desselben. *Verhandlungen der Deutschen physikalischen Gesellschaft* 16 (1914) 457–467.
2. [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prize/physics/laureates/1925](http://www.nobelprize.org/nobel_prize/physics/laureates/1925)
3. Robson R. E., Li B., White R. D.: Spatially periodic structures in electrons swarms and the Franck–Hertz experiment. *J. of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics* 33 (2000) 507–520.
4. Sigeneer F., Winkler R., Robson R. E.: What really happens with the electron gas in the famous Franck–Hertz experiment? *Contribution to Plasma Physics* 43 (2003) 178–197.
5. Pitchford L. C., Boeuf J.-P., Segur P., Marode E.: Non-equilibrium electron transport: a brief overview. In *Non-equilibrium effects in ion and electron transport*. Edited by Gallagher J. W., Hudson D. F., Kunhardt E. E., Van Brunst R. J., Plenum Press, New York and London, 1990.
6. Nicoletopoulos P., Robson R. E.: Periodic electron structures in gases: A fluid model of the „Window” phenomenon. *Physical Review Letters* 100 (2008) 124502.
7. Magyar P., Korolov I., Donkó Z.: Photoelectric Franck–Hertz experiment and its kinetic analysis by Monte Carlo simulation. *Physical Review E* 85 (2012) 024001.
8. <http://sine.ni.com/np/app/main/p/docid/nav-104/lang/hu>
9. Donkó Z.: Particle simulation methods for studies of low-pressure plasma sources. *Plasma Sources Science and Technology* 20 (2011) 024001.
10. Hayashi M.: Recommended values of transport cross sections for elastic collision and total collision cross section for electrons in atomic and molecular gases. *Report of the Institute of Plasma Physics, Nagoya University Report IPPJ-AM-19* (1981) 67.

## A FIZIKA TANÍTÁSA

# GYAKORLATIAS FIZIKA

avagy: „A nagy teljesítmény titka: gyorsan és sokat.”

Gróf Andrea

Karinthy Frigyes Gimnázium, Budapest

„... sokan általánosságban elismerik ugyan tudományos tanításának szükségességét, de sokallják az időt, melyet a fiatalság reáfordít. Arra hivatkoznak, hogy a XIX. század életere hevesebben lüktet, mint a középkoré, hogy ma nemcsak testünk, hanem szellemünk is gyorsabban mozog bármely irányban, s a kor követelményeként hirdetik azt a tételöket, hogy erre az életre, amely oly gyorsan és nyomatékosan leckéztet, gyorsabban is kell elkészülnünk.”

*Eötvös Loránd* [1]

„Nincsen alkalmazott tudomány. Csak a tudomány alkalmazása.”

*Louis Pasteur*

A fenti idézetekből is kiviláglik, hogy a gyakorlatiaság, az azonnal aprópénzre váltható tanulmányok ígérete mindig is csábító erővel bírt. Ma is gyakran halljuk, hogy X felsőoktatási intézményben túlságosan elméleti a képzés, jelentkezzünk ezért inkább Y-ba, mert ott csak a hasznos dolgokat tanítják, és korunk kihívásai ezt kívánják tőlünk.

A legújabb (2012-es) *Nemzeti Alaptanterv* (NAT) fizika fejezete [2] új közműveltségi tartalmakkal gazdagodott. A tudomány társadalmi jellegének (túl?)

hangsúlyozása mellett megnövekedett a modern technikai, illetve a más tudományágakkal átfedő alkalmazások szerepe. Az új elemek jelentős része fűződik olyan jelenségekhez, amelyek hagyományosan és ma is megtalálhatók a földrajz tantárgy ismeretanyagában. Ilyenek például a különféle időjárás elemekkel, illetve a társadalom és a környezet viszonyából adódó globális kihívásokkal kapcsolatos tartalmak.

Mivel azonban a rendelkezésre álló idő nem növekedett, a földrajz felől megközelítve is felvethető a kérdés: Tanítványaink javára fordítjuk-e a kibővült tartalmat, vagy csak kitűzzük a kalapunk mellé, hadd irigykedjenek a földrajzos kollégák? Mennyiben tudunk és akarunk a diákoknak e téren többet nyújtani, mint a földrajzóra?

## Mit nyújt a földrajzóra?

A természetföldrajzot (angolul nem véletlenül „physical geography”), a középiskolások kilencedikben tanulják, így túlnyomórészt a fizika tantárgyat megelőzve tárgyalja a földrajzi jelenségeket. Nem is tehet mást, hiszen a tantárgy felépítése saját hagyományos belső logikáját követi, nem a fizikáét. Így sok fizikai jelenséggel a diák földrajzórán találkozik először. A földrajzi jelenségek hátterében levő fizikai folyamatokat azonban a középiskolai földrajzkönyvek felülete-

A címbeli idézet: Fizika kerettanterv, A változat: [http://kerettanterv.ofi.hu/3/\\_melleklet\9-12/index\4\gimn.html](http://kerettanterv.ofi.hu/3/_melleklet\9-12/index\4\gimn.html), 5. oldal

sen tárgyalják. A fogalmak nem világosak, a magyarázatok túl tömörek és gyakran hibásak. A mélyebb megértéshez nélkülözhetetlen kvantitatív megfontolások a földrajztananyagban szinte egyáltalán nem szerepelnek. Így a tanulók természetföldrajzi ismereteik jelentős részét valójában nem értik.

Az alábbiakban ezeket az állításokat igyekszem példákkal alátámasztani, és levonni a fizika tantárgyat is érintő tanulságokat.

A földrajzzal vont párhuzam azért szolgálhat tanulságokkal, mert a címben is idézett, központilag kiadott *fizika kerettanterv A változatának* [3] témakörei sem a fizikai ismeretek hagyományos egymásra épülésének sorrendjében követik egymást, hanem – a gyakorlatiasság szellemében – életünk különféle területei köré csoportosítva. Sőt, a természettudományok iránti érdeklődés fokozásának reményében a tanterv az egyes témakörök tárgyalását sem az alapfogalmakkal és alaptörvényekkel kezdi, hanem „mindenki számára fontos témákkal, gyakorlati tapasztalatokkal, praktikus, hasznos ismeretekkel”, hogy bemutassa: a fizika ismerete gyakorlati előnyökkel jár. A heti kétórás órakerethez viszonyítva az alkalmazások olyan lehangoló mennyiségben sorjáznak, hogy ebbe szinte bele van kódolva a felületesség.

## A pontos fogalmak hiánya

A pontos fogalmak megalkotásának és következetes használatának igénye a természettudományos gondolkodáshoz elengedhetetlen, de nem fejlődik ki automatikusan. Két tipikus példa a fizikatanári praxisomból:

Dolgozatfeladatban az erő és a gyorsulás fogalmának felhasználásával kellett tömören megmagyarázni, miként menthet életet az autóban a légszák. Az egyik válasz szerint a légszák „felfogja (abszorbeálja) az erőt”. Mivel „tudományos” szavakkal megfogalmazta, mi történik, a válaszoló úgy érezhette, ezzel meg is magyarázta a jelenséget. Más alkalommal közös természettudományos projektjük témájául a gyerekek a csontok vizsgálatát választották, és csirkehúsból kioperált csontokkal kísérleteztek. Arra a kérdésre, hogy mit fog vizsgálni, az egyik tanuló annyit felelt, megméri, hogyan változik a csont hajlékonysága, ha ecetben áztatja. Nehezen értette

meg, hogy válasza értelmezhetetlen mindaddig, míg meg nem mondja, milyen fizikai mennyiséggel jellemzi a „hajlékonyságot”.

A földrajz sem segít abban, hogy pontos fogalmakra neveljük tanítványainkat. Ezt példázza az *1.a ábra* feladata, amely egy földrajzérettségire felkészítő feladatgyűjteményből [4] való. Először meg kell mondani, milyen mennyiségek változását ábrázolják az A és B görbék, ezután be kell jelölni, hogy mikor a legmagasabb, illetve legalacsonyabb a hőmérséklet, és be kell jelölni a grafikon azon részét, ahol a sugárzási egyenleg negatív.

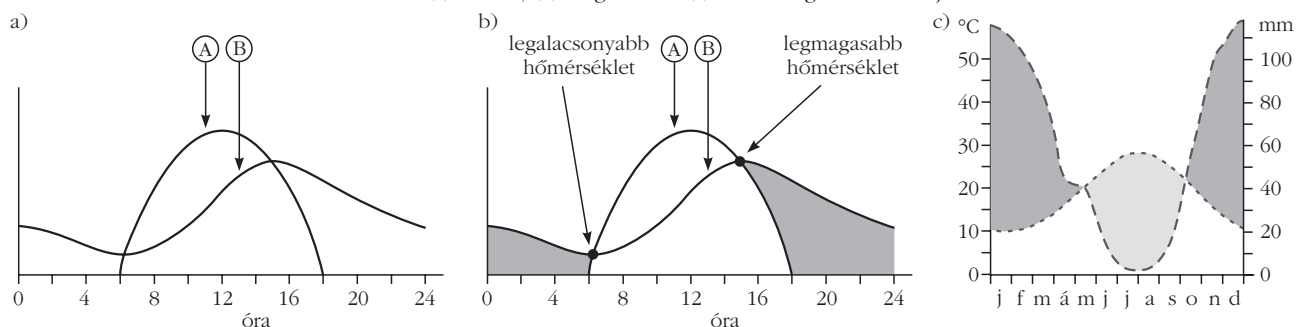
A hivatalos válasz (*1.b ábra*) magyarázata szerint A „a Nap járása (a besugárzás változása)”, B pedig „a hőmérséklet változása”. Ezen értelmezés alapján dimenzionálisan különböző mennyiségek egyenlősége jelöli ki a kérdéses pontokat. Ráadásul a metszéspontok éppen az egyik mennyiség szélsőértékeinek felelnek meg. Ha azonban például a hőmérsékleti grafikon – a skálaegységet megváltoztatva – függőlegesen megnyújtjuk, a metszéspontok már nem a szélsőértékeknek lesznek, sőt el is tűnhetnek. (A mértékegységek összehangolása még akkor is bonyolult feladat lenne, ha a tanulók ismernék a test hőmérséklete és a kisugárzott teljesítménysűrűség közötti kvantitatív összefüggést.)

