

# fizikai szemle



2012/12

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

Főszerkesztő:

Szatmáry Zoltán

Szerkesztőbizottság:

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

Szerkesztő:

Füstöss László

Műszaki szerkesztő:

Kármán Tamás

A folyóirat e-mail címe:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>



A címlapon:

Száz éve született Jánossy Lajos.

## TARTALOM

<i>Jánossy Natália:</i> Jánossy Lajos hazatérése	397
<i>Király Péter:</i> Jánossy Lajos és a 100 éve felfedezett kozmikus sugárzás	400
<i>Varró Sándor:</i> A Jánossy-féle fotonkísérletek jelentősége	406
<i>Paripás Béla, Palásthy Béla:</i> Atomi belsőhő-folyamatok vizsgálata koincidencia elektron-spektrometriával – II. rész	411

### A FIZIKA TANÍTÁSA

<i>Gündischné Gajzágó Mária:</i> A lencsék képlete Bolyai Farkas jegyzeteiben és a korabeli egyetemi tankönyvekben	414
Károlyházy-feladatok az Eötvös-versenyen – III. rész, elektrosztatika ( <i>Radnai Gyula</i> )	417
<i>Radnóti Katalin, Adorjáné Farkas Magdolna:</i> A fizika tanításához szükséges tanári tudás rendszere – II. rész	422
<i>Teplíczy István:</i> Szubjektív benyomások az 55. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutatóról	426
<i>Härtlein Károly:</i> Kísérletezzünk otthon!	429

### VÉLEMÉNYEK

<i>Oláh Károly:</i> Válasz Kertész Jánosnak	430
<i>Cserti József:</i> Magáról a Fizikai Szemléről	431

### HÍREK – ESEMÉNYEK

	432
--	-----

<i>N. Jánossy:</i> L. Jánossy's return home to Hungary	
<i>P. Király:</i> L. Jánossy and one century ago discovered cosmic radiation	
<i>S. Varró:</i> The significance of Jánossy's photon experiments	
<i>B. Paripás, B. Palásthy:</i> The coincidence electron spectrometry method of investigating atomic internal orbit processes – part II	

### TEACHING PHYSICS

<i>M. Gajzágó-Gündischné:</i> The lens formula in F. Bolyai's notebooks and in the textbooks of his contemporaries	
Eötvös Physical Competition problems contributed by F. Károlyházy – part III, electrostatics ( <i>G. Radnai</i> )	
<i>K. Radnóti, M. Farkas-Adorján:</i> The knowledge system needed by teachers of physics – part II	
<i>I. Teplíczy:</i> Personal impressions concerning the 55th Meeting and Demonstration Equipments Exposition of Hungarian Physics Teachers	
<i>K. Härtlein:</i> Physical experiments to be performed at home	

### OPINIONS

<i>K. Oláh:</i> Answering comments of J. Kertész	
<i>J. Cserti:</i> Statements and proposals concerning aims and profile of our Journal	

### EVENTS

<i>N. Jánossy:</i> L. Jánossy's Heimkehr nach Ungarn	
<i>P. Király:</i> L. Jánossy und die vor hundert Jahren entdeckte kosmische Strahlung	
<i>S. Varró:</i> Die Bedeutung von L. Jánossy's Photonen-Experimenten	
<i>B. Paripás, B. Palásthy:</i> Die Untersuchung inneratomarer Prozesse mit der Methode der Koinzidenzelektronen-Spektroskopie – Teil II.	

### PHYSIKUNTERRICHT

<i>M. Gajzágó-Gündischné:</i> Die Linsenformel in den Aufzeichnungen von F. Bolyai und in den Lehrbüchern seiner Zeit	
Aufgaben zu den Eötvös-Wettbewerben von F. Károlyházy – Teil III, Elektrostatik ( <i>G. Radnai</i> )	
<i>K. Radnóti, M. Farkas-Adorján:</i> Das System der von Lehrern der Physik benötigten Kenntnisse – Teil II.	
<i>I. Teplíczy:</i> Persönliche Bemerkungen zur 55. Versammlung und Geräteausstellung ungarischer Physiklehrer	
<i>K. Härtlein:</i> Zu Hause ausgeführte Experimente	

### MEINUNGSÄUSSERUNGEN

<i>K. Oláh:</i> Antworten auf Bemerkungen von J. Kertész	
<i>J. Cserti:</i> Stellungnahme und Vorschläge zu den Aufgaben und dem Profil unserer Zeitschrift	

### EREIGNISSE

<i>H. Яноши:</i> Возврат Л. Яноши в свою родину, Венгрия	
<i>П. Кирай:</i> Л. Яноши и столетие изобретения космического излучения	
<i>С. Варро:</i> Значение экспериментов Л. Яноши с фотонами	
<i>Б. Парипас, Б. Палашти:</i> Применение спектроскопии совпадающих электронов для изучения внутриатомных процессов – часть вторая	

### ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

<i>M. Gajzágó-Gündischné:</i> Формулы изображения в записи Ф. Бойаи и в учебниках своего времени	
Задачи физического конкурса им. Этвеша от Ф. Каройхази – часть третья, электростатика ( <i>G. Radnai</i> )	
<i>K. Radnóti, M. Adorján-Farkas:</i> Система необходимых для учителей физики знаний – часть вторая	
<i>И. Теплицкий:</i> Личные замечания к 55. Съезду и выставке приборов венгерских учителей физики	
<i>K. Гэртлейн:</i> Эксперименты для выполнения дома	

### ЛИЧНЫЕ МНЕНИЯ

<i>K. Олях:</i> Ответ на замечания Я. Кертеса	
<i>И. Черти:</i> Высказывания и предложения к целям и стилю нашего журнала	

### ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ

**Fizikai Szemle**  
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:



**paksi atomerőmű**



Nemzeti  
Kulturális  
Alap

**NCA**  
Nemzeti Civil Alaprogram



A FIZIKA BARÁTAI

# 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

LXII. évfolyam

12. szám

2012. december

## JÁNOSSY LAJOS HAZATÉRÉSE

Jánossy Natália  
filmrendező

*Jánossy Lajos* 1912-ben született Budapesten. Édesapja *Jánosi Imre* csillagász volt, aki a kiskartali csillagvizsgálóban, majd a Földrengési Számolóintézetben dolgozott. A Jánosi nevet (különböző írásmódokkal) az 1850-es években vette fel a görög eredetű, a szájhagyomány szerint Kréta szigeti kereskedőktől származó család. A felmenők jellemzően kereskedők, hivatalnokok, orvosok, papok voltak; női ágon a rokonsághoz tartozott *Irinyi János*, a híres vegyész is. Jánossy Lajos édesanyja, *Bortstieber Gertrúd*, Pozsony

környéki zsidó családból származott; Vágújhelyen született, de számos rokona élt Bécsben (*1. ábra*). Gertrúd a budapesti egyetemen matematikát és fizikát hallgatott, később közgazdaságtannal is foglalkozott. Fiai – Lajos, illetve öccse, a közgazdász *Ferenc* – munkásságát mindvégig figyelemmel kísérte, szakmai problémáikat gyakran meg is vitatta velük.

Jánossy Imre fiatalon, 36 éves korában meghalt. Özvegye a gyerekekkel Bécsbe költözött nővéréhez. Valójában *Lukács György*öt követte, akinek a Tanácsköztársaságban betöltött szerepe miatt menekülnie kellett Magyarországról. Hamarosan összeházasodtak. 1931-ben Berlinbe költöztek, ahonnan *Hitler* hatalomra jutásakor Lukácsnak ismét menekülnie kellett. Felesége a két kisebbik gyerekkel Lukács után utazott Moszkvába, Lajcsót azonban Berlinben hagyták, hogy befejezze egyetemi tanulmányait (*2. ábra*).

1. ábra. Jánossy Lajos szülei



2. ábra. Későbbi feleségével, Leonie-val megismerkedésük idején.





3. ábra. Manchester, 1946. Jánossy az első sorban balról az ötödik, mellette Patrick Blackett ül.

Ekkoriban jobb helyet, mint Berlin aligha lehetett volna találni a fizika iránt szenvedélyesen érdeklődő fiatalembernek. Tanárai között volt *Walter Nernst*, *Max von Laue* és – aki a legnagyobb hatást gyakorolta Jánossyra – *Erwin Schrödinger*. Berlinben, az egyetemi évei alatt ismerkedett meg későbbi feleségével, *Leonie Kabn*nal. Az egyetem elvégzése után *Werner Kolhörstern*él kezdte kutatómunkáját a kozmikus sugárzás területén.

Németországból az egyre elviselhetlenebb légkör elől 1937-ben Londonba távozott, ahol *Patrick Blackett*, a későbbi Nobel-díjas fizikus laboratóriumában kapott állást. Amikor 1938-ban Blackettet kinevezték a Manchesteri Egyetem tanszékvezetőjének, magával vitte többek között Jánossyt is. Az itt létesített kozmikus sugárzási laboratóriumban végzett munkája tette Jánossyt elismert kutatóvá (3. ábra). Ekkor írta az első összefoglaló jellegű monográfiát a kozmikus sugárzásról, amit az oxfordi Clarendon Press jelentetett meg 1948-ban és amely hosszú ideig kézikönyvnek számított a szakterületen dolgozó kutatók számára. Manchesteri tartózkodása alatt született négy gyermeke.

Nagy Britanniai élete során azonban érték csalódások is. Így például állampolgársági kérelmét visszautasították. Ennek indoklását máig sem ismerjük, az anyagot ugyanis száz évre titkosították. Talán Lukács Györgyhöz fűződő családi köteléke volt az ok. Nagyobb problémát jelenthetett Jánossynak, hogy elakadt az egyetemi ranglétrán, nem kapott eredményeinek megfelelő előléptetést. Ez is közrejátszhatott abban, hogy 1948-ban elfogadta *Eamon de Valera* ír miniszterelnök személyes meghívását a dublini School of Cosmic Physics senior pro-

fesszori állásának betöltésére. Dublinban olyan tudósokkal került személyes kapcsolatba, mint *Walter Heitler* (a kvantumkémia egyik megalapozója), valamint korábbi tanítómesterével, *Schrödinger*rel.

Jánossy írországi tartózkodása nem nyúlt hosszúúra. Bár a körülményekre nem lehetett panasz, nem látott igazi perspektívát az ottani kutatómunkában. Édesanyja leveléből tudjuk, hogy felmerült egy zürichi állás lehetősége, ez azonban valószínűleg nem volt komoly. Annál komolyabb volt a magyar kormány

hívása a hazatérésre, aminek 1950 augusztusában eleget is tett. Elhatározásában szerepet játszott, hogy családja, amelytől még 1933-ban elszakadt, a háború után hazatért Magyarországra. Feltehetőleg ugyanilyen fontos volt a részvétel lehetősége egy új fizikai kutatóintézet létrehozásában, amit kihívásnak tekintett.