Tegyük hozzá, hogy az ábra megtalálható több középiskolai földrajzönyvben, és ott a B görbe megjelölése kisugárzás, nem pedig hőmérséklet. Csak hogy a be- és kisugárzásnak megfelelő fizikai mennyiséget (annak dimenzióját) már nem említik. E feladat alapján a besugárzást hőmérsékletként kellene elképzelnünk (vagy talán szöggként, hiszen a Nap járásán rendszerint a napsugarak felszínhez viszonyított hajlásszögét értik).

A fenti következetlenség nem egyedülálló: gyakran találkozunk például a 2011. májusi emelt szintű érettségi 7.d feladatához tartozó *1.c ábrához* hasonlókkal, ahol a csapadékgörbe és a hőmérsékleti görbe jelölik ki közösen a sátrózott tartományt. Itt még a két skála is fel van tüntetve, a metszéspontban tehát leolvashatjuk, hogy  $20\text{ }^{\circ}\text{C} = 40\text{ mm}$ .

A földrajzi jelenségeket illetően is a fizikaóra hátrul tehát a feladat: ki kell alakítanunk a pontos fogalmak használatának igényét. Ezért fontos, hogy fizikaórán mindenképpen már a fogalmak és a törvények alapos ismeretében történjen a földrajzból hallottak

1. ábra. (a) feladat, (b) megoldás és (c) az érettségi feladat ábrája.



felidézése, hogy eloszlathassuk a tévedéseket, elmélyíthessük az ismereteket. Ha már fizikaórán is elfogadottá és természetessé válik, hogy nem tudjuk, mi az, amiről beszélünk, hogyan legyen tanítványainknak bármi kifogása például a kézrátétellel átadott vagy tévéképernyőn át sugárzott „bioenergiával” kapcsolatban?

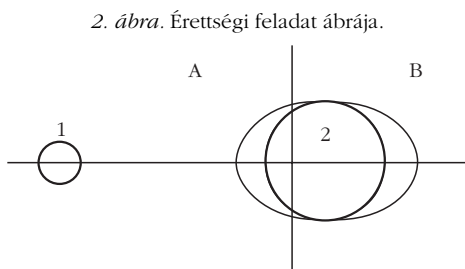
A fenti fogalmakat azonban az A változatú kerettanterv szerint haladó diák számára a fizikaóra sem világítja meg. A hagyományosan a hőtani ismeretek között tárgyalt elemek például nyolc tematikai egységben szétszórva jelennek meg, sorrendjük pedig megkérdőjelezi a pontos fogalomalkotás lehetőségét. A fejlesztési követelmények között már az elején szerepel ugyan „a hő fogalmának megértése, a hő és hőmérséklet fogalmának elkülönítése” de a hőmérséklet-fogalomhoz vezető útra nem derül fény. A hőtágulás jelensége csak érintőlegesen jelenik meg a nyolc tematikai egység közül a hatodikban (*Vízkönyvetünk fizikája*) a víz anomális viselkedése kapcsán. Az ideális gáz fogalma és a gáztörvények pedig, amelyek hagyományosan elvezetnek az abszolút hőmérséklethez, teljesen hiányoznak. (Az abszolút hőmérsékletről nem is esik szó.) Ha már a hőmérséklet sem világos, a többi fogalom szinte reménytelen.

## A törvények értő ismeretének hiánya

A fogalmak mellett a földrajzi jelenségek háttérben levő pontos fizikai törvények is homályban maradnak. Hat különböző, forgalomban levő középiskolai földrajzkönyvet tanulmányozva arra a meggyőződésre jutottam, hogy néha azért, mert a szerzők maguk sem értik a fizikai törvényeket, amelyekre hivatkoznak, és nincsenek tisztában a törvények érvényességi körével sem. Ennek tanulságos példája az árapály-jelenség tárgyalása:

A 2. ábra a 2006. májusi emelt szintű földrajzérettségi 2.b kérdéséhez tartozott: Az 1 és 2 égitestek megnevezése után azt kellett megmondani, mi okozza a jelenséget az „A”, illetve a „B” betűvel jelölt oldalon.

A hivatalos válasz szerint a Hold felőli dagálypúp oka a Hold tömegvonzása, míg a túloldali púpért a Föld–Hold-rendszer közös tömegközéppontja körüli keringés miatt fellépő centrifugális erő/tehetetlenségi erő a felelős. Kivételesen mindegyik földrajzkönyvben is ugyanez a hibás magyarázat szerepel, amely szerint a két dagálypúp két különböző okra vezethető vissza.



E magyarázat egyik hibája, hogy a vonzás tényére hivatkozik a vonzás távolsággal való csökkenése helyett. Dicséret illeti tehát azt a földrajzos kollégát, aki – érezvén, hogy itt valami nincs rendben – arra kért, magyarázzam el neki, miért nem tapasztal árapályt a levesestányérjában.

A másik hiba a centrifugális erőre való hivatkozás. A tantárgyak között láthatóan hiányzik az összhang, hiszen míg a földrajzban „Földhöz ragadtságukban” fel sem vetik a vonatkoztatási rendszer problémáját, magától értetődőnek veszik, hogy van centrifugális és Coriolis-erő, és ezekre az érettségin is rákérdeznek, addig a régi és új fizikatantervek – feltehetően a szűk időkeret miatt és a diákok összezavarását elkerülendő – nem is említik a tehetetlenségi erőket, noha a vonatkoztatási rendszer fontosságát általában hangsúlyozzák.

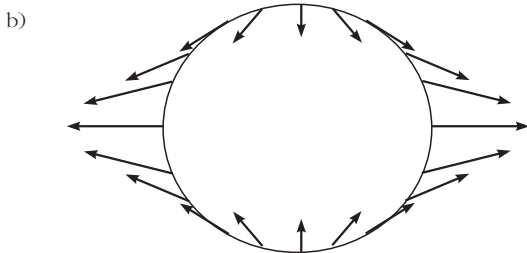
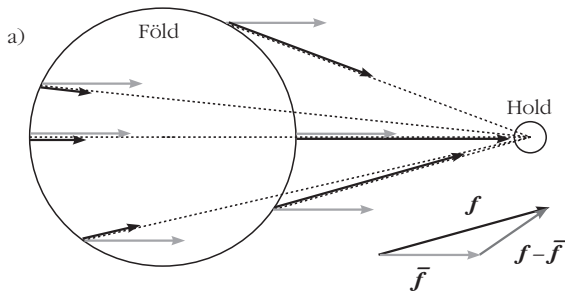
Mivel azonban a fizika kvantitatív összefüggésekkel dolgozik, a feladatmegoldás során kialakulhat a helyes szemlélet, hogy 1. mindig a testekre ható összes erő eredőjét kell tekinteni, 2. a rendszer viselkedését illető következtetéseink (hogy mi történik) nem függhetnek a vonatkoztatási rendszer megválasztásától. A centrifugális erő önmagában nem okozhat dagálypúpot, hiszen csak akkor van jelen, ha forgó rendszerben írjuk le a mozgást. Ha két púpot észlelünk, akkor az inerciarendszerben is két púp van.

Fontos tehát, hogy tanítványaink ne csak annyit halljanak tőlünk: az árapályt a Hold okozza (és főleg ne még egyszer a földrajzkönyvből ismert hibás magyarázatot). A deformáció mértékét is megadó kvantitatív tárgyalás – bár középiskolai matematikával is elvégezhető – nemigen fér bele a heti kétórás időkeretbe. Az erők összetevőkre bontása azonban mindennapos rutin a fizikaórán, és már ezzel a megértést erősítő, részben kvantitatív megközelítés érhető el.

A feladatunk, hogy megmagyarázzuk, miért és milyen irányban lejt a vízfelszín a helyi „vízszintes” irányhoz (azaz a földi gravitációs mező ekvipotenciális felületéhez, vagyis a geoid alakhoz – ez is benne van a földrajzkönyvben) képest.

Az egyszerűség kedvéért érdemes egy hipotetikus, egész Földet beborító óceánt tekinteni. (A partokon ténylegesen megfigyelhető árapály ennél bonyolultabb, sok tényezőtől függ.) A Hold által az adott helyen levő egységnyi tömegre kifejtett  $\vec{f}$  gravitációs erő (azaz a gravitációs térerősség) felírható két erő, egy átlagos  $\vec{f}$  erő (amely mindenütt ugyanaz, ezért nem okoz deformációt), valamint az átlagtól vett  $\vec{f} - \vec{f}$  eltérés összegeként: ez utóbbit nevezik általában árkeltő erőnek (3. ábra, a Holdat aránytalanul közel mutatva).

Ha inerciarendszert használunk, akkor  $\vec{f}$  a centripetális erő (a tengelyforgás most nem számít!), amely a Föld pontjainak a közös tömegközéppont körüli azonos sugarú körpályákon való keringéséhez szükséges. Ha pedig a Föld a közös tömegközépponthoz rögzített forgó rendszerben egyensúlyban van, akkor minden pontban ugyanekkora centrifugális erő hat [5]. A deformációért mindkét tárgyalásban az  $\vec{f} - \vec{f}$  felelős.



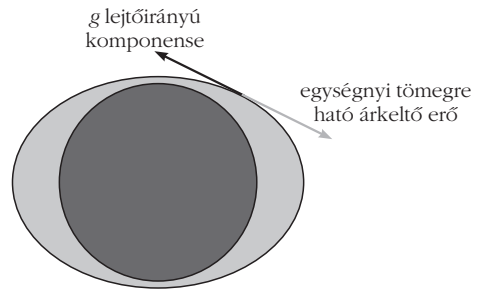
3. ábra. a) A gravitációs erő összetevőkre bontása. b) Az  $f - \bar{f}$  árkel-tő erő.

Olyan lejtésű vízfelszín alakul ki, ahol ezen árkel-tő erő tangenciális komponensét ellensúlyozza a földi nehézségi erő lejtőirányú, vagyis a vízfelszín irányába eső komponense (4. ábra). (A normális komponensét pedig a folyadék belsejében ébredő erők.)

A földrajzkönyvek gyakran hibás fizikai szemlélete az árapály mellett az áramló közegek viselkedésének – a szél és a tengeráramlások – tárgyalásából tűnik ki legjobban. A zűrzavart azonban elsősorban nem a Coriolis-erőre való hivatkozás, vagyis a tehetetlenségi erő fogalma okozza, hanem az erő és a mozgás közötti alapvető összefüggés nem értése. A fizikatanítás kudarca jelenik itt meg, legalábbis a leendő földrajz-könyv-szerzők esetében.

Minden erőfeszítésünk ellenére tanítványaink jelentős része láthatóan megmarad az arisztotelészi világképnél: a test abban az irányban mozog, amerre az erő hat. Ezt példázza a következő idézet [6]: „A szél mozgása a valóságban nem egyenes irányú, azaz a levegő nem pontosan az alacsony légnyomású területek irányába mozog, ugyanis ezt a légmozgást több tényező is befolyásolja. Ilyen a Föld forgásából származó kitérítő erő, az ugyancsak ebből eredő centrifugális hatás és a földfelszín közelében ható súrlódás, amely a magasabb légrétegekben már elhanyagolható. A szél a valóságban az említett erők közös eredőjének irányába mozog.” A legtöbb tankönyv egyszerűen kijelenti, hogy a levegő mindig a magasabb légnyomású hely felől az alacsonyabb légnyomású hely felé áramlik, és ettől az iránytól az eltérítő erő hatására kicsit eltér. Egyetlen könyv mondja helyesen, hogy a szél az izobárokhoz közel párhuzamosan fúj, de magyarázatot nem ad. Pedig magyarázat gyanánt elég lenne például az 5. ábra.

A megértés hiányában a nehézségek tovább fokozódnak, amikor a tankönyvek a ciklonok és anticiklonok forgásirányát kísérlik meg néhány mondatban elmagyarázni. Ha a tanuló azt hiszi, hogy a mozgás az



4. ábra. Erők egyensúlya a lejtős vízfelszínen.

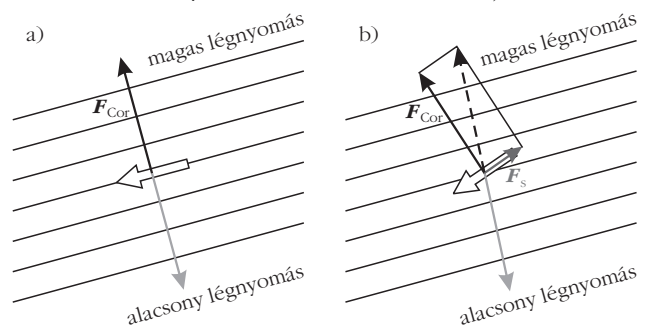
erő irányában történik, majd azt olvassa, hogy a ciklonban a befelé haladó levegő a Coriolis-erő hatására kicsit eltérül, és tudja, hogy északon az erő jobb felé hat, akkor nem fogja érteni, hogy miért is kanyarodik a levegő a ciklonban balra. Csakúgy, mint a 6.a ábra [7] szerzője, aki a szövegben helyesen említi a forgásirányt. Máshol a 6.b ábrához [8] hasonló ábrát kísérő szöveg [9] jelenti ki, hogy: „Az eltérítő erő hatására azonban a levegő a ciklonban az északi félgömbön jobb, a délin bal kéz felé áramlik befelé.”

Vegyük észre, hogy a 6.b ábra sem felelhet meg a valóságnak: nagyítsuk ki a 6.b ábra bal alsó részén futó nyilat, és az 5. ábrához hasonló módon rajzoljuk be az egyik ponthoz a nyíl irányában mozgó levegőre ott ható súrlódási, Coriolis- és nyomásgradiens-erőket (6.c ábra). A vektorok hossza nem is számít, hiszen ilyen irányú erők hatására semmiképpen nem mozoghat a levegő a nyílnek megfelelően. A mozgásirány tehát valójában nem ilyen szögben metszi az izobárokat.

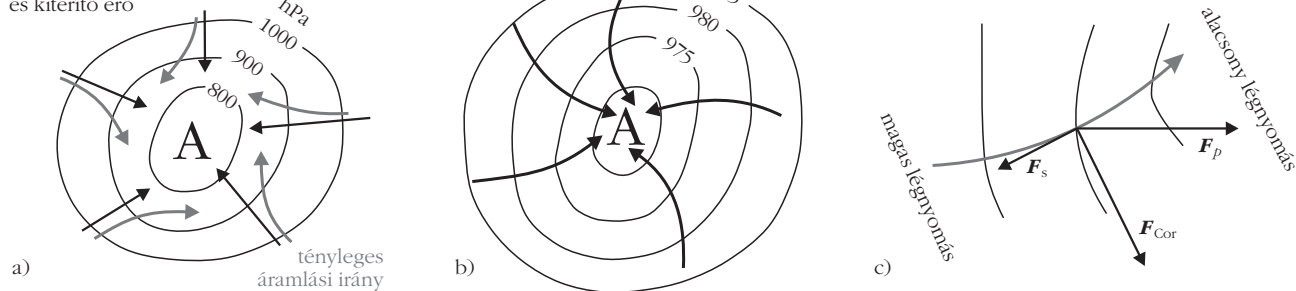
Félő, hogy a fizikaóra sem orvosolja a fenti bajokat, ha az A tanterv formabontó tematikai felépítését követi, hiszen a meglepő helyeken felbukkanó anyagrések nem tesznek lehetővé a jelenségek megnevezésénél sokkal mélyebb tárgyalást. Például a *Tömegvonzás* című tematikai egységhez tartozik a közegellenállási erő, illetve a lendület fogalma is, pusztán azért, mert az üresközök szempontjából ezek fontosak. Ugyanakkor az árapály nem itt, a gravitációs jelenségek között van felsorolva, hanem elsősorban hullámjelenségként tartják számon (noha említést kap „a Hold és a Nap szerepe”).

A nem hagyományos feldolgozási sorrend folytán tehát (a bevezető szerint bevallottan) hiányozhat az adott jelenség megértéséhez szükséges természettörvények ismerete és a fogalmi megalapozás. A *Hasznosítható energiák* fejezet tárgyalásában megjelenik

5. ábra. Szélirány a) súrlódás nélkül; b) súrlódás jelenlétében.



áramlási irány, ha nem lenne sűrűlódás és kitérítő erő



6. ábra. a) és b) Ciklon két földrajzkönyvben. c) Az erők iránya.

például az atomenergia a tömegdefektussal, atomerőmű-típusokkal csakúgy, mint a radioaktív hulladékok elhelyezésének problémája. Mindez bárminemű magfizikai előképzettség nélkül.

## A kvantitatív megfontolások háttérbe szorítása

Tudománynpszerűsítő könyvek előszavában a szerzők gyakran ünnepélyesen megígérik, hogy az olvasó egyetlenegy képlettel fog találkozni, a 178. oldalon. Vagy még ott sem. Erre emlékeztet az, ahogyan az A tanterv szakítani igyekszik a hagyományos számítási feladatokkal, amelyeket „sokszor öncélúnak” tart. Mivel kivételt jelentenek azok az esetek, „amikor a számítás elvégzése a tananyag mélyebb megértését szolgálja”, akár meg is nyugodhatnánk, hiszen mindig azt szolgálja. (Van persze rossz tanár és van rossz vagy valóban felesleges feladat, de ezek nem a hagyomány szükségzerű velejárói.) Valahonnan azonban csak el kell venni a rengeteg alkalmazás felsorolásához szükséges időt.

A fenti példák is mutatják, hogy kvantitatív tárgyalás híján a hibás fizikai szemlélet nem lepleződik le, a diák nem szembesül azzal, hogy voltaképpen nincs tisztában a fogalmakkal, illetve törvényekkel. Mivel sok mindenről szó esett, tájékozottnak érezheti magát, miközben éppen a lényegről maradt le.

*Richard Feynman* szavaival: „Azoknak, akik nem ismerik a matematikát, nehézséget okoz keresztüljutni a szépség valódi érzéséhez, a legmélyebb szépséghez, a természethez... Ha a természetről akarsz tanulni, méltányolni akarod a természetet, ahhoz szükség van arra, hogy értsd a nyelvért, amelyen szól hozzád.”

Végül, amint Eötvös Loránd szavaival kezdtem, őt idézem befejezésül is [10]: „javulást a tudományos színvonalnak nem alábbszállítása, hanem fölemelése eredményezhet.”

## Irodalom

1. Eötvös L.: Az egyetem feladatáról. *Természettudományi Közlöny* 23/266 (1891) 505–514.
2. Nemzeti Alaptanterv. *Magyar Közölny* 2012/66, 10751–10754, 10763–10765.
3. Fizika kerettanterv, A változat: [http://kerettanterv.ofi.hu/3/\\_melleklet\9-12/index\4\gimn.html](http://kerettanterv.ofi.hu/3/_melleklet\9-12/index\4\gimn.html)
4. Ütőné Visi J.: *Földrajz érettségi feladatgyűjtemény*. 35. oldal, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest 2005.
5. Thurman, H. V.: *Introductory Oceanography*. 247–276. oldal, Merrill PC, Columbus, Ohio, 1985.
6. Arday I., Rózsa E., Ütőné Visi J.: *Földrajz I. középiskolásoknak*. 74. oldal, Műszaki Kiadó, Budapest 2010.
7. Makádi M., Taraczkózi A.: *A Föld amelyen élünk*. 73. oldal, Mosaic Oktatási Stúdió, Szeged, 2001.
8. Jónás I., Kovács L-né, Vízvári A-né: *Földrajz 9*. 102. oldal, Mosaic Kiadó, Szeged, 2011.
9. Kereszty P., Nagy B., Nemerkenyi A., Sárfalvi B.: *Lakóbelyünk a Föld*. 74. oldal, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2008.
10. Eötvös L.: Rektori beszéd az egyetem újjáalakításának ünnepén, 1892, *Természettudományi Közölny* 24/274 (1892) 296–301.