Manapság semmi különös nincs abban, ha egy kutató élete egy pontján úgy határoz, hogy Nyugat-Európából vagy az Egyesült Államokból visszatér, mondjuk, kelet-európai szülőföldjére. A hidegháború csúcspontján azonban Jánossy döntése komoly megpróbáltatást váltott ki. Kollégája és barátja, *Brian McCusker* levelében így számolt be az eseményekről: „A távozásod elég nagy port kavart az ír újságokban (és néhány angolban is). Ha ez megnyugtat, úgy tűnik, a komolyabb lapok nem vettek rólad tudomást. Szerencsére én nem találkoztam egyetlen riporterrel sem, Manchesterben épp elkerültem őket, és mire visszaértem Dublinba, már nem voltak itt. Mellesleg hallottad, hogy Infeld visszatért Lengyelországba?”

4. ábra. Jánossy Lajos és Jean-Pierre Vigier francia fizikus vitatkozik. Leopold Infeld (középen, hátul) hallgatja őket. A felvétel 1958-ban készült Lipcsében.



A nyugati sajtó főleg azzal foglalkozott, birtokában volt-e Jánossy „atomtitkoknak” és kapcsolatban állt-e *Klaus Fuchs* német származású fizikussal.<sup>1</sup> A magyar sajtó természetesen propagandacélokra használta az ügyet. Röviddel Magyarországra érkezése után a *Szabad Nép* interjút készített Jánossyval. A professzor – az újság szerint – nyilatkozatában elmondta, hogy többek között azért tért haza, mert „azt akarja, hogy gyerekei tisztességes dolgozó emberekké váljanak”. Emellett felemlgette angliai sérelmeit – miszerint nem volt hajlandó támogatni a háborús ipart, ezért „csendben félreállították” –, amire a *Guardian* című brit újság egy *Dr. Janossy turns on Britain* (Jánossy Nagy Britannia ellen fordul) című cikkben reagált.

Szándékát, hogy nem tér vissza, hanem Magyarországon marad, Jánossy egy hátrahagyott levélben közölte. „Institute Professor Resigned: Left Letters” – írta az ír sajtó, szójátékkal utalva arra, hogy Jánossy többek között baloldali meggyőződésből tért vissza Magyarországra. Távozása téma volt az ír parlamentben is. Részlet a jegyzőkönyvből:

„*Mr. Flanagan* [képviselő]: Tudna a miniszter új további információt adni a professzor leveléről, amelyet Magyarországra távozása előtt a Miniszterelnök Úrhoz intézett?

Miniszterelnök: A képviselő úr csalódott lesz.

Mr. Flanagan: Azért szeretném hallani.

Miniszterelnök: Hallani fogja.

*Mulcahy* tábornok [oktatásügyi miniszter]: A lemondó levél a következőképpen szól:

»Excellenciás Uram!

A Budapesti Egyetem tanszékvezetőjének történet kinevezésem miatt arra kérem, hogy továbbítsa az Elnök Úrnak lemondásomat a School of Cosmic Physics-nél betöltött szenior professzori pozíciómról 1950. október 15-i hatállyal.

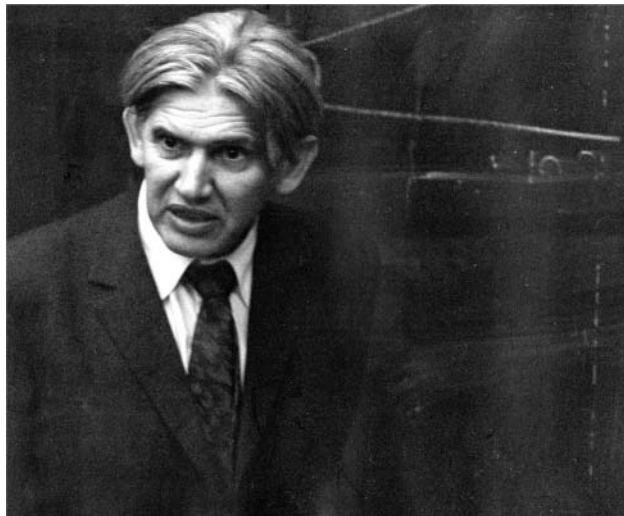
Megragadom az alkalmat, hogy megköszönjem Írország kormányának a tudományos munkámhoz nyújtott kitűnő körülményeket, amelyeket a Dublin Institute for Advanced Studies tagjaként biztosított számomra.

Tisztelettel L. JANOSSY«

Mr. Flanagan: Ez tisztázza a kérdést.<sup>2</sup>

A továbbiakban Mr. Flanagan az iránt érdeklődött, hogy írországi tartózkodása folyamán állt-e Jánossy rendőrségi megfigyelés alatt. A belügyminiszter az ország érdekeire való hivatkozással megtagadta a választ.<sup>3</sup>

Bármilyen szokatlan is volt azokban az időkben, hogy egy nyugaton élő tudós saját akaratából a vasfüggöny mögé vonuljon, Jánossy esete nem példa nélküli. Hasonló történet játszódott le szinte ugyanabban az időben *Leopold Infeld* lengyel elméleti fizikus-



5. ábra. Az ELTE tanszékvezetője előadás közben.

sal, erre utalt Brian McCusker is fentebb idézett levelében. Infeld Krakkóban született. Egy időben *Einstein* munkatársaként dolgozott a Princetoni Egyetemen, később a Torontói Egyetemre került. 1950-ben visszatért a kommunista Lengyelországba, mert úgy érezte, hogy ezzel hozzájárulhat a lengyel fizika fejlődéséhez (4. ábra). A nyugati reakciók hasonlóak voltak, mint Jánossy esetében; atomtitkok elárulásával vádolták meg. Két gyermekét még a kanadai állampolgárságtól is megfosztották.

*Bruno Pontecorvo* olasz fizikus esete kicsit különbözik az előző kettőtől. Pontecorvo egyike volt a „Panniserna utcai fiúk”-nak, akik *Enrico Fermi* köré csoportosulva kutattak Rómában, többek között neutronokkal kapcsolatos problémákat. 1948-tól Angliában dolgozott a brit atombombaprogramon. 1950 nyarán egy időre „eltűnt”, majd a Szovjetunióban bukkant fel. Ezúttal talán joggal aggódtak nukleáris titkok elárulása miatt; hamarosan kiderült azonban, hogy Pontecorvo nem volt birtokában titkosított információknak. Közismert baloldali meggyőződése állhatott az ügy hátterében. Élete további részében a dubnai Egyesített Kutatóintézetben dolgozott.

Jánossy hazatelepdedése után nagy energiával vetette bele magát a Központi Fizikai Kutató Intézet megszervezésébe. Az első években személyesen irányított számos kezdő kutatót, akik igen sokat tanultak tőle.<sup>4</sup> Atomtitkokat nem csempészett haza nyugatról, de magával hozta az akkori időknek megfelelő, korszerű kísérleti kutatómunka szellemét.

Eközben természetesen számos konfliktusa volt környezetével. Bár Jánossy, már csak neveltetésénél fogva is a kommunista eszmék elkötelezett híve volt, a fizika és a KFKI ügye mindennél fontosabb volt számára. 1951 decemberéből fennmaradt egy a pártközpontnak írt feljegyzése a KFKI káderpolitikájával kapcsolatban. Többek között ezt írja:

<sup>4</sup> Lásd például *Kiss Dezső* visszaemlékezését a Magyar Tudományos Akadémia *Emlékbeszédek az MTA elhunyt tagjai felett* című sorozatában, 1998.

<sup>1</sup> Fuchs, aki a Manhattan-program résztvevője volt, 1950 januárjában ismerte el, hogy a Szovjetunióknak kémkedett. 1950 márciusában 14 év börtönre ítélték. Jánossy semmilyen kapcsolatban nem állt vele.

<sup>2</sup> Mendemondák szerint Jánossy ezt a levelet a dublini intézet íróasztalfiókjában hagyta mielőtt Magyarországra utazott, és csak miután berendezkedett Budapesten kérte meg kollégáit, hogy továbbítsák a címzettnek.

<sup>3</sup> Forrás: *Dáil Éireann* 123, 15. November, 1950.

„Az intézetben szükségszerűen kell politikailag fejletlen embereket alkalmazni. Például *Bardócz Árpád* tartozik ezek közé, de ő az ipari spektroszkópia egyetlen komoly magyar szakembere. *Tarnóczy Tamás* pedig ultrahang-specialista. Ilyen emberek alkalmazását helyeselni kell (mert eddig még nem nevelünk fel ilyen politikailag is fejlett szakembereket).”

A levélben a személyzeti osztály munkáját heves kritikával illeti. Megemlíti, hogy egy műszerészt azért nem akartak alkalmazni, mert az apja ligeti mutató volt; egy mérnöknél pedig azt kifogásolták, hogy nagyanyja kulák. Azzal zárja a feljegyzést, hogy az ilyen ügyekkel való kényszerű foglalkozás elvonja a tudományos tevékenységtől.

A későbbi években figyelme egyre inkább a fizika alapkérdései felé fordult. A 60-as években írta meg a re-

lativitáselméletről szóló monográfiáját. Ebben a nagy gonddal megírt könyvben a kísérletekből kiindulva, a szokásos matematikai formalizmust alkalmazva, ám a „hivatalos”-tól eltérő interpretációval tárgyalja a relativitáselméletet. A mű komoly kritikákat kapott, de elismerést is, például *John S. Bell* neves brit fizikustól.

Jánossy Lajos 1972-ben, 60 éves korában, lemondott a KFKI igazgatói posztjáról és az Eötvös Loránd Tudományegyetemen betöltött tanszékvezetői állásáról. A következő években a kvantummechanika alapkérdéseivel foglalkozott, de hanyatló egészsége és a feladat nagysága miatt erről a problémakörrel nem született összefoglaló jellegű munka. 1978-ban, 66 éves korában halt meg szívrohamban.

Szeretném megköszönni édesapám, *Jánossy István* e cikk megírásához nyújtott segítségét.

## JÁNOSY LAJOS ÉS A 100 ÉVE FELFEDEZETT KOZMIKUS SUGÁRZÁS

Király Péter  
MTA Wigner FK RMI

*Jánossy Lajos* 1912 márciusában, néhány hónappal a kozmikus sugárzás felfedezésének „hivatalos” időpontja előtt született, és az aktív kutatásokba már egyetemista korában, az 1930-as évek első felében bekapcsolódott. Születésekor a kozmikus sugárzás felfedezéséhez vezető kutatások már jó néhány éve folytak, a felfedezés után pedig még több mint egy évtizednek kellett eltelnie, míg a „sugárzás” léte általánosan elfogadottá vált, és még többnek, amíg az is kiderült, hogy mit is fedeztek fel valójában. Így a születése és kutatói pályája kezdete között eltelt idő ellenére *Jánossy Lajos* még mindig igen alapvető kérdések tisztázásában tudott részt venni.