## Jobb egy mentőötlet mint öt mentő egylet

– írta Karinthy Frigyes az egyletistápolás margójára.

**Most Társulatunknak lenne szüksége egyletmentő ötletekre!**



**Ezek az ötletek nem vesznek el, ha a <http://forum.elft.hu> linken, az ELFT stratégiai vitafórumán adjuk elő.**



# KÍSÉRLETI FELADATOK AZ ÖVEGES JÓZSEF ORSZÁGOS FIZIKAVERSENYEN

Janóczki József  
ny. matematika-fizika tanár, Debrecen

A kísérlettel megoldható feladat célja: „Fizikában a kísérlet célja lehet a jelenség bemutatása, megfigyelése vagy lehet egy jellemző mennyiség meghatározása, fizikai összefüggés keresése, ellenőrzése, illetve függvénykapcsolat meghatározása.”<sup>1</sup>

Ennek érdekében a versenyen kétféle kísérleti feladatot kapnak a versenyzők.

Az egyik a *kísérletelemző*, a másik pedig a *fizikai probléma megoldása kísérlettel*, azaz

- egy jellemző mennyiség meghatározása;
- fizikai összefüggés keresése;
- függvénykapcsolat meghatározása a fizikai mennyiségek között (akár grafikusan is);
- egy eszköz belső szerkezetének feltárása a kísérleti eredmények elemzése alapján.

## A fizikai probléma megoldása kísérlettel

A feladatok készítése során előtérbe helyeztem, hogy

- a tanterv tartalma és követelményei alapján megoldható legyen a feladat;

- a versenyzőknek minél szélesebb körű képességekről, ismeretekről, kreatív, logikus gondolkodásról kelljen tanúbizonyságot tenniük a megoldás során.

A feladattípus sikeres megoldásához képesnek kell lenni a tanulóknak:

- a meglévő eszközök célszerű felhasználásával a kísérleteket *megtervezni, elvégezni*;
- a kísérleti eredményeket áttekinthető, az összefüggéseket megállapítható formába *rögzíteni*;
- a mérési eredményeket, kísérleti tapasztalatokat *értelmezni*;
- azokból *következtetéseket levonni*;
- *általánosításokat megfogalmazni* különböző formában;
- az összefüggéseket *grafikusan megjeleníteni*;
- mindezek során a *szakkifejezéseket*, a fizika jelrendszerét *helyesen használni*.

## A kísérleti eszközzel szembeni követelmények

A tervezés, készítés, kivitelezés során az alábbi elvárásoknak, igényeknek tettem eleget.

- Az eszköz balesetvédelem, a tűzvédelem, érintésvédelem szempontjából maximálisan jó legyen.
- A mérés elvének megfelelő legyen.
- A mérőeszközöknek 30 példányban, egyforma minőségben kell rendelkezésre állniuk, amely darabszám – meghibásodás esetére – már magában foglalja a tartalék példányszámokat is.

- A mérőeszközök érzékenysége olyan legyen, hogy a többször megismételt mérések során is alkalmas legyen a szükséges általánosításhoz, összefüggések megállapításához.

- A mérést többször megismételve, a mérendő mennyiség hibahatáron belül legyen.

- Az eszközt az iskolában is el lehessen készíteni.

- A 13-14 éves versenyző diákok önállóan, biztonságosan, a probléma megoldásához hatékonyan tudják használni a kísérletezés, a mérés során.

- A feladat megoldására szánt idő alatt a szükséges mérés többször is elvégezhető legyen.

A kísérletezéssel, méréssel kapcsolatos tudnivalók

A versenyzőknek a feladat megkezdése előtt ismerniük kell az eszközök rendeltetés szerinti használatának módját.

Néhány esetben a sikeres, eredményes és pontos mérés érdekében a versenyzőknek olyan eszközöket kellett használniuk, amilyenekkel nagy valószínűséggel nem találkoztak tanulmányaik során (például a pipetta, lézer fénymutató), ezért a kísérlet elvégzése előtt ezen eszközök hatékony használatát bemutatjuk.

A versenyzőknek pontosan ismerniük kell a baleset-, a tűzvédelem szabályait, ezek betartása minden körülmények között kötelező. Minden kísérletező feladat elvégzése előtt ezen szabályokra felhívjuk a versenyzők figyelmét. Például alapvető szabály, hogy az elektromos árammal működő kísérletek összeállításakor az áramforrást utoljára csatlakoztassuk az eszközhöz, áramkörhöz, illetve kapcsoljuk be, és a kísérlet befejezésekor először kapcsoljuk ki az áramkört, vagy az áramforrást válasszuk le az eszközről!

A mérőműszereknek alapvetően két fajtája van: az egy fizikai mennyiség mérésére alkalmas *alapműszerek*, valamint a több méréshatáron, több fizikai mennyiség mérésére használatos *univerzális műszerek*. Az általános iskolai tanulmányok során a versenyzők ez utóbbi fajtával végeznek méréseket.

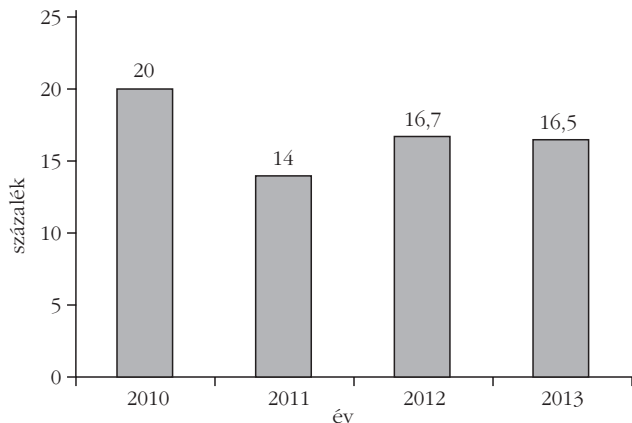
A versenyzők figyelmét felhívjuk arra is, hogy a feszültség-, illetve az áramerősség-mérőt véletlenül felcserélve kötnék az áramkörbe, akkor a műszer meghibásodhat.

Ugyancsak fontos, hogy az egyenáramú mérés esetén ügyelni kell a mérőműszer polaritáshelyes bekötésére is.

Az első méréskor, ha a versenyzők nem tudják becsülni a mérendő mennyiség nagyságát, akkor a méréshatár helyes használatára is felhívjuk a figyelmüket.

A sok-sok veszélyforrás megemlítése mellett azonban *a félelemmentes és sikeres kísérletezés érdekében* azt is elmondjuk, hogy általában minden kísérlet bal-

<sup>1</sup> [http://ikispal.hu/rulez/kozep/Fizika\\_kozep\\_temakorok\\_kiserletek.pdf](http://ikispal.hu/rulez/kozep/Fizika_kozep_temakorok_kiserletek.pdf)



1. ábra. A kísérleti feladat pontszámának százalékos aránya az egyes évek versenyének teljes anyagában.

esetvesélyt rejt magában, amitől azonban nem kell félni, hanem a kísérletezés közben a szükséges és kötelező biztonsági előírásokat minden körülmények között be kell tartani.

A tisztességes verseny érdekében a versenyzőket egymástól jól elkülönítve, megfelelő távolságra, kis létszámban helyezjük el a teremben.

## A verseny felépítése

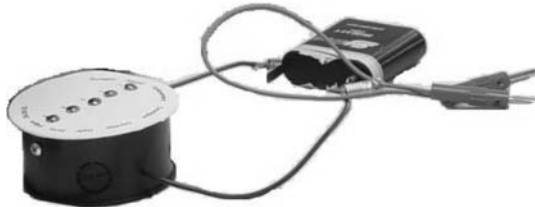
Az 1. ábráról látható, hogy a kísérleti feladat fontos szerepet kap a verseny során. A feladat megoldása nélkül nem lehet eredményesen szerepelni a versenyen.

### Kísérleti feladatok évenként

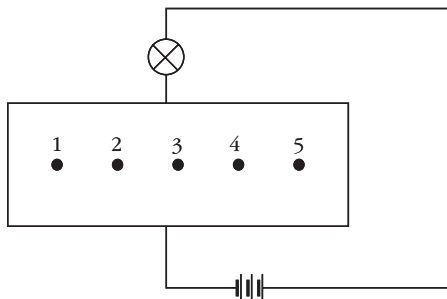
#### A 2010. évi verseny

Az asztalon egy „fekete dobozt” találsz (2. ábra), amelyben egy áramkört rejtettünk el. A dobozon lévő 1, 2, 3, 4 és 5 sorszámú ellátott érintkezők

2. ábra. A 2010. évi verseny „fekete doboza” az zsebtelep-áramforrással, az izzóval és a vezetékkel.



3. ábra. A 2010. évi „fekete doboz” kiegészítendő kapcsolási rajza.



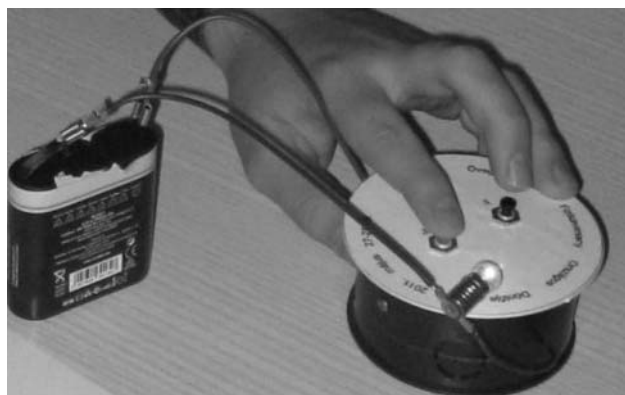
(fémgombok) vannak, amelyek a kérdéses áramkör pontjai. Egy darab vezeték felhasználásával, az izzó fényerejéből levont következtetések alapján, határozd meg, hogy milyen áramkört rejtettünk el a dobozban!

a) A kísérlet során szerzett megfigyeléseidet röviden írd le (tapasztalataidat célszerű táblázatba foglalni)! Indokolj!

b) Egészítsd ki a 3. ábrát a nem látható áramköri elemek kapcsolási rajz jelével!

#### A 2011. évi verseny

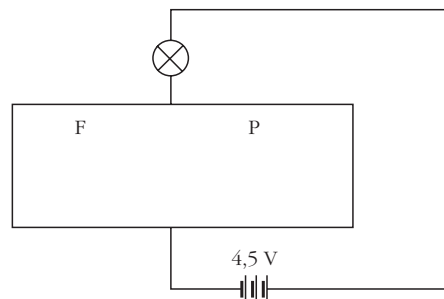
Az asztalon egy „fekete dobozt” találsz (4. ábra), amelyben egy ellenállásokat tartalmazó áramkört rejtettünk el. A két nyomógombos kapcsoló felhasználásával, az izzó fényerejéből levont következtetések alapján, határozd meg milyen áramkört rejtettünk el a dobozban!



4. ábra. A 2011. évi verseny két nyomógombos „fekete doboza” az zsebtelep-áramforrással és az izzóval.

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

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



5. ábra. A 2011. évi két nyomógombos „fekete doboz” kiegészítendő kapcsolási rajza.

b) A tapasztalataid alapján egészítsd ki az 5. ábrát a „fekete dobozban” lévő áramkör kapcsolási rajzával!

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

### A 2012. évi verseny

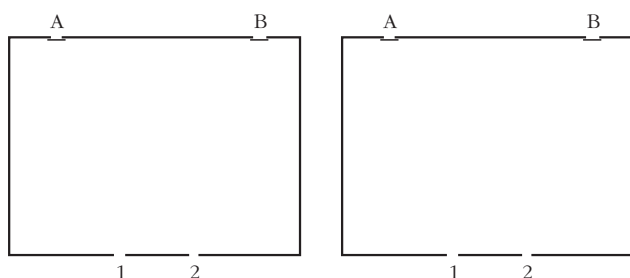
Az asztalon egy „fekete doboz” találsz (6. ábra). A dobozban valamilyen optikai (fénytani) eszközt rejtünk el. Rendelkezéssre áll egy kis teljesítményű lézer-fénymutató, amelynek felhasználásával határozd meg, milyen optikai eszköz(ök) lehet(nek) a dobozban!



6. ábra. A 2012. évi verseny optikai „fekete doboza” a lézer-fénymutatóval.

A kísérlet során a lézer-fénymutató vörös színét használd, ehhez a lézerdióda felőli kapcsolót kell zárni! *Vigyázz, a lézerfényt ne irányítsd se a magad, se más szemébe!*

A dobozon „1”, illetve „2” számokkal ellátott nyílások, és az „A” és „B” betűkkel jelölt nyílásokon ernyők vannak.



7. ábra. A 2012. évi optikai „fekete doboz” optikai elemekkel és a fény útjával kiegészítendő rajza.

Minden esetben írd le, mit tapasztalsz, majd egészítsd ki a 7. ábra két dobozvázlatát a bele jutó fény útját megváltoztató különböző optikai eszközök rajzával! Rajzold be az ábrába azt is, hogyan képzeled el – az eszközök hatására – az egyes nyílásokhoz érkező fény útját a dobozban!

A doboz nyílásokkal ellátott falára merőlegesen juttasd a fénysugarakat a dobozba!

Ha szükséges további ábra, pótlólag rajzold meg!

Az egymástól különböző optikai elemekkel történő 5 alapvetően különböző megoldásért és a hozzájuk tartozó helyes rajzokért 5-5 pontot kaphatsz. Egyéb megoldásokat is elfogadunk, de maximum 35 pontot szerezhetsz erre a feladatra.

### A 2013. évi verseny

Az asztalon található egy sárga flakon kék lecsavarható kupakkal. Határozd meg a kupakkal ellátott flakon anyagának sűrűségét!



8. ábra. A 2013. évi verseny kísérleti összeállításai.

A flakonra kötve egy cérnaszálat találsz, amely megkönnyíti a kísérletezést. A megoldáshoz felhasználható anyagokat, eszközöket – víz, mérőhenger, műanyag kád, pipetta – az asztalodon találd (8. ábra).

### A megoldások értékelése, eredményessége

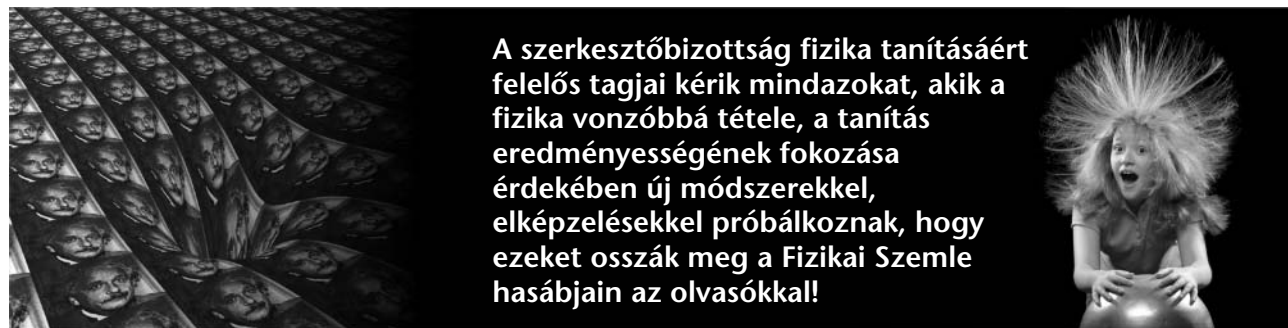
Az eddigi versenyek kísérleti feladataira vonatkozó észrevételeket, tapasztalatokat, javaslatokat az alábbiakban lehet összefoglalni.

A tanulói kísérletek, mérések nem mindennaposak a tanulók számára, mert azokra egyre kevesebb lehetőség van a tanítási órákon, ezért a kísérletek, mérési feladatok elvégzésére, részletes megbeszélésére nagyobb részt szakköri vagy tanórán kívüli foglalkozásokon van mód.

Az évek során előforduló teljesítményingadozásoknak (9. ábra) több oka lehet:

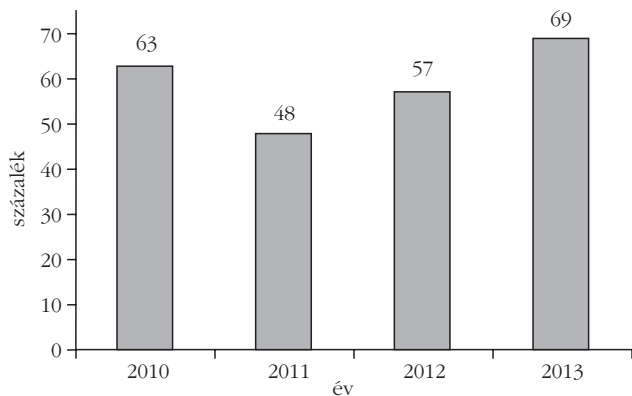
- az adott korcsoport felkészültsége;
- a feladatok nehézségi foka;
- a tanulókísérleti órák tantervi számának csökkenése;
- a versenyzők pillanatnyi mentális, pszichés állapota.

Mindezeket alátámasztja az igen sokféle, különböző színvonalú mérési jegyzőkönyv tartalma. Sajnos, több tanuló még az országos verseny döntőjében sem képes áttekinthető jegyzőkönyvben leírni, hogyan végezte el a mérést, a kapott adatokat rendszerezett



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





9. ábra. A kísérleti feladatok megoldásának eredményessége az egyes években.

táblázatba foglalni, és az adatok alapján a számításokat elvégezni, az összefüggéseket megállapítani.

A következő évek kísérleti feladatainak megoldására való felkészítés során kiemelt célként kell kezelni, hogy a versenyzők megfelelő mérési jegyzőkönyvet tudjanak készíteni.

Gyakori hiba, hogy nem képesek a mérőeszközök pontos leolvasására, illetve a skála egyes egységeihez tartozó értékek meghatározására (például a mérőhenger 1 kis osztása hány  $\text{cm}^3$ -t ér, vagy a V-A mérő különböző méréshatárához tartozó egységek meghatározása).

Az elektromos tanulókísérletek elemzése is gondot okoz a versenyzőknek, gyakori, hogy a felismert kapcsolási módot – soros, párhuzamos – tévesen a másik kapcsolási mód összefüggéseivel magyarázzák.

Örömteli viszont, hogy a versenyzők egy része a tantervi követelményeken túli megoldási lehetőségekre is rámutat.

## A 2013. ÉVI EÖTVÖS-VERSENY ÜNNEPÉLYES EREDMÉNYHIRDETÉSE

Tichy-Rács Ádám  
BME OMIKK



Radnai Gyula megnyitja az ünnepélyes eredményhirdetést.

Az Eötvös-versenyt 2013. október 18-án rendezték több helyszínen, ez évben először Nagy-Britanniában Cambridge-ben is lehetett dolgozatot írni.<sup>1</sup> Az eredményhirdetésre november 15-én került sor az ELTE TTK Északi tömb Konferenciatermében.

A hallgatóság soraiban a meghívott versenyzők és tanáraik mellett számos korábbi versenyző is megje-

lent, többek között *Holics László*, az 1949. évi Eötvös-verseny<sup>2</sup> második díjasa (az első díjat nem adták ki), számos későbbi díjazott felkészítő tanára.