Idén, 2012-ben a kozmikus sugárzás felfedezésének centenáriuma alkalmából világszerte elég sok előadás, konferencia és népszerűsítő cikk foglalkozott a felfedezés körülményeivel, valamint a kozmikus sugárzási kutatások jelenlegi állásával, eredményeivel és további perspektíváival. Magyar nyelven a *Természet Világa* januári számában *Mészáros Péter* írt a felfedezés centenáriumáról és a nagyenergiájú komponens vizsgálatáról [1], e sorok írója pedig a felfedezést megelőző és az azt követő vitákról, valamint a *Jánossy-centenáriumról* [2]. A *Fizikai Szemle* július–augusztusi és szeptemberi számában *Kövesi-Domokos Zsuzsa* elemezte az extrém nagy energiájú kozmikus sugárzás vizsgálatának perspektíváit [3]. Angol nyelven két európai rendezvényt emelünk ki: Moszkvában a 23. európai kozmikus sugárzási szimpóziumon jelen szerző méltatta a kettős centenárium jelentőségét [4], a németországi Bad Saarowban pedig, ahol *Victor Hess* földet ért a felfedezésként később Nobel-díjjal elismert légballoonos mérései után, egy 3 napos konferencia taglalta az egyes kutatók szerepét a felfedezés-

ben, valamint a kozmikus sugárzási kutatások mai helyzetét és perspektíváit [5].

E cikkben röviden leírjuk a kozmikus sugárzás felfedezéséhez vezető utat és az azt követő vitákat, majd kitérünk a Potsdamban, majd Berlin-Dahlemben végzett kutatásokra és *Jánossy Lajos* ottani tevékenységére. Ezután *Jánossy* Angliában, a Blackett-laboratóriumban végzett alapvető fontosságú munkáiról és a dublini kozmikus sugárzási csoport megalakulásáról, majd *Jánossy* ottani tevékenységéről számolunk be. Végül foglalkozunk hazatérése utáni szerepével a KFKI kozmikus sugárzási és nagyenergiájú kutatásainak beindításában.

### A kozmikus sugárzási kutatások hősikora

A hősikor szerényen, egyáltalán nem hősiiesen indult. Már a 18. században, *Coulomb* kutatásai során kiderült, hogy egy jól szigetelő szálon lógó gömb töltése lassan elszívárog, és ez csak a gömböt körülvevő levegőn át történhet. A 19. század során kiderült, hogy a szivárgás a környező gáz nyomásától és minőségétől is függ, de a jelenség igazán érdekessé a radioaktivitás felfedezése után vált. Egyre pontosabb elektro-szkópokkal, illetve elektrométerekkel vizsgálták az ionizáló sugárzások és a töltés elszívárgásának kapcsolatát. Két lelkes és invenciózus német fizikatanár, *Julius Elster* és *Hans Geitel* először szabad levegőn tanulmányozta az elszívárgást különböző körülmények között, és azt rendkívül változónak találták, majd megállapították, hogy a szivárgás zárt térben, üvegharang alatt is jelentős. Később kiderült, hogy több cm-es ólomréteggel árnyékolt elektro-szkópban

lassul ugyan az elszivárgás, de nem szűnik meg, noha ilyen vastag ólomréteg minden addig ismert radioaktív sugárzást elnyel. *Charles Wilson* skót kutató felvette, hogy az ionizáló sugárzás nagy áthatolóképességű komponense esetleg nem a talajból vagy a légkörből, hanem a Föld légkörén kívülről származhat. Ennek ellenőrzésére 1901-ben vasúti alagútba vitte készülékét, remélve, hogy a vastag sziklaréteg kiszűri a kozmikus eredetű sugárzást. De az elszivárgás ekkor sem csökkent lényegesen, mire elvetette hipotézisét, és hajlott arra a véleményre, hogy a zárt edényben lévő levegő spontán módon ionizálódik.

Ezután az is kiderült, hogy a töltés elszivárgásáért több sugárforrás is felelős, így a talajban, a műszer anyagában és a levegőben lévő radioaktív anyagok is. De a leginkább áthatoló, ólommal csak részben leárnyékolható komponensre nem sikerült magyarázatot találni. Kiszámították, hogy a legáthatolóbb ismert gamma-sugárzásnak is szinte teljesen el kellene nyelődnie néhány száz méteres levegőrétegben. *Theodor Wulf* jezsuita atya 1910-ben az Eiffel-torony alatt és különböző szintjein végzett méréseket újonnan kifejlesztett műszerével, és azt találta, hogy 300 m magasságig a sugárzás még felére sem csökkent. *Domenico Pacini* olasz kutató a tenger és tavak felszínén és a víz alatt is végzett méréseket, és azt találta, hogy a sugárzás egy része felülről, vagyis nem a talajból vagy a vízből jön. Többben próbálkoztak ballonos felszállásokkal is, így *Albert Gockel* Svájcban és *Karl Bergwitz* Németországban. Műszerük azonban vagy elromlott, vagy a mért eredményt különböző rendellenességek miatt nem tekintették megbízhatónak.

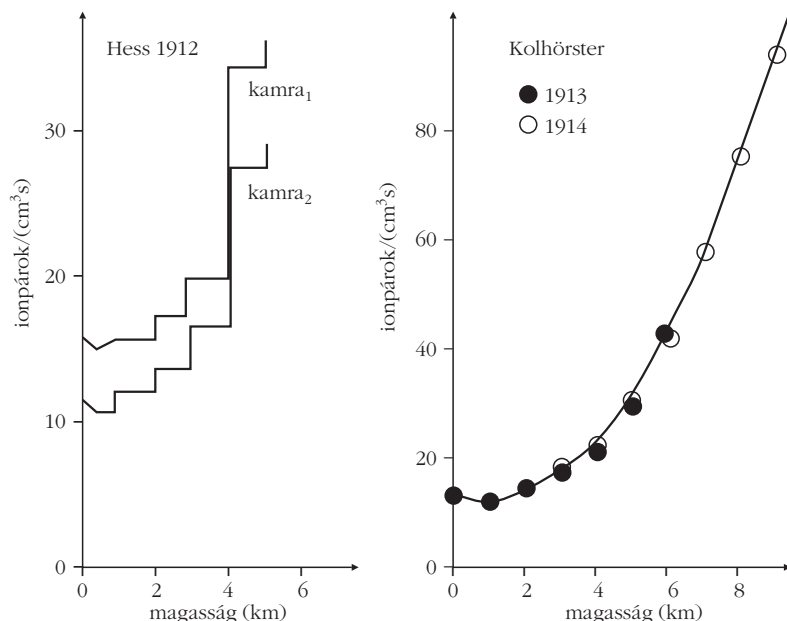
Victor Hess osztrák kutató, aki 1911-ben a bécsi Rádiumkutató Intézetben dolgozott, gondos tervet készített az áthatoló sugárzás eredetének vizsgálatára. A Wulf-féle elektrométer gyártó Günther és Tegetmeyer céggel karöltve több szempontból tökéletesítette

és nyomásállóbbá is tette a műszert. A Rádium Intézetben nagy mennyiségű rádium felhasználásával pontosan kimérte a gamma-sugárzás légköri abszorpcióját. Ezután következett első ballonos felszállása körülbelül 1 km magasságra 1911 augusztusában, amikor is a zárt edényben lévő levegő vezetőképességét körülbelül a földfelszínivel egyezőnek találta. Három lehetséges okot tudott elképzelni: 1) A légkör ismeretlen radioaktív anyagokat tartalmaz; 2) A talajból kiinduló sugárzás sokkal áthatóbb, mint az addig ismert radioaktív sugárzások; 3) Földünkön kívüli, kozmikus eredetű gamma-sugárzás (bár ezt nem tartotta valószínűnek). Ezután több éjszakai és nappali felszállás alkalmával ellenőrizte az észlelt jelenséget, sőt egy napfogyatkozás alkalmával is felszállt, és ekkor sem csökkent a zárt edényben lévő levegő ionizációja. Leszállás után a ballont mindig gondosan ellenőrizte, hogy nincs-e rajta radioaktív szennyezés. Az olcsó és könnyen hozzáférhető világítógáz-töltéssel nem lehetett mintegy 4000 m-nél magasabbra emelkedni, de sikerült elérnie, hogy 1912 augusztusában egy jóval drágább hidrogéntöltésű ballonnal is felszállhasson, és ekkor 5300 m-es szintet ért el. Augusztus 7-én hajnalban az Osztrák–Magyar Monarchia határához közeli Aussig (most Ústi nad Labem) közeléből szállt fel, és a Berlintől délkeletre fekvő Pieskow településnél szállt le. Az ionizáció 2–3000 m magasság felett jelentősen nőtt, és 4–5000 m körül a földfelszíni többszörösét érte el. Ebből jutott arra a következtetésre, hogy az ionizáció forrása felülről, valószínűleg a Föld légkörén kívülről jön. Mivel az egyetlen nagy áthatolóképességű sugárzás, amit ismertek, a gamma-sugárzás volt, természetes volt a feltételezés, hogy itt valami nagyon nagy energiájú gamma-sugárzásról lehet szó. Mindenesetre most ennek az 1912. augusztus 7-i felszállásnak a dátumát fogadjuk el a kozmikus sugárzás felfedezése napjának, és ennek centenáriumián vettem részt egy konferencián a leszállás helyén.

A korábbi ballonos méréseknél szerzett rossz tapasztalatok miatt azonban sokan nem hittek az eredmények megbízhatóságában, ezért igen nagy jelentősége volt annak, hogy az ezt követő két év során egy fiatal német kutató, *Werner Kolhörster* a műszert tovább tökéletesítette, és hidrogéntöltésű ballonjával jóval magasabbra, 9300 m-ig emelkedett. Az ionizáció itt már sokszorosa volt annak, amit Hess mért. Nem véletlen, hogy Jánosy Lajos a kozmikus sugárzás felfedezését nem egyedül Hessnek, hanem mindkettőjüknek tulajdonította, és a felfedezésről szóló 50 éves jubileumi előadását sem 1962-ben, hanem 1963-ban tartotta [6].

Az 1. ábra egymás mellett mutatja Hess és Kolhörster mérési eredményeit. Megjegyezzük, hogy a mért ionizációs ráták nem csak a kozmikus sugárzás által keltett

1. ábra. Hess és Kolhörster méréseinek összehasonlítása.





Charles T. R. Wilson



Victor Hess



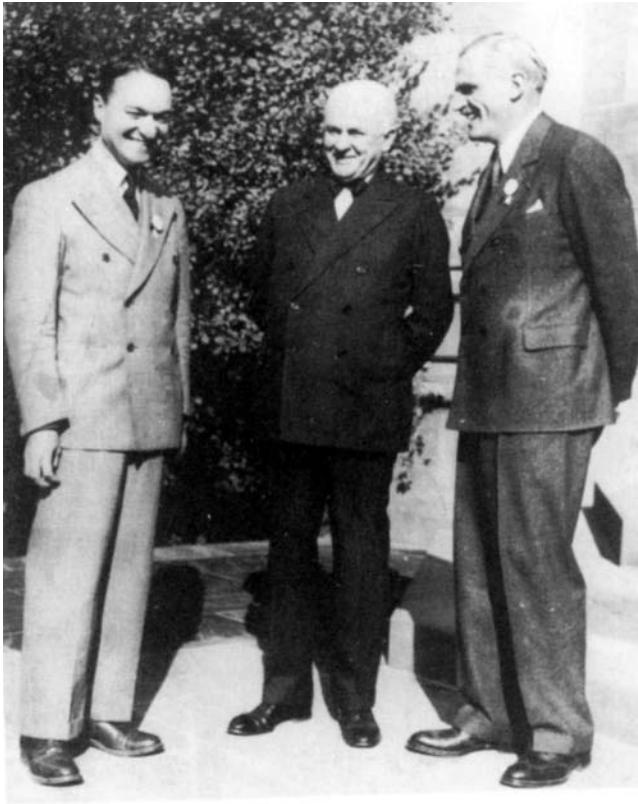
Werner Kolhörster



Carl Anderson



Patrick M. S. Blackett



Bruno Rossi, Robert Millikan, Arthur Compton



Domenico Pacini

2. ábra. A kozmikus sugárzási kutatások úttörői (jobb oldalt néhány korabeli elektroszkóp is látható).

ionizációt, hanem más ionizációs hatásokat is tartalmaznak, amelyek az eltérő talajviszonyok és a műszerek különböző anyaga miatt eltérhetnek egymástól. Nagyobb magasságokon viszont a kozmikus sugárzás hatása dominál. Akkoriban az ionizációs rátát a köbcentiméterenként 1 másodperc alatt keltett ionpárok számával mérték, és  $I$ -vel jelölték. Mai tudásunk szerint a tengerszinten a kozmikus sugárzás járuléka körülbelül  $I = 1,8$ , de ez a teljes ionizációs rátának csak 10-15%-a. Mint az ábrából látható, Kolhörster észlelési magasságán a kozmikus sugárzás intenzitása a földfelszíninek sokszorosa volt. A nagy magasságokban észlelt sugárzásról feltételezték ugyan, hogy az Földünkön kívüli eredetű, megnevezésére mégsem a „kozmos sugárzás” német megfelelőjét, hanem a „Höhenstrahlung” vagy „Ultra-Gammastrahlung” (magassági vagy ultragammasugárzás) kifejezést használták.

Bár az 1. ábrán bemutatott eredmények egymással konzisztensek, megbízhatóságukban a korábbi kudarcok miatt többen továbbra is kételkedtek. A világháború kitörése az ellenőrző méréseket egyelőre megakadályozta. A háború után érthető módon először Amerikában kezdtek ilyen irányú kutatásokba. Automatikus észlelő műszereket bocsátottak fel szondázó ballonokon mintegy 16 km-es magasságba, de az ionizáció növekedését a korábbi német méréseknél kisebbnek találták. Eredményeiket és a kísérletek menetét azonban csak igen vázlatosan közölték. Később egy 4300 m-es hegyen (Pikes Peak) végeztek abszorpciós méréseket, és úgy találták, hogy egy vastag ólomréteggel körülvett elektrométer ionizációs adatai jól értelmezhetők a környezet sugárzása segítségével, áthatoló Földön kívüli sugárzási komponens feltételezése nélkül. A vizsgálatok vezetője Robert



*Millikan* volt, aki az elektron töltésének meghatározásáért 1923-ban fizikai Nobel-díjat kapott, így véleményére sokat adtak. Az osztrák és német kutatókat még inkább elkéséltette, amikor Millikan 1925-ben különböző magasságokban fekvő hegyi tavak mélyén végzett ionizációs mérések alapján arra a következtetésre jutott, hogy egy kozmikus eredetű sugárzás mégis létezik, de ennek felfedezését – legalább is implicite – magának tulajdonította. Ekkor vezette be Millikan a „kozmos sugárzás” megnevezést, de Amerikában a népszerűsítő cikkek nagyrészt „Millikan-sugárzásról” beszéltek. Kolhörster viszont (és németországi kutatásai során később Jánossy is) a „Höhenstrahlung” kifejezést használta. Az elsőbbség kérdése ugyan 1936-ban, a felfedezésért járó Nobel-díj Victor Hessnek ítérlésével egyértelműen eldőlt, de Hessben sok keserűség maradt, amit egyik forrás szerint [7] magyar kolégájának, *Forró Magdán*nak a díj átvétele után 16 oldalas kézírásos levélben panaszkodott el.

Az 1920-as években Európában is újra fellendült a kutatás. Bár Kolhörster először kénytelen volt középiskolai tanítástól megélni, 1923-tól nyaranta már svájci magashegyi expedíciókat tudott szervezni *Walther Nernst*, az 1920. évi kémiai Nobel-díjas támogatásával, aki kozmológiai elméletét szerette volna a kozmos sugárzási vizsgálatok segítségével igazolni. A Jungfrau közelében, részben gleccserhasadékokban végzett mérések új információkat adtak a kozmos sugárzás elnyelődésére és irányeloszlására nézve. Később az ionizációs kamrák összekalibrálásával azt is sikerült igazolnia, hogy a kozmos sugárzás magasságfüggésére kapott háború előtti európai eredmények valóban jó értéket adtak, míg az amerikaiaknál voltak hibák. Azt azonban egyelőre senki sem vonta kétségbe, hogy az áthatoló sugárzás elektromágneses jellegű.

A kutatásnak új lendületet adott *Dmitry Szkolbelcin* szerencsés felfedezése. Ő Wilson-féle ködkamrában gamma-sugárzás Compton-effektusát vizsgálta, és váratlanul a gamma-sugárzástól független eredetű nyomokat talált, amelyeket a mágneses tér nem, vagy csak gyengén térít el. *Walter Bothe* és *Werner Kolhörster* ezután Geiger–Müller-csöves koincidencia-elrendezéssel megvizsgálta e töltött részecskéknél vastag abszorbensekben való elnyelődését, és az abszorpciós együtthatót hasonlóan találták, mint amit korábban ionizációs kamrákkal a kozmos sugárzásban mértek. Ebből az derült ki, hogy a kozmos sugárzás – legalább is kis tengerszint feletti magasságokban – nagyrészt nem gamma-sugárzásból, hanem valamilyen töltött részecskékből áll. A koincidencia-módszert Firenzében (az Arcetri obszervatóriumban) *Bruno Rossi* és csoportja fejlesztette tovább.

Innen már csak egy lépés volt erős mágneses teret tartalmazó Wilson-kamrában a pozitron felfedezése (*Carl Anderson*), valamint annak kimutatása, hogy a gamma-sugárzás elektron-pozitron párt képes kelteni (*Blackett* és *Occhialini*). Az utóbbi felfedezést egyébként az tette lehetővé, hogy Giuseppe Occhialini magával vitte Rossi koincidencia-technikáját Cambridge-

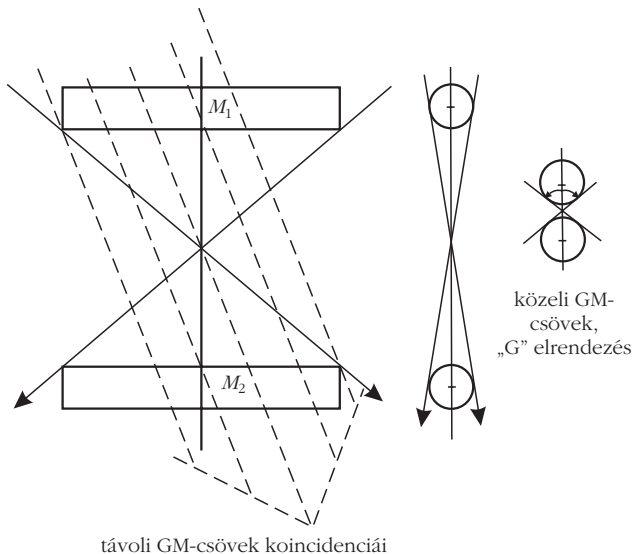
be, és ezzel triggerelte a Wilson-féle ködkamrát. Így a kamra minden expanziója alkalmával hasznos felvételeket lehetett készíteni. E töltött részecskéknél végzett kísérletek jelentették a kozmos sugárzás részecskefizikai felhasználásának kezdetét. Később *Anderson*, *Blackett* és *Bothe* is elnyerte a Nobel-díjat.

Más irányú volt, de még szintén a kozmos sugárzás kutatásának hőskorához tartozott az intenzitás földrajzi szélességtől való függésének bizonyítása, ami *Jacob Clay* és a már korábban Nobel-díjas *Arthur Compton* nevéhez fűződött, valamint a kelet-nyugati aszimmetria kimérése. Ezekből kiderült, hogy a Föld mágneses terén át a légkörbe érkező kozmos sugárzási részecskék is töltöttek, mégpedig pozitív töltésűek. A hőskor úttörőit a 2. ábrán mutatjuk be.

## Jánossy Lajos Kolhörster laboratóriumában

1928 és 1930 között *Werner Kolhörster* a Porosz Akadémia támogatásával kozmos sugárzási laboratóriumot hozott létre Potsdamban, de emellett a berlini egyetemen is tanított. Ez lett azután a világon az első kimondottan kozmos sugárzási kutatások céljára épült laboratórium. Munkatársai egy-két tapasztalt kutató mellett főleg diákok voltak. Kolhörster egyik tapasztalt munkatársa *Leo Tuwim* volt, aki korábban Leningrádban *L. Myssowsky* munkatársaként már több fontos eredményt ért el, különösen a kozmos sugárzás abszorpciójával kapcsolatban. Potsdamban főleg elméleti munkát végzett, a kozmos sugárzás irányeloszlása mérésének módszertanát dolgozta ki egyedülálló és koincidencia-elrendezésű Geiger–Müller (GM) csövekkel, meglehetősen bonyolult matematikai apparátust és viszonylag sok feltevést használva. Miután Tuwim 1933-ban egy dél-franciaországi autóbalesetben elhunyt, a fiatal Jánossy vette át munkáját, majd a korábbi elméletet általánosította és jelentősen egyszerűsítette. Első dolgozatát e témakörben 1934 februárjában írta *Zählrohrinvarianten* (Számológépső-invariánsok) címen. Kolhörsterrel közösen, 1934 őszén írt cikkükben már a „Jánossy-féle koincidencia-elmélet” alapján határozzák meg a kozmos sugárzás irányeloszlását. Később Jánossy doktori disszertációját is e témakörből írta.