Az eredményhirdetés előtt *Radnai Gyula*, a versenybizottság – immáron negyed százada – elnöke megemlékezett a száz és a száztizenkét évvel korábbi verseny győzteséről, *Radó Tiborról*<sup>3</sup> (1895–1965), illetve *Hlucsil Károlyról*<sup>4</sup> (1891–1973). Hangsúlyozta, hogy *Eötvös Loránd* is fontosnak tartotta a versenyzők teljesítményének elismerése mellett a felkészítő tanárok méltatását.

Ezt követően az ötven, illetve huszonöt esztendővel korábbi Eötvös-verseny feladatait és díjazottjait mutatta be.

### Eötvös-verseny, 1963

#### 1. feladat

2 méter hosszú, 8 cm átmérőjű vízszintes rúd közepén és egyik végén csapágyazva van. A csapágyak súrlódási együtthatója 0,05. A rúd másik végén egy 10 cm átmérőjű tárcsa van, amelynek kerületéről fonal lóg le.

Mekkora tömeg akasztható a fonal végére, hogy a rúd (a súrlódás következtében) még ne jöjjön forgásba? (A rúd és a tárcsa önsúlya elhanyagolható.)

<sup>1</sup> Zawadowski Alfréd, az ELFT elnöke magánbeszélgetésben felvette, hogy az időeltolódás miatt komoly szervezési feladatot jelent a versenyhelyszínnek további kiterjesztése.

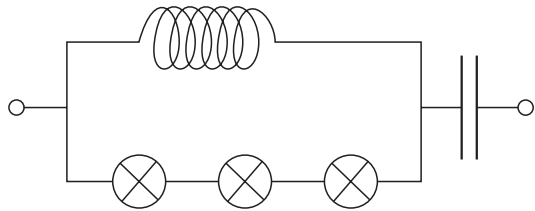
<sup>2</sup> Selényi Pál: Eötvös Loránd fizikai tanulmányverseny. *Fizikai Szemle* 1/1 (1950) 10, <http://www.old.kfki.hu/fszemle/archivum/fsz5001/elver5001.html>

<sup>3</sup> <http://math.osu.edu/about-us/history/tibor-rad%C3%B3>

<sup>4</sup> <http://tudosnaptar.kfki.hu/historia/egyen.php?nanev=hlucsil>

## 2. feladat<sup>5</sup>

Hogyan méretezendő az egymással sorosan kapcsolódó kondenzátor és önindukciós tekercs, hogy adott frekvenciájú és amplitúdójú váltófeszültség rákapcsolásakor a kondenzátorral párhuzamosan kapcsolt izzólámpák ugyanakkora áramerősséggel égjenek, tekintet nélkül arra, hogy hány darab izzólámpát kapcsolunk be?



## 3. feladat

Normális látású ember 25 cm-től végtelenig lát élesen. Milyen határok között fog élesen látni, ha szeme elé, szemlencséjétől 2 cm-re egy 1 dioptriás gyűjtőlencsét helyez?

Az ötven évvel ezelőtti versenyen még csak egyetemisták vehettek részt. A versenyen 63 hallgató indult. Versenyen kívül 17 középiskolai tanuló adott be dolgozatot.

Az I. díjat *Tichy Géza*, az ELTE TTK fizikus szakos hallgatója nyerte, aki a budapesti Árpád Gimnáziumban érettségizett *Peller József* és *Dömötör Gábor* tanítványaként. II. díjas *Abos Imre* (BME villamosmérnök szak, budapesti Rákóczi Ferenc Gimnázium, tanára: *Petyerity Géza*) és III. helyezett *Major János* (ELTE TTK fizikus szak, Kandó Kálmán Híradás- és Műszeripari Technikum, Budapest, tanára: *Bárczi Barnabás*).

Dicséretet *Gács Iván* (BME gépészmérnök szak, Bánki Donát Gépipari Technikum, Budapest, *Bangha József*), *Lánc József* (BME villamosmérnök szak, I. István Gimnázium, Budapest, *Pálos Jenő*) és *Máthé István* (BME gépészmérnök szak, Bánki Donát Gépipari Technikum, Budapest, *Galambos Imre*) kapott.

Mindhárom díjazott részt vett a 2013. évi verseny eredményhirdetésén.

Az ötven évvel ezelőtti verseny eredményhirdetésére visszaemlékezve Tichy Géza még mindig neheztelt, hogy nem kapott semmiféle oklevelet vagy érmet, csupán átnyújtottak neki ötszáz forintot, és természetesen alá kellett írnia a pénz átvételét. Nagy derűtséget keltett, hogy az évfordulón kapott emlékkönyvek átvételét most is alá kellett írnia.

A versenyről *Vermes Miklós*, a versenybizottság elnöke számolt be a *Fizikai Szemlében*.<sup>6</sup>

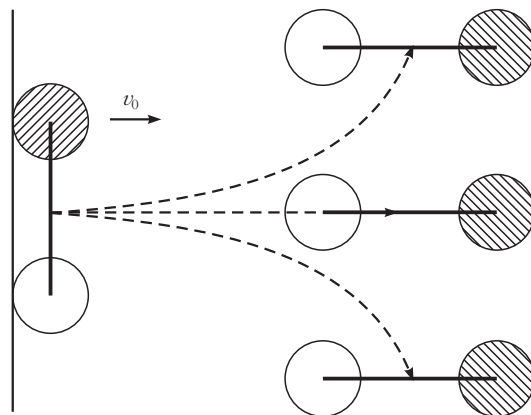
<sup>5</sup> A feladatban szereplő áramkört a szakirodalomban Boucherot-kapcsolásnak nevezik. A kapcsolás váltóáramú feszültséggenerátor alakít áramgenerátorrá.

<sup>6</sup> Vermes Miklós: Az 1963. évi Eötvös-verseny. *Fizikai Szemle* 14/3 (1964) 101–102.

## Eötvös-verseny, 1988

### 1. feladat<sup>7</sup>

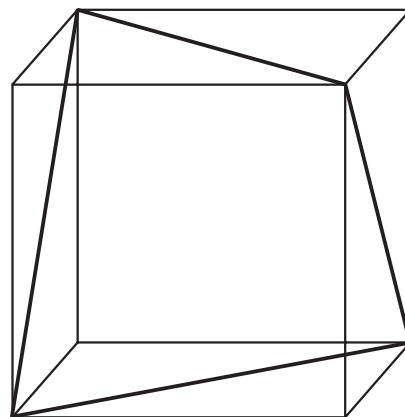
Két egyforma pénzérméből egy rájuk ragasztott hurkapálca segítségével „lapos súlyzót” készítünk. A súlyzót az asztal szélére helyezük és az egyik érme nek egy ütéssel a súlyzó tengelyére merőleges kezdősebességet adunk. Az ütéssel akkorára választjuk, hogy a súrlódás a súlyzót egynegyed fordulat megtétele után állítsa meg.



Elkanyarodik, vagy egyenes vonalban mozog a súlyzó tömegközéppontja?

### 2. feladat

Az  $a$  élhosszúságú szigetelő kockára lapátlók mentén vezetett huzalból – az ábra szerint –  $R$  ellenállású áramkört illesztünk.  $B$  erősségű homogén mágneses mezőt kapcsolunk rendre a kocka egyes lapjaira merőleges irányokban.



a) Mekkora töltés halad át az egyes esetekben a huzal keresztmetszetén?

b) Haladhat-e át ezeknél is több töltés valamilyen „ferde” irányú  $B$  esetén?

### 3. feladat

Egy pontszerű monokromatikus fényforrás és egy ernyő között átlátszatlan, fekete lemez van, rajta két

<sup>7</sup> Ez a feladat klasszikussá vált. Szemléletessége és egyszerűsége miatt több fizikusgenerációnak volt meghatározó élménye.

parányi környílás. Fény csak ezeken a nyílásokon át juthat az ernyőre. Az ernyőn csíkok jelennek meg.

Elhelyezhetünk-e – ha igen, hogyan – egy síktüköröt úgy, hogy az ernyő megvilágítása

- a) nagyjából egyenletes legyen;
- b) közel zérus legyen?

A 25 évvel ezelőtti versenyen tizenhárom helyszínen mintegy ötszáz versenyző vett részt, és 289 fő adott be dolgozatot. (A nagy érdeklődést az is magyarázza, hogy az Eötvös-verseny első tíz helyezettjének matematikából és fizikából nem kellett egyetemi felvételi vizsgát tennie.)

I. díjat *Fucskár Attila* (ELTE programozó matematikus szak, Kaffka Margit Gimnázium, Budapest, *Jánosí Ilona*) és *Hauer Tamás* (ELTE fizikus szak, Apáczai Csere János Gimnázium, Budapest, *Kelemen László*) nyert. II. díjat *Csabók Zoltán* (ELTE fizikus szak, Fazekas Mihály Gimnázium, Budapest, *Horváth Gábor*), *Demeter Gábor* (Móricz Zsigmond Gimnázium, Budapest, *Tarnóczyné Gedeon Melitta*) és *Szabó Szilárd* (Apáczai Csere János Gimnázium, Budapest, *Holics László*) kapott. III. díjban *Csilling Ákos* (Fazekas Mihály Gimnázium, Budapest, III. osztály, *Horváth Gábor*), *Keleti Tamás* (ELTE matematikus szak, Fazekas Mihály Gimnázium, Budapest, *Horváth Gábor*) és *Pásztor Gábor* (Földes Ferenc Gimnázium, Miskolc, IV. osztály, *Zámborszky Ferenc*) részesült. Dicséretet érdemelt *Lencse Gábor* (Révai Miklós Gimnázium, Győr, IV. osztály, *Jagudits György*) és Somfai Ellák (Petőfi Sándor Gimnázium, Pápa, IV. osztály, *Dankó Ferenc*).