A korábbi, ionizációs kamrával végzett irányeloszlás-mérésekhez képest a GM-csövek nagy előnye az volt, hogy már az egyes csövek beütésszáma is függött a cső irányításától, két párhuzamos cső koincidenciái segítségével pedig elvileg bármilyen kis térszögben ki lehetett mérni az intenzitást. Mivel azonban ekkor a koincidencia-idők még elég nagyok voltak, távoli csövek esetén a véletlen koincidenciák váltak túlnyomóvá. Tuwim és később Jánossy módszerével közeli csövek (úgynevezett G-elrendezés) segítségével nagy koincidencia-rátát lehetett elérni, és néhány irányban végzett mérésből integrálegyenlet megoldásával lehetett megkapni a valódi irányeloszlást. A távoli csövekkel és G-elrendezésben végzett mérések elvét a 3. ábrán mutatjuk be.



3. ábra. Koincidencia-elrendezés távoli és közeli GM-csővekkel.

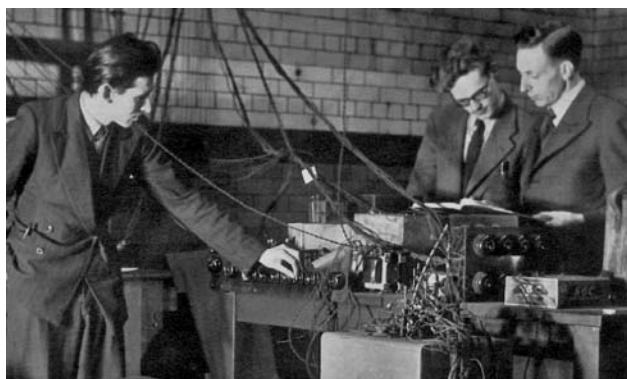
Kolhörster Potsdam után Berlin-Dahlemben épített az egyetemhez kapcsolódó modernebb laboratóriumot, és Jánossy ott is több értékes kutatást végzett. Sokan hivatkoztak például arra az elméleti munkájára, amely a Nap feltételezett mágneses terének a primer kozmikus sugárzás energia- és irány-eloszlására gyakorolt hatásával foglalkozott. Az akkori ismeretek a Nap mágneses teréről persze még elég kezdetlegesek voltak, hiszen a napszél és hatásai még nem voltak ismertek.

A Németországban eluralkodó politikai légkör miatt 1936 végén Jánossy Londonba távozott, ahol Patrick Blackett laboratóriumában kezdett dolgozni.

## Jánossy kutatásai Blackett londoni és manchesteri laboratóriumában

Patrick Blackett 1933 és 1937 között a londoni Birkbeck-kollégiumban volt professzor, majd 1937 őszén átvette a manchesteri fizika tanszék vezetését, amit nemzetközi viszonylatban is elsőrangú laboratórium má fejlesztett. Jánossy a Birkbeck-kollégiumban először a kozmikus sugárzás különböző vastagságú ólomrétegekben való elnyelődését vizsgálta részben a

4. ábra. Jánossy, Broadbent és Rochester 1944-ben, manchesteri laboratóriumukban.



felszínen, részben a Holborn metróállomáson, 30 méteres agyagréteg alatt. Ezután egyre inkább a kozmikus sugárzás lokális és kiterjedt záporai felé fordult érdeklődése. Több ilyen témájú kutatásban vett részt még azelőtt, hogy Blackett és a tanszék nagy része elhagyta Manchestert, és különböző katonai projektekbe (operációkutatás, radartechnika) kapcsolódott be. A még viszonylag békés időszakban dolgozott együtt *Bernard Lovell*-el, a rádiócsillagászat későbbi vezető kutatójával, Bruno Rossival, aki a kozmikus sugárzási kutatások egyik úttörője volt, és *Peter Ingleby*-vel, aki sajnos hamarosan egy katonai repülő kipróbálása közben életét veszítette. Különösen fontos volt az 1940-ben Peter Inglebyvel közös cikkük, ami az úgynevezett áthatoló záporok felfedezésének tekinthető (ugyanabban az évben *Gleb Wataghin* Brazíliában tőlük függetlenül hasonló eredményre jutott). Bár az 1938-ban felfedezett kiterjedt légzáporok csak kis hányadban tartalmaznak áthatoló részecskéket, ezek kimutatása és tulajdonságaik vizsgálata igen fontos volt a részecskefizika szempontjából.

A háború idején Jánossy elsősorban *George Rochester*-tel együtt folytatta az áthatoló záporok vizsgálatát, ködkamrás és igen ötletes koincidencia-antikoincidencia elrendezések segítségével. Volt olyan berendezésük, amelybe mintegy 15 tonna ólomárnyékolást építettek be, és a berendezéseket nagyrészt a saját kétkezi munkájukkal állították össze. A 4. ábra egy ilyen berendezés mellett mutatja a két kutatót egyik tanítványukkal. E munkákról, valamint Rochester és *Butler* részben ezeken alapuló későbbi felfedezéseiről (az első ritka részecskéről) George Rochester halála után, 2002-ben már részletesebben beszámoltam a *Fizikai Szemlé*ben [8]. E munkák nemzetközi visszhangjára jellemző, hogy Carl Anderson a háború után fájalta, hogy B-29-es repülőn végzett kísérleteiben nem használta fel Jánossy ötleteit, amelyek segítségével a ritka részecskék százeit találhatta és vizsgálhatta volna meg.

A kísérletek elméleti értelmezésében segített, hogy *Walter Heitler* ekkor Dublinban dolgozott, és Jánossy vele többször konzultált, majd közös munkákra került sor. Sőt, 1945-ben egy nyári iskola alkalmával előadássorozatra hívták Jánossyt, majd szenior professzorként egy ottani kutatócsoport megalakítására kértek fel. Már korábban is gondoltak a dublini intézet geofizikai és kozmikus részleggel való kibővítésére Victor Hess vezetésével, vele azonban a tárgyalások 1943-ban megszakadtak, mint azt *Luke Drury*től, a Királyi Ír Akadémia jelenlegi elnökétől megtudtam. Az 5. ábra Jánossyt az 1945-ös iskola néhány illusztris résztvevőjével mutatja.

## Közjáték Dublinban

Jánossy 1947-től 1950-ig vezette a DIAS (Dublin Institute for Advanced Studies) kozmikus sugárzási részlegét. Adminisztratív, anyagi és technikai tényezők is nehezítették a kísérleti munkát, ezért ideje nagy részét inkább a korábbi eredmények összegzésére és a



5. ábra. Jánossy de Valera és Dirac, illetve Born és Schrödinger társaságában 1945-ben.

kozmosz sugárzás elméletének továbbfejlesztésére fordította. Ekkor írta meg monográfiáját a kozmosz sugárzásról [8], dolgozta ki Walter Heitlerrel a kiterjedt légitáporok kaszkádelméletét, majd – részben az Intézet első igazgatója és Jánossy korábbi professzora, *Erwin Schrödinger* hatására – ekkor kezdett el alaposabban foglalkozni a hullámmechanika és relativitáselmélet alapkérdéseivel. Amikor a szervezés stádiumában lévő KFKI-ba hivatalos meghívást kapott Budapestről, ahová Jánossy édesanyja és nevelőapja már korábban visszatért Moszkvából, úgy döntött, hogy családjával együtt ő is hazatér.

## Kozmosz sugárzási kutatások szerepe a KFKI kezdeti időszakában

Az 1950-ben hivatalosan megalakult Központi Fizikai Kutató Intézet egyik első részlege volt a Jánossy vezette Kozmosz Sugárzási Osztály. Bár a kozmosz sugárzási kutatásoknak voltak már hazai előzményei (az 1948-ban Amerikába települt Forró Magda és *Barnóthy Jenő* bányákban végzett mérései), a szakértő gárda fiatal és igen szűk volt. A KFKI telephelyén a tényleges munka 1951-ben kezdődött el. Az osztálynak 1951 végén már 32 munkatársa volt, megindult a mechanikai, elektromos és üvegtechnikai műhelyek kialakítása. Ami a tudományos kutatást illeti, Jánossy először külföldön már elvégzett mérések reprodukcióját, az adatfeldolgozási módszerek begyakorlását és az eredmények elméleti megvitatását, megértését szorgalmazta. E módszer szinte automatikusan vezetett el később új, publikálható eredmények eléréséhez. Technikai téren beindult a GM-csővek tömeges gyártása, a mérésekhez szükséges mechanikai és elektronikai berendezések fejlesztése. A ma Jánossy-akna néven ismert körülbelül 28 méter mély, függőleges akna és az ahhoz kapcsolódó hat, különböző mélységekben lévő vízszintes alagút a kozmosz sugárzási mérések mellett más, rezgésmentes és állandó hőmérsékletű környezetet kívánó kutatások számára is lehetőséget adott (például optikai mérések). A kiterjedt légitáporok tanulmányozására

könnyűszerkezetű faépületek épültek, e kutatások azonban később leálltak, és az épületeket más célokra használták fel. A kozmosz sugárzás „ingyenes” nagyenergiájú részecskéi sokat segítettek az ekkor világszerte fellendülő gyorsító mérések detektorainak beüzemelésében is.

A Kozmosz Sugárzási Osztály dolgozóiról 1954 és 1956 között fényképalbum készült, ennek alapján mutatjuk be a 6. ábrán a Jánossy-házaspár mellett a kozmosz sugárzási, űrkutatási és részecskefizikai kutatások három, később nemzetközileg is ismertté és elismertté vált szereplőjét: Fenyves Ervint, Somogyi Antalt és Kiss Dezsőt.

A *Fizikai Szemle* 1990/7. számának 194. oldalán *Marx György* írt *Szubjektív fizikatörténet* címen áttekintést a hazai fizikai kutatásokról. Ebben Jánossy fentebb leírt hazai tevékenységét a következőképpen jellemzi:

6. ábra. Arcképek a KFKI Kozmosz Osztály fényképalbumából.



Jánossy Lajos

Jánossy Lajosné



Fenyves Ervin

Somogyi Antal

Kiss Dezső

„Forró Magda és Barnóthy Jenő szerény Puskin-utcai megfigyelései után a kozmikus sugárzás kutatását a hazatért Jánossy Lajos profi kísérleti vállalkozás rangjára emelte: a kiterjedt légizáporok felszíni és föld alatti tanulmányozására sorozatban gyártott detektorokkal, statisztikailag mintaszerű mérésfeldolgozással gyakorlatban mutatott példát a Nagy Tudomány módszerére. Jánossy Lajos történelmi érdeme, hogy a magyar fizikusokat megtanította a korszerű mérésfeldolgozásra. Ez nagyon jól jött évek múlva, amikor a számítógépes mérésvezérlés és adatfeldolgozás elterjedt.”

Irodalom

1. Mészáros P.: A kozmikus sugárzás 100 év után. *Természet Világa*, 2012. január, 6.
2. Király P.: Kettős centenáriumi: a kozmikus sugárzás és Jánossy Lajos. *Természet Világa*, 2012. január, 10.

3. Kövesi-Domokos Zs.: Kozmikus sugárzás extrém energiákon I–II. *Fizikai Szemle* 62 (2012) 234–239, 298–300.
4. Király P.: Two Centenaries: the discovery of cosmic rays and the birth of Lajos Jánossy. 23rd ECRS (Európai Kozmikus Sugárzási Szimpózium), Moszkva, 2012. <http://www.kfki.hu/~pkiraly/KiralyP2012Moszkva.pdf>
5. 100 years of cosmic rays – Anniversary of their discovery by V.F. Hess. Centenárium konferencia Bad Saarow/Pieskowban, 2012. <https://indico.desy.de/conferenceOtherViews.py?view=standard&confid=4213>
6. Jánossy L.: Zum Gedenken an den vor 50 Jahren erbrachten Nachweis der Existenz der kosmischen Strahlung durch V.F. Hess und W. Kolhörster. *Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Vorträge und Schriften*, Heft 93 (1964)
7. Ziegler C. A.: Technology and the Process of Scientific Discovery: the Case of Cosmic Rays. *Technology and Culture* 30/4 (1989) 959.
8. Jánossy L.: *Cosmic Rays*. Clarendon Press, London, 1948 és 1950.
9. Király P.: A manchesteri kozmikus sugárzási iskola és a ritka részecskék felfedezése. *Fizikai Szemle* 52 (2002) 186. <http://www.kfki.hu/fszemle/archivum/fsz0206/kiraly0206.html>

## A JÁNOSY-FÉLE FOTONKÍSÉRLETEK JELENTŐSÉGE

Varró Sándor  
MTA, Wigner FK, SZFI

A múlt század ötvenes éveiben elvégzett *Jánossy-féle fotonkísérletek* [1, 2] a fény kettős természetére vonatkozó alapkísérleteknek tekinthetők, abban az értelemben, hogy a fényből történő diszkrét energiaabszorpciók (fotonszámlálás) és a fény hullámszerű terjedéséből eredő interferenciajelenségek első együttes vizsgálatát testesítik meg. Az ehhez szükséges legfőbb kísérleti feltételt az akkoriban elterjedő fotoelektron-sokszorozó alkalmazása jelentette, ezt az eszközt korábban ilyen célra nem használták. Ezekről a kísérletekről már több közlemény jelent meg a *Fizikai Szemle* hasábjain, amelyek közül kiemeljük *Varga Péter* 2009-ben publikált cikksorozatát [3]. E sorozatban – a kísérletek részletes elemzésén túl – a szerző (aki annak idején a kísérletek elvégzésében résztvevő munkatárs volt) visszaemlékezései mellett sok magyar nyelvű referencia is megtalálható, amelyek többségének idézésétől itt eltekintünk.

A Jánossy-kísérletek alapgondolatának kialakulása és eredeti motívumai jól nyomonkövethetők *Jánossy Lajos* és *Erwin Schrödinger* 1952-ben kezdődött és 1958-ig tartó levelezésében [4], amelynek egyik fő témája a fény természete, kvantumtulajdonságainak értelmezése volt. Éppen ebben az időszakban jelentek meg a kísérletek első eredményei is, ezért természetesen adódik, hogy e levelezésből idézzünk:

„Kedves Schrödinger Professzor!

... Mindenesetre arra törekedtem, hogy tisztán lássam, mire jutunk, ha megkíséreljük a kvantumelméletet az általánosan elterjedt nézetektől megszabadítani, és az ismert kísérletekből nyert anyagot mégegyszer összefoglalni. Emellett arra törekedtem, hogy lehetőleg a ténylegesen elvégzett kísérletekre támaszkodjam, nem

pedig gondolat-kísérletekre, amelyeket nem lehet elvégezni. Mindig abból indultam ki, hogy az elektronok, fotonok stb. ténylegesen léteznek, és pedig függetlenül attól, hogy mit gondolunk róluk. Röviden, megpróbáltam *Mach* nézeteit következetesen elkerülni. ... Néhány kísérletet ebben az irányban meg is kezdtem. Először megpróbáltam kísérletileg igazolni, hogy a fotonok még a koherens sugarakban is függetlenek egymástól. Pontosabban, egy fénysugarat egy félig ezüstözött tükör segítségével két összetevőre bontok, és mindkét sugármenetbe fotonszámlálót helyezek. Ezzel azt kívánom kimutatni, hogy a fotonszámlálók között nem lép fel koincidencia; ez azt jelenti, hogy minden egyes foton egyik vagy másik úton halad.

Aligha kétséges, hogy e kísérlet eredménye azt a felfogást fogja igazolni, hogy minden egyes foton egyik vagy másik utat választja. Ez az eredmény azonban meglehetősen különös, ha meggondoljuk, hogy a fotonszámlálók tükörrel helyettesíthetők, és ekkor egy Michelson-interferométert kapunk: az interferométer interferenciaképe ugyanis fotonszámlálók segítségével is letapogatható. Ilyen letapogatásnál annak kell kiderülnie, hogy *minden* foton kerüli az interferenciaminimumokat, holott a minimumok helyzetét *mindkét* tükör helyzete együttesen határozza meg. Az interferenciakísérlet (ellentétben a koincidenciakísérlettel) tehát – úgy tűnik – azt bizonyítja, hogy minden foton *mindkét* tükörrel kölcsönhatásban áll, azaz mintha mindkét foton valamiképpen mindkét úton haladna.

Ezeket a kísérleteket (a biztonság kedvéért) mind el kell végezni, hogy a tényállást tisztázhassuk. Mint-hogy azonban valószínűtlennek látszik, hogy ezek a kísérletek váratlan eredményre vezetnének, el kell

gondolkozni azon, hogy a paradoxon hogyan oldható fel értelmesen. Az a »posztulátum«, hogy a hullám-elképzelést és a részecske-elképzelést »nem szabad« egyszerre alkalmazni, számomra egyáltalán nem elégtő.”<sup>1</sup>

„Kedves Jánossy Úr!

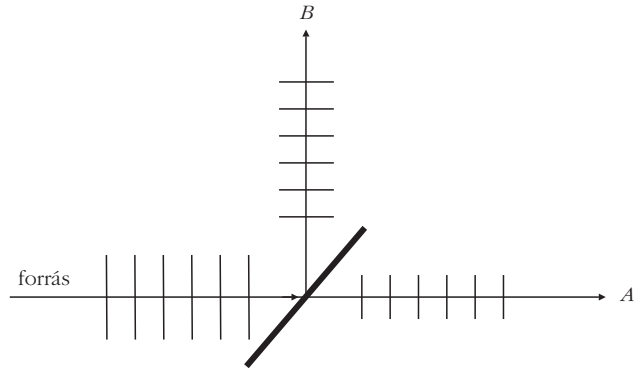
... Igen, teljesen az Ön véleményén vagyok, hogy vannak olyan kísérleti elrendezések, ahol a híres komplementaritási magyarázkodással nem jutunk előbbre, hanem részben a részecske-elképzelést, részben a hullám-elképzelést kell alkalmazni, ami nem nagyon szép. Nagyon örülök, hogy előkészíti a foton-kísérletet, annak ellenére, hogy annak kimenetelében éppen olyan kevésbé kételkedem, mint Ön. ... Szép volna, ha egy ilyen hasítási kísérlet (»Spaltungsversuch«) elektronokkal is elvégezhető lenne. Ehhez azonban elektronok számára is kellene egy interferométert szerkeszteni, ami a rövid hullámhosszak miatt aligha lehetséges makroszkopikus méretekben. És nem csak a rövid hullámhosszak miatt; nagyon pontosan meghatározott energiájú elektronokat kellene használni, különben a »longitudinális koherencia« már egészen kis útkülönbségnél is elmosódik. ...”<sup>2</sup>

Az 1. ábrán a Jánossy levelében elsőként említett kísérleti elrendezés sémája látható. Ha az  $A$  és a  $B$  detektorokkal egy mérőszorozat során, adott időintervallumban mért beütésszámokat  $N_A$ -val és  $N_B$ -vel jelöljük, akkor ezek véletlen egész számok. A sorozatok eredményeinek alapján számítható  $\langle N_A \rangle$  és  $\langle N_B \rangle$  átlagok egyenes arányban lesznek a megfelelő  $P_A$  és  $P_B$  egyes fotondetektálási valószínűségekkel. Hasonlóan, a mért együttes beütések (koincidenciák) számának átlaga,  $\langle N_{AB} \rangle$  az adott időintervallumokra vonatkozó incidenciák  $P_{AB}$  valószínűségével lesz arányos.

Egy  $T$  idő alatt  $f$  számlálási frekvenciával végzett folyamatos mérés során legyen  $C_A = P_A f T$  és  $C_B = P_B f T$  a detektorok által mért teljes beütésszám, valamint  $C_{AB} = P_{AB} f T$  az együttes beütések száma. Ezek teljes számát a véletlen incidenciák ( $C_A C_B$ ) várható számával elosztva kapjuk az ilyen típusú kísérletek eredményének egyik fő jellemzőjét, a  $K$  normált incidencia számot:

$$K = \frac{C_{AB} f T}{C_A C_B} = \frac{P_{AB}}{P_A P_B}. \quad (1)$$

Amennyiben a mérés során  $K = 1$  adódik, akkor ez azt jelenti, hogy a detektálási események között nincs szisztematikus incidencia, vagyis  $N_A$  és  $N_B$  függetlenek. Ezt a konklúziót a híres Ádám–Jánossy–Vargakísérlet [1] szerzői így fogalmazták meg szemléletesen: a féligáteresztő tükörrre eső fotonok nem hasadnak fel, hanem véletlenszerűen vagy az egyik vagy a másik irányban haladnak. Bár a foton »öninterferenciájára« vonatkozó kísérlet [2] szorosan kapcsolódik e témához, az alábbiakban, terjedelmi okok miatt, csak az 1. ábrán vázolt kísérlet jelentőségével foglalkozunk.



1. ábra. A Jánossy által vázolt első kísérleti elrendezés [1] sémája: „... egy fénysugarat egy félig ezüstözött tükör segítségével két összetevőre bontok, és mindkét sugármenetbe fotonszámológót helyezek. Ezzel azt kívánom kimutatni, hogy a fotonszámológók között nem lép fel incidencia...”.

Jánossy szóhasználata alapján úgy gondolhatnánk, hogy az elektromágneses sugárzás energiájának kvantáltóságát egyben azonosította annak lényegében pontszerű lokalizáltságával. Ez azonban igen megalapozatlan következtetés lenne; elég csak arra emlékeztetnünk, hogy Jánossy a fizikai (hullám-) optika kutatásának kiemelkedő képviselője volt. Schrödinger érvelésében is kulcsfontosságú elem, az elektronokkal elvégzendő »Spaltversuch«-hal kapcsolatban, a »longitudinális koherencia« fogalma. A fent idézett levelekben mindkét partner inkább a hullámok kvantumosságának felhasíthatatlanságára gondolhatott, hasonlóan Louis de Broglie-hoz, aki emellett azt is hangsúlyozta, képtelenség hogy egy pontszerű objektumnak rezgésszáma legyen. Ezzel egybecseng Max Plancknak Einstein »fénykvantumaival« és a »tűsugárképpel« kapcsolatos véleménye is, amely szerint »a hullámfront nem foltos« (»nicht fleckig«). A »hullám-részecske kettősség« rejtélye már az 1920-as évek második felében – elsősorban P. A. M. Dirac és P. Jordan munkái nyomán – a sugárzás kvantumelméletében keretében megoldást nyert. Ennek ellenére a pontszerű foton képe végigvonult a kvantumfizika történetén, s számos látszólagos paradoxon képzetét keltette.