Közülük Fucskár Attila, Demeter Gábor, Keleti Tamás és Somfai Ellák, továbbá Tarnóczyné Gedeon Melitta tanárnő vett részt a 2013. évi verseny eredményhirdetésén. A genfi CERN-ben dolgozó Hauer Tamás levélben gratulált a mostani verseny díjazottjainak.

A versenyről Radnai Gyula, a versenybizottság akkori elnöke számolt be a *Fizikai Szemlében*.<sup>8</sup>

## A 2013. évi feladatok

### 1. feladat

Két, viszonylag hosszú, tömegükben és külső méreteikben megegyező, merev test közül az egyik alumíniumból készült tömör, egyenes henger, a másik rézből készült, egyenletes falvastagságú cső. A testeket kemény, jól tapadó lejtőre helyezük úgy, hogy tengelyük vízszintes legyen.

a) Milyen magasból kell elengednünk az egyes testeket, hogy 1 m/s haladási sebességgel ériék el a lejtő alját?

A lejtőt 1 m/s sebességgel elhagyó testek lassulva gördülnek tovább egy puhább, hosszú, vízszintes felületen. A testek a felület kicsiny benyomódása



miatt fékeződnek. Tételezzük fel, hogy a vízszintes felület által a testekre ható eredő erő pillanatnyi támaszpontja a hengerpaláston mindkét esetben ugyanott helyezkedik el!

b) Az alumíniumhenger a vízszintes felületen 2 m út megtétele után áll meg. Hol áll meg a rézcső?

*Adatok:* az alumínium sűrűsége  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , a réz sűrűsége  $8,9 \text{ g/cm}^3$ .

### 2. feladat

Egy furcsa optikai rácson a rések nem egyenlő közönként helyezkednek el: a szomszédos rések távolsága felváltva  $30 \mu\text{m}$  és  $90 \mu\text{m}$ . Milyen elhajlási kép alakul ki a 2 m távolságra elhelyezett ernyőn, ha a rácst (annak síkjára merőlegesen)  $660 \text{ nm}$  hullámhosszúságú lézercsővel világítjuk meg? Ábrázoljuk vázlatosan az ernyőn kialakuló intenzitáseloszlást! (A rések szélessége egyforma és sokkal kisebb a távolságuknál.)

### 3. feladat

$B$  indukciójú, homogén, erős mágneses térben egy  $l$  hosszúságú, könnyű, vékony, hajlékony vezetőhuzal végpontjait az egymástól  $l/2$  távolságra levő  $P_1$  és  $P_2$  pontokon rögzítettük. A huzalon  $I$  erősségű egyenáramot vezetünk át. Milyen alakot vesz fel a vezeték, ha a mágneses indukcióvektor

a) merőleges a  $P_1P_2$  szakaszra?

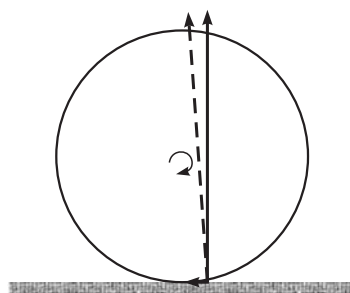
b) párhuzamos a  $P_1P_2$  szakasszal?

Mekkora erővel húzza a vezeték a rögzítési pontokat az egyes esetekben?

A feladatok megoldását azok szerzői, a versenybizottság tagjai ismertették.

Az első feladat megoldását *Honyek Gyula* mutatta be. A megoldás során felhívta a figyelmet arra, hogy a henger lassulásának szükséges feltétele, hogy a talaj és a henger között ható erő támaszpontja a tömegközépponton áthaladó függőleges előtt legyen, mert nem elég a haladó mozgást fékező vízszintes komponens, hanem a forgómozgást fékező forgatónyomaték is szükséges, ahogy az alábbi *ábrán* látható.

A vízszintes talajon gördülő hengerre ható erők.



<sup>8</sup> Radnai Gyula: Az 1988. évi Eötvös-verseny. *Fizikai Szemle* 39/6 (1989) 235–237.



Honyek Gyula az első feladat megoldását ismerteti.

A második és harmadik feladat megoldását *Vígh Máté* vezette le, és a megoldást szemléletes kísérlettel is illusztrálta.

A harmadik feladatban leírt jelenséget – az eredményhirdetés után – *Vankó Péter* kísérlettel is bemutatta.

Mindhárom feladat részletes megoldása hamarosan megjelenik a *Középszintű Matematikai és Fizikai Lapokban*.

I. díjat nyert *Szabó Attila*, a University of Cambridge, Trinity College, Natural Sciences szak hallgatója, aki a pécsi Leőwey Klára Gimnáziumban érettségizett *Simon Péter* és *Kotek László* tanítványaként.

II. díjat nyertek egyenlő helyezésként *Fehér Zsombor* (Fővárosi Fazekas Mihály Gyakorló Gimnázium, Budapest, 11. évfolyam, tanára Horváth Gábor) és *Kovács Áron Dániel* (Eötvös Loránd Tudományegyetem, fizikus szak, Fővárosi Fazekas Mihály Gyakorló Gimnázium, Budapest, tanárai Horváth Gábor és *Csefkó Zoltán*).

III. díjat nyertek egyenlő helyezésként *Horicsányi Attila* (Dobó István Gimnázium, Eger, 12. évfolyam, tanára *Hóbor Sándor*), továbbá *Janzer Barnabás* (Fővárosi Fazekas Mihály Gyakorló Gimnázium, Budapest, 11. évfolyam, tanára Horváth Gábor), valamint *Takáts János* (Városmajori Gimnázium, Budapest, 12. évfolyam, tanára *Ábrám László*).

Dicséretet kapott *Holczer András* (Janus Pannonius Gimnázium, Pécs, 11. évfolyam, tanárai *Dombi Anna* és *Kotek László*) és *Öreg Botond* (Fővárosi Fazekas Mihály Gyakorló Gimnázium, Budapest, 11. évfolyam, tanárai Horváth Gábor és *Szokolai Tibor*).

A díjazottaknak *Zawadowski Alfréd*, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat elnöke nyújtotta át az elismerést. A Cambridge-ben tanuló *Szabó*



Vankó Péter bemutatja a harmadik feladatban leírt jelenséget. Balra hátul *Vígh Máté* a második feladat szerzője.

Attilával *Honyek Gyula* folytatott interjút az interneten, amit a teremben ülők a kivetítőn követhettek.

*Radnai Gyula* felolvasta *Hauer Tamás*, a negyedszázaddal ezelőtti verseny egyik első díjasa CERN-ből érkezett levelét, amellyel az idej nyerteseket üdvözölte és megemlékezett az akkori olimpiai csapat vezetőiről is.

Érdeemes megemlíteni, hogy a díjazottak közül *Szabó Attila*, *Fehér Zsombor*, *Janzer Barnabás*, *Öreg Zsombor* 2012-ben is díjat nyert, illetve dicséretet kapott az Eötvös-versenyen. *Szabó Attila*, aki a Nemzetközi Fizikai Diákolimpia abszolút első helyét érte el 2012-ben és 2013-ban is, most első alkalommal ért el első díjat az Eötvös-versenyen mindhárom feladat megoldásával.

## Radnai Gyula köszöntése

Az eredményhirdetés folytatásaként *Zawadowski Alfréd* méltatta *Radnai Gyulát*, a versenybizottság leköszönő elnökét, aki negyven éven keresztül vett részt a munkában eleinte *Vermes Miklós* munkatársaként, 1988-tól a versenybizottság elnökeként. *Radnai Gyula* megkapta az Eötvös-verseny örökös tiszteletbeli elnöke címet.

A 2013. évi Eötvös-verseny megjelent díjazottjai. Elöl: *Fehér Zsombor* és *Kovács Áron Dániel*; hátsó sor: *Öreg Botond*, *Janzer Barnabás*, *Takáts János*, *Horicsányi Attila*, *Holczer András*.





Zawadowski Alfréd az Eötvös Loránd Fizikai Társulat nevében köszöni meg Radnai Gyulának a versenybizottságban végzett negyvenéves munkáját.

## Az Eötvös-verseny támogatói

A rendezvény végén Radnai Gyula mondott köszönetet a verseny támogatóinak. Tekintettel arra, hogy hosszú időn keresztül vezette a versenybizottság munkáját, ezúttal nemcsak a mostani verseny támogatóit sorolta fel, hanem mindazokat, akik az elmúlt huszonöt évben segítettek a Társulatot a verseny lebonyolításában vagy hozzájárultak a versenyzők díjazásához: • az oktatásért felelős mindenkori minisztérium és intézményei • Nemzeti Tankönyvkiadó Zrt. • MOL Nyrt. • Indotek Zrt. • egy magát nyilvánosan megnevezni nem kívánó magánvállalkozó • *Gutai László* (USA) • Vince Kiadó • Akkord Kiadó • Typotex kiadó • Akadémiai Kiadó • Műszaki (Calibra) Kiadó • MATFUND Alapítvány • *Természet Világa* • Ramasoft Zrt.

Az ünnepélyes díjkiosztás után a versenybizottság tagjai, a díjazottak és a vendégek a Ramasoft által felajánlott hidegtál mellett folytattak kötetlen beszélgetést.

# BRÓDY IMRE ORSZÁGOS FIZIKA KÍSÉRLETVERSENY

A Nyíregyházi Arany János Gimnázium és Általános Iskolában saját tanítványaink kedvéért szerveztük a versenyt, első ízben 2009-ben. Legfőbb célunk, mint minden elkötelezett fizikatanárnak, hogy megszeressük a tantárgyat a tanulókkal. Mivel korábban is jó kapcsolatot ápoltunk a Nyíregyházi Főiskolával, a tanszék tanárai szívesen jöttek zsűrizni a bemutatott kísérleteket, és a gyerekek nagy örömeire ők maguk is tartottak bemutatókat. A siker buzdított minket arra, hogy városi szinten is megrendezzük a versenyt 7–12. évfolyamos tanulók részére, és ebbe aktívan bekapcsolódott a főiskola, hiszen ettől kezdve a „C” épület adott otthont a rendezvénynek. *Beszéda Imre* tanszékvezető-helyettes szakmai segítsége kiemelkedő, amelyet e helyen is köszönünk!

2013-ban már 100 körül volt a jelentkezők száma a különböző kategóriákban, legnagyobb érdeklődés a hajtógépek versenyét kíséri. Kedvenc kísérletüket

is szívesen mutatják be a tanulók, példásan felkészülve a jelenségek magyarázatára. A versenyhez minden évben kiállítás kapcsolódik, például magyar fizikusokról, technikatörténetről vagy éppen az égitestekről.

Ebben a tanévben országos szintre emeljük a versenyt! A versenykiírás felkerült az Eötvös Loránd Fizikai Társulat honlapjára, de az érdeklődők az iskolánk honlapján ([www.nyharany.hu](http://www.nyharany.hu)) is megtalálhatják. Bár a nevezési határidő március 28-a volt, de most, első alkalommal egyetlen nevezést sem utasítunk el.

*Az országos döntő időpontja és helyszíne:* 2014. május 16–17. (péntek–szombat), a Nyíregyházi Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Kara (C épület), 4400 Nyíregyháza, Kótaji u. 9–11.

Szeretettel várunk minden kísérletező kedvű diákot és tanáraikat!

*Kiss Lászlóné* igh.



# CERN – FIZIKATANÁROKNAK

Az ELFT és a CERN az idén is megrendezi a magyar fizikatanárok szokásos évi CERN-i továbbképzését (Hungarian Teachers' Program 2014, HTP2014) 2014. augusztus 15. (péntek) délutántól 2014. augusztus 24. (vasárnap) délig. Az utazás különbusszal történik.

A továbbképzésre minden, magyar nyelven tanító fizikatanár jelentkezhet. A jelentkezést az Országos Fizikatanári Anketon (Eger) nyitottuk meg. A jelentkezés lezárásának időpontja 2014. május 10. Ez után már nem fogadunk további jelentkezéseket.

A látogatócsoport maximális létszáma 40 fő, több jelentkező esetén előnyt élveznek azok, akik

- a Fizikatanári Anketon részt vettek és ott jelezték részvételi szándékukat;
- az ELFT tagjai, akik 2014. évi tagdíjukat is rendezték (ezt 2014. május 10-én ellenőrizzük, addig még be lehet lépni);
- még nem vettek részt ilyen továbbképzésen;
- vállalják valamelyik tanári kísérleti csoport vezetését (ezt a jelentkezési lap „Motiváció” rovatában kell jelezni).

Megnyitottuk az online jelentkezés lehetőségét: <http://cern.sukjaro.eu/cern2014>

*Fontos:* mindenki, aki részt szeretne venni, ki kell töltsen az online jelentkezési lapot, még akkor is, ha a Fizikatanári Anketon már előzetesen jelezte részvételi szándékát! Kérjük, hogy az e-mail címet különös gonddal töltsék ki, mert a kommunikáció a regisztrálással ezen az úton történik!

Akik első körben nem jutnak be a kiutazó csoportba, várólistára kerülnek, ahonnan be lehet kerülni a csapatba akkor, ha az utazó csoportból valaki kiesne (egészségi vagy családi okok miatt). Eddig minden évben volt rá példa, hogy egy-két személy a várólistából került be a csapatba.

A 10 napos út önköltsége 140 eFt, amely magában foglalja az úti- és szállásköltséget, viszont nem tartalmazza az étkezés és a kulturális programok költségét.

Az idén is pályázunk szponzori támogatásra. Ezek elnyerése esetén – ahogy az előző években is történt – a költség jelentősen csökkenhet.

*Sükösd Csaba és Jarosievitz Beáta*

## HÍREK – ESEMÉNYEK

### Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2014. évi Küldöttközgyűlése

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2014. május 24-én, szombaton 10.00 órai kezdettel tartja Küldöttközgyűlését az Eötvös Loránd Tudományegyetem Fizikai épületének (Budapest, XI. Pázmány Péter sétány 1/A) 083. előadótermében (Eötvös-terem).

A Küldöttközgyűlés nyilvános, azon bárki részt vehet. A Küldöttközgyűlésen a Társulat bármely tagja felszólalhat, de a szavazásban csak a területi és szakcsoportok által megválasztott és küldöttigazolvánnyal rendelkező küldöttek vehetnek részt.

Amennyiben a Küldöttközgyűlés a meghirdetett időpontban nem határozatképes, akkor munkáját 10.30-kor, vagy a napirend előtti előadás után kezdi meg. Az ily módon megismételt Küldöttközgyűlés a megjelent küldöttek számára való tekintet nélkül ha-

tározatképes, de a jelen értesítésben szereplő tárgysorozat nem módosíthatja.

A hagyományos napirend előtti előadást (kezdetre 10 óra) *Szabó Gábor* (SzTE) tartja *Az ELI és alkalmazásai* címmel.

A Társulat Elnöksége a következő tárgysorozatot javasolja:

1. Elnöki megnyitó;
2. A Szavazatszámoló bizottság felkérése;
3. Főtitkári beszámoló, 3.1 A 2013. évi közhasznúsági jelentés, 3.2 A 2014. évi költségvetés, 3.3 Divíziók és új szakcsoport, 3.4 Stratégia, 3.5 Határozati javaslat;
4. A Felügyelő Bizottság jelentése;
5. Vita és szavazás a napirend 3.–4. pontjaival kapcsolatban;
6. Előterjesztés az új elnök megválasztására;
7. Vita és választás;
8. A Társulat díjainak kiosztása;
9. Zárás.

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

A Társulat Internet honlapja <http://www.elft.hu>, e-mail címe: [mail.elft@gmail.com](mailto:mail.elft@gmail.com)

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

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

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

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

Megjelenik évente 11 alkalommal (egy duplaszámmal), egyes szám ára: 800.- Ft (illetve 1600.- Ft) + postaköltség.

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

## Tisztelt Fizikus Barátaink!

A közelgő Közgyűlésnek több kérdésben kell állást foglalnia.

- Összegyűlt a megfelelő számú aláírás ahhoz, hogy a Közgyűlés szavazhasson a Szilárdtestfizikai vagy a Kondenzált Anyagok Fizikája Szakcsoport megalakításáról, így egy 35 éves tartozásnak tehet eleget.
- Az Európai Fizika Társaság (European Physical Society, EPS) több mint egy évtizedes elvárása, hogy a Társulat kereteiben a szakmai csoportosítás az EPS-ben létező divízióknak megfelelően történjék. Ezek a divíziók részben átfednek, részben átfogóbbak a szakcsoportjainknál. Ezért javasoljuk a divíziók megalakítását a szakcsoport struktúra teljes változatlanul hagyásával, ugyanakkor minden szakcsoport nyilatkozzon melyik divízióhoz, illetve divíziókhöz kíván csatlakozni.
- A vezetőség *Fülöp Zsolttal* – az Európai Fizikai Társaság legmagasabb vezetőségének tagjával – karöltve erőfeszítéseket tesz a vándorgyűlések hazánk szomszédos országaiéval való összehangolására. A soron következő olomouci Cseh–Szlovák Vándorgyűlésbe jeleztük a bekapcsolódási szándékunkat, és *Simon Ferenc* (BME) már a magyar előadásokat szervezi.
- A közoktatás jelenlegi átalakítása során a tanári szakcsoportok számos kérdést fogalmaztak meg, és kérték azoknak továbbítását az érintett szervek vezetőihez: miniszter, államtitkár stb. Az ELFT elnökségének kérésére hosszasan egyeztetve, az Általános Iskolai Oktatási és a Középszintű Szakcsoport álláspontja alapján megfogalmazódtak a vélemények, amelyeket – jóhiszeműen, de ugyanakkor felelőtlenül – változatlan formában továbbítottunk az illetékes miniszterhez, államtitkárhoz stb. Röviddel ezután tudomásunkra jutott, hogy a továbbított anyag hibás, a lényegét érintő, felelőtlenül összeállított számokat tartalmaz, amelyről tájékoztattuk az illetékeseket. A történetek erősen kockára teszik a Társulat szavahihetőségét és felelősségtudatát, lehetetlen helyzetbe hozzák mindazokat, akiknek válaszát várjuk. Ezért a Társulat elnöke felelősségének tudatában kívánta levonni a személyére vonatkozó következtetéseket. Két lehetőséget fontolt meg: vagy az elnöki tisztségről való azonnali lemondást, vagy a közelgő Közgyűlés számára a lemondás felajánlását. Végül a 2014. február 19-én megtartott elnökségi ülésen – többek tanácsára – az utóbbit választotta. Erről a kérdésről a Közgyűlésnek kell szavaznia.
- A nemzetközi gyakorlatban elvárják, hogy a fizikusok a nemzeti fizikai társulatok tagjai legyenek. Ugyanakkor például az USA-ban munkát vállalók esetében természetes, hogy az Amerikai Fizikai Társaságba belépjenek. Világossá vált, hogy még vezető beosztású oktatóink, illetve kutatóink közül is számosan távol tartják magukat az ELFT-től. Ezennel fizikusainkhoz fordulunk, hogy tagságukkal jelezzék hovatartozásukat, illetve tagdíjainkkal támogassák a Társulat működését. (A *Fizikai Szemle* februári száma tartalmazza a tájékoztatót a tagdíjakról.)

Mindenki megértését és támogatását előre is köszönve

Zawadowski Alfréd  
elnök

Kürti Jenő  
főtitkár

# ÉLETÜNK RÉSZÉ, JÖVŐNK ENERGIÁJA

A PAKSI ATOMERŐMŰ MEGFIZETHETŐ  
ÁRON TERMEL VILLAMOS ENERGIÁT.



Kiserné Törjék Eszter - gazdálkodó, Csámpa

„Az erőmű velünk nőtt fel.”



**paksi atomerőmű**

Energiát adunk a mindennapokhoz - MVM Csoport

[www.atomeromu.hu](http://www.atomeromu.hu)