A jelen elemzést a fentebb vázolt paradoxonok egyik gyökerének ismertetésével folytatjuk, s megkíséreljük érzékeltetni, hogy szerintünk milyen »általános elterjedt nézetektől« kívánta megszabadítani Jánossy Lajos a kvantumelméletet. Ezzel – reményeink szerint – egyben meg is találjuk a Jánossy-féle fotonkísérletek jelentőségének igazi tartalmát.

## A fénykvantum fogalma és a fotoeffektus értelmezése

A fénykvantum fogalmát Albert Einstein vezette be 1905-ben *A fény keltésére és átalakulására vonatkozó heurisztikus nézőpontról* című első híres cikkében. A cikkben Einstein bebizonyította, hogy »Kis sűrűségű (a Wien-féle sugárzási képlet érvényességi tartományán belül) monokromatikus sugárzás hőelméleti

<sup>1</sup> Jánossy L. levele E. Schrödingerhez, 1953. január 22.

<sup>2</sup> E. Schrödinger válaszelevele Jánossy Lajoshoz, 1953. február 4.

szempontból úgy viselkedik, mintha  $h\nu$  nagyságú, egymástól független energiakvantumokból állna.” A „kis sűrűségű” jelző a  $kT_B \ll h\nu$  feltétel teljesülését jelenti (ahol  $k$  a Boltzmann-állandó és  $T_B$  a sugárzás abszolút hőmérséklete), a „monokromatikus” szó igen kis  $\Delta\nu$  spektrális szélességet jelent, vagyis  $\Delta\nu \ll \nu$ . Einsteint elsősorban *Lénárd Fülöp* (Philipp Lenard) fényelektromos jelenségre vonatkozó, addig megmagyarázatlan kísérleti eredményei motiválták, s ezekre elegáns értelmezést adott; a fémfelületre eső fénykvantum  $h\nu$  energiája (amennyiben elegendő) egyrészt az adott elektron fémből való kilépéséhez szükséges energiát szolgáltatja (kilépési munka:  $A$ ), és a fennmaradó rész pedig a kiszabaduló elektron  $E_k$  kinetikus energiájává konvertálódik, vagyis  $h\nu = A + E_k$ . Ezen alapvető egyenlet felállítása mellett azonban Einstein már a cikk bevezetőjében egy sokkal „forradalmibb” kijelentést is tesz, nevezetesen: „Az itt kifejtésre kerülő felfogás szerint az egy pontból kiinduló fénysugarak szétterjedésénél az energia nem folytonosan, egyre nagyobb és nagyobb térrészre oszlik el, hanem *véges számú térbeli pontban lokalizált energiakvantumból áll*, amelyek úgy mozognak, hogy nem bomlanak részekre, s csak mint egységes egészek nyelődhetnek el vagy keletkezhetnek.” Ez a kijelentés azonban nincsen semmilyen levezetéssel alátámasztva, és a fotoeffektus megmagyarázásához sem szükséges a pontszerűség feltételezése.

Az ötven évvel később publikált fotonkorrelációs kísérletek fogadtatásával és értelmezésével kapcsolatban fontos körülmény, hogy (különösen amerikai kutatók körében) széleskörűen elfogadott volt az a téves elképzelés, hogy a fotoeffektus leírásához az elektromágneses sugárzás kvantálása szükséges. Ráadásul a kvantáltsághoz a részecskeképet asszociálták. Ezért jelenthetett nagy „szenzációt” 1968-ban *Lamb* és *Scully* „provokatív” címmel megjelenő publikációja: *Fotoelektromos effektus fotonok nélkül*. Itt a szemiklasszikus leírást alkalmazták, amely szerint az Einstein-egyenlet ( $h\nu = A + E_k$ ) nem más mint az elektronhullám átmenti sűrűségében egy időben periodikus elektromos tér által okozott kvantummechanikai rezonancia következménye. Az, hogy a fotoeffektusban a Planck-állandó „nem a fénytér tulajdonságaként jelenik meg”, már a húszas évek második felében ismert volt. Ezzel kapcsolatban itt megelégedhettünk például *Sommerfeld*, *Bethe* vagy *Wentzel* igen részletes munkáinak említésével. Ezeket az eredeti munkákat azonban, mint látjuk, igen kevesen ismerhették később. 1995-ben *Lamb* az *Anti-photon* [7] című cikkében már-már rezignáltan jegyzi meg, hogy „Visszatekintve, világos, hogy Einstein kissé felforgatta a dolgokat. El kellett volna fogadnia a Maxwell-egyenleteket, mivel ezek Lorentz-invariánsak.” Cikkét a következőképpen zárja: „Legfőbb ideje, hogy felhagyjunk a foton szó és egy rossz koncepció használatával, amely rövidesen egy évszázados. A sugárzás nem részecskekből áll, és a Sugárzás Kvantumelméletének klasszikus, vagyis nem-kvantumos határesetete a elektromágneses terek Maxwell-egyenleteivel írható

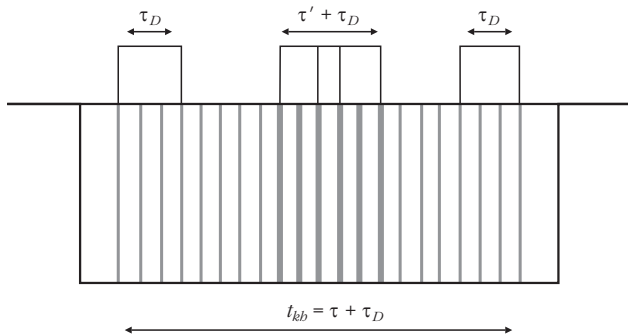
le, amelyek nem tartalmaznak részecskeket. A részecske fogalmát használva a sugárzási térről beszélni olyasmiról, mintha olyan felszínes kifejezéseket használnánk, hogy »You know« vagy »I mean«, amelyeket nagyon gyakran hallunk bizonyos kultúrákban.” *Lamb* észrevételei részben összecsengenek azzal, amit pár évvel halála előtt maga Einstein írt legjobb barátjának: „Teljes ötven év töprengése sem vitt egy kicsit sem közelebb a kérdés megválaszolásához: mik a fénykvantumok? Manapság minden lump azt hiszi hogy tudja a választ, de becsapja magát.” (Einstein levele *Bessónak*, 1951. december 12.) *Lamb* véleménye ma is helytálló lenne; a fénykvantumokat sokan még ma is klasszikus részecskeként képzelik el.

Az energia kvantumosságának és a térbeli lokalizáltság *képének* összekapcsolása számos fontos kísérlet elvégzését motiválta a múlt század elején [5], ugyanakkor időközben súlyos teherré vált, elsősorban a nyálékkísérletekben mért kvantumkorrelációk helyes értelmezése felé vezető úton. A *Jánossy-kísérletek* egyik fő jelentőségét pont ezek a körülmények szolgáltatják.

## A foton felhasíthatóságának kérdése és a fotoncsomósodás

A foton felhasíthatóságának kérdésével, vagyis azzal, hogy a  $h\nu$  fotonenergia több aktív töltésen, például oszcillátoron is eloszolhat-e, először *Gans* és *Miguez* (1917) foglalkoztak kísérletileg, nagyon kis fényintenzitásoknál üveglencsék fénytörési képességét vizsgálva. Szerintük azt várhatnánk, hogy egyetlen foton nem tudja a lencse teljes térfogatát gerjeszteni, és azon egyszerűen áthalad minden változás nélkül. Ezzel ellentétben azt tapasztalták, hogy a törési jelenség teljesen normális, még olyan kis intenzitásoknál is, amikor az egy oszcillátorra (az üveg aktív sugárzóira) jutó átlagos energia a fénykvantum energiájának  $10^{-30}$ -ad része volt.

A bevezető fejezet elején elsőként említett *Ádám-Jánossy-Varga-kísérlet* [1] eredménye szerint a detektorok relatív koincidenenciája nem haladhatta meg a 0,6%-ot; „a féligáteresztő tükörrre eső fotonok nem hasadnak fel, hanem véletlenszerűen vagy az egyik vagy a másik irányban haladnak”. Ezt a konklúziót 0,01% pontossággal *Brannen* és *Ferguson* koherens fényvel 1956-ban végzett méréseinek eredményei is megerősítették. Publikációjuknak külön jelentőséget ad az a körülmény, hogy a szerzőket pont *Hanbury Brown* és *Twiss* [6] frissen megjelent eredményei megbízhatóságának ellenőrzése vezette, utóbbiak ugyanis pozitív korrelációt („fotoncsomósodást”) észleltek hasonló elrendezésben, két fotoelektromos detektor kimenő áramainak fluktuációi között. *Brannen* és *Ferguson* cikküket a következő (már a nyomdában utólagosan beillesztett) megjegyzéssel zárták: „A szerzőknek úgy tűnik, s hasonlóan Prof. *Jánossynak* is (személyes közlés), hogy amennyiben ilyen korreláció létezne, akkor ez a kvantummechanika néhány alapvető kon-



2. ábra. A detektorok közötti  $\tau$  késleltetés változtatásával a  $l_{bb} = \tau + \tau_D$  teljes kölcsönhatási időt változtatjuk, ahol  $\tau_D$  a detektálási idő (a detektor effektív feloldási ideje). A  $\tau' + \tau_D$  kisebb késleltetés esetén a releváns longitudinális módusokat a vastag szürke vonalakkal szimbolizálják. Ha e módusok  $M_l$  száma egynél jóval nagyobb, akkor közelítőleg  $M_l \approx t/\tau_c$ , ahol  $\tau_c$  a sugárzás koherenciaideje.

cepciójának lényeges felülvizsgálatát követelné. Ez volt a természetes indok, hogy ezeket a kísérleteket elvégeztük.” Hanbury Brown és Twiss a következő évben részletesen kitért a fenti kritikai megjegyzések elemzésére: „A fotonok közötti korreláció létezését néhány szerző kétségbe vonta (Brannen & Ferguson 1956), akik azt állították, szerintünk helytelenül, hogy az a kvantummechanika törvényeinek ellentmond. A hiba, úgy tűnik, abból ered, hogy szó szerint hagyatkoztak a fény korpuszkuális képére. Amint azt *Bohr* hangsúlyozta komplementaritási elvében, egy adott kísérlet megmutathatja a fény akár hullám akár részecske aspektusát, de e kettőt együtt nem; vagyis az interpretáció jelentősen egyszerűsödik és valójában sokkal korrektebb lesz, ha az ember szigorúbban szorítkozik a megfelelő nyelv alkalmazására, és fotonokról beszél ha az energia klasszikus részecskéként viselkedik, különben pedig csak hullámokról. A jelen közleményben, amint azt megmutatjuk, lényegében egy interferencia-jelenséggel foglalkozunk, amely a klasszikus hullámkép alapján úgy értelmezhető, mint az intenzitásfluktuációk közötti korreláció, amely a különböző frekvenciájú hullámok összelebegésének következménye; a foton koncepcióját csak azon a ponton kell bevezetni, amikor a fotoemisszió során az energia a fénynyalábból abszorbeálódik.”

Világosan látszik, hogy Hanbury Brown és Twiss – a Bohr-féle komplementaritási elv következetes képviselőiként – félreértelmezték Brannen és Ferguson, valamint Jánossy Lajos kételyeit. Ez utóbbiak későbbi munkáiból is egyértelműen kiderül, hogy a „foton felhasználhatatlanságán” egyáltalán nem annak klasszikus pontszerűségét értették, hanem az elektromágneses sugárzás adott módusa kvantumos gerjesztettségeinek oszthatatlanságát. Ezt kiválóan igazolja *Farkas Győző*, *Jánossy Lajos*, *Náray Zsolt* és *Varga Péter* 1964-ben megjelent közleménye, amelyben a koherens fénynyalábok intenzitáskorrelációira kapott kísérleteik kiértékeléséhez Jánossy 1957-ben és 1959-ben levezetett elméleti formuláját használták sikerrel. A formula szerint az (1) egyenletben definiált  $K$  normált incidencia kifejezhető az *amplitúdóban másodrendű* koherenciafüggvénnyel, amely például a Michelson-

interferométerrel kimutatható csíkrendszer láthatóságának mérőszáma, tehát *a sugárzás hullámtulajdonosságával immanens kapcsolatban van*.  $K$  általános kifejezése a következő alakra hozható:

$$K = 1 + \frac{1}{M},$$

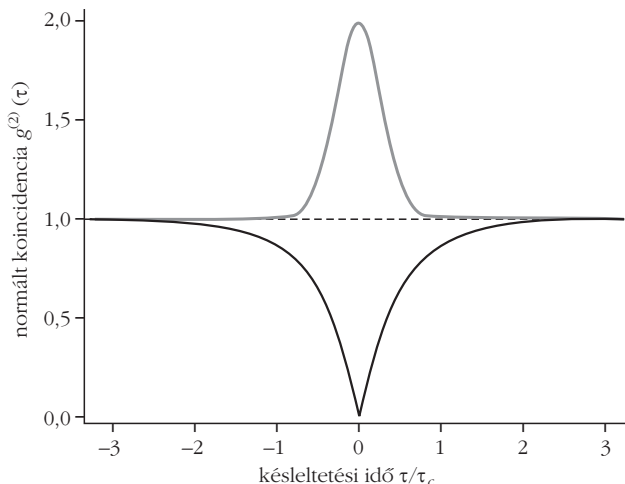
$$M = M_l M_{tr}, \quad (2)$$

$$M \approx \frac{t}{\tau_c} \frac{S}{A_c} = \frac{V}{V_c} \quad (t > \tau_c, S > A_c),$$

ahol  $\tau_c$  a koherencia idő,  $A_c$  és  $V_c$  a koherenciafelület, illetve térfogat, valamint  $t$  és  $S$  a teljes kölcsönhatási idő, illetve detektálási felületet jelölik. Megjegyezzük, hogy a (2) formula egy más módszeren alapuló, egyszerű levezetést nemrég megjelent munkánkban [7] közöltük. A *releváns módusok M száma* általános esetben a (berendezés által megszabott) peremfeltételek leíró függvények és a vizsgált sugárzást jellemző koherenciafüggvények bonyolult funkcionálja.

Az úgynevezett spektrális keresztisztaság esetén (amikor a longitudinális és transzverzális szabadsági fokok „szétcsatolódnak”)  $M$  a (2) egyenlet második összefüggésében megadott szorzatalakra hozható. Amennyiben a kölcsönhatási idő lényegesen nagyobb a koherenciaidőnél, akkor a longitudinális módusok száma jól közelíthető az  $M_l \approx t/\tau_c$  egyszerű kifejezéssel. Hasonló becslés használható az  $M_{tr} \approx S/A_c$  mennyiségre is. Ha az  $M_{tr} = 1$  feltétel egy kísérlet során biztosítható, akkor  $K$  jó közelítéssel a  $g^{(2)}(\tau)$ -val jelölt normált intenzitáskorrelációs függvénnyel azonos. A 2. ábrán példaként a releváns longitudinális módusok számának változását szemléltetjük egy késleltetett incidencia-kísérlet során. Ha a  $\tau_D$  feloldási idő na-

3. ábra. A  $g^{(2)}(\tau) = K$  normált incidenciaszám menetét szemléltetjük abban az esetben, amikor a detektorok feloldóképessége lehetővé teszi, hogy ezt 100%-os kontraszttal mérjük. A szaggatott vonal a detektálási események függetlenségének felel meg. Szürkével *fotoncsomósodást* ( $g^{(2)}(0) = 2$ ) jellemző függést ábrázoltunk Gauss-típusú spektrális eloszlás esetében. A fekete vonallal egy Lorentz-típusú egyfotonos fényforrás intenzitáskorrelációjának menetét ábrázoltuk. Ideális esetben itt  $g^{(2)}(0) = 0$ , ez a *fotonritkulás* jelensége, amelyet ez esetben a  $g^{(2)}(\tau) \approx K = 1 - 1/M$  függvény jellemez, ahol  $M$  a releváns módusok száma, ugyanúgy, mint a (2) képletben [7].



gyobb mint a koherenciaidő, akkor a módusszám nem érheti el a minimális 1 értékét. Igen rossz feloldás esetén  $M$  sokkal nagyobb mint 1, és ekkor, a (2) egyenlet szerint  $K \approx 1$  konstans, tehát nem tudjuk az esetleges szisztematikus koincidenziákat kimutatni. A 3. ábrán a „fotoncsomósodást” és a „fotonrikulást” leíró  $g^{(2)}(\tau)$  függvények tipikus menetét ábrázoltuk maximális kontraszt esetében. Ez utóbbi jelenséget először Kimble és munkatársai tanulmányozták kísérletileg, még 1977-ben.

A 3. ábrán a szaggatott vonal ( $g^{(2)}(\tau) = 1$ ) a detektálási események függetlenségének felel meg. Ez tipikusan abban az esetben tapasztalható, ha sugárforrásból érkező elemi gerjesztések száma Poisson-eloszlást követ (például lézerefény). Termikus fény esetében nulla késleltetésnél  $g^{(2)}(\tau)$  eléri a maximális 2 értéket ( $g^{(2)}(0) = 2$ ), erre szokás azt mondani, hogy a fotonok – bozonkarakterüknek megfelelően – „csomósodásra hajlamosak”. Fontos megjegyezni, hogy ez a jelenség (amelyet felfedezőikről Hanbury Brown – Twiss-effektusnak [6] neveztek el) elvileg akkor is fellép, ha a termikus sugárzás módusainak betöltöttsége

$$\langle n \rangle = \frac{1}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT_B}\right) - 1}$$

(az általában  $\delta$ -val jelölt úgynevezett degenerációs paramétere) sokkal kisebb mint 1. Ekkor azonban a kísérleti kimutatáshoz igen hosszú ( $T$ ) idejű folyamatos mérésekre van szükség, ugyanis a „jel-zaj viszony”  $\delta(fT)^{1/2}$ -nel arányos.

Az Ádám–Jánossy–Varga-kísérletben [1] és csakúgy Brannen és Ferguson kísérleteiben sem volt elegendő berendezéseik feloldóképessége ahhoz, hogy a szisztematikus koincidenziákat *fotonszámlálással közvetlenül* kimutassák, ez csak később sikerült. Hanbury Brown és Twiss [6] is hasonló elrendezést használtak, azonban ők a detektorok fotokatódjáiból kilépő emissziós *áramok fluktuációjának korrelációját* vizsgálták, és így annak idején nagyobb jel-zaj viszonyt érthettek el. Ez tette lehetővé a fotoncsomósodás kimérését. 1960 után, már az első lézerek fényének degenerációs paramétere ( $\delta \sim 10^8$ ) is a szokásos fényforrásokéinál ( $\delta < 10^{-3}$ ) sok-sok nagyságrenddel nagyobb volt, s így a fotonszámlálós koincidenziamérések jel-zaj viszonyát is lényegesen növelni lehetett. Ugyanakkor a (spektrálisan koherens) lézerefénybeli fotonszámeloszlás Poisson-statisztikát követ, amelynek a 3. ábrán vízszintes szaggatott vonallal ábrázolt  $g^{(2)}(\tau) = 1$  konstans érték felel meg. Arra először Glauber hívta fel a figyelmet, hogy a lézersugárzás spektrális keskenysége és nagy intenzitása a mérésekben sajnos nem segít. Furcsa ellentmondásnak tűnik, hogy pont az általa konstruált *koherens állapotoknak* van Poisson-féle fotonszámeloszlása, amely egyben a korrelálatlan, pontszerű részecskenyalábok jellemzője is. A hatvanas évek első felében további bonyodalmat okozott, hogy a spektrális keskenységgel jellemzett „hagyományos koherenciát” és az egy adott frekven-

ciájú komponens kvantummechanikai koherenciájának fogalmát sokan összekeverték. Kellően intenzív „pseudeo-fekete sugárzást” a lézerefény „randomizálásával” lehet előállítani, például úgy, hogy a fényt egy forgó tejüveg- vagy pauszpapírtárcsán keresztül irányítjuk a koincidenzia berendezésbe, amint azt *Arecchi* és munkatársai 1966-ban tették. A hullámfront véletlenszerű torzulásai által kapott kaotikus fényvel a  $g^{(2)}(0) = 2$  érték rutinszerűen mérhetővé vált. Figyelemre méltó, hogy valódi nem koherens fekete sugárzóval és fotonszámlálós technikával csak 2009-ben sikerült először ezt az értéket kimérni, kétfotonos fotodetektorok segítségével. „Meglepő, de a fotonok csomósodásaként értelmezett 2-es értéket  $g^{(2)}(0)$ -ra, valódi fekete sugárzó forrásokkal sohasem észlelték kísérletileg” írták a szerzők a *Nature Physics*-ben megjelent cikkük bevezetőjében. A kísérletben használt 3000 K ekvivalens hőmérsékletű lámpa fényének koherenciaideje  $\tau_c \sim h/kT_B \sim 10^{-15}$  s, femtoszekundum nagyságrendű volt. A (2) egyenlet szerint ilyen időbeli felbontású detektorokra van szükség ahhoz, hogy a 100%-os kontraszt elérhető legyen, és ehhez képest a szokásos egyfotonos detektorok nanoszekundumos felbontása hat nagyságrenddel rosszabb, ami persze korábban nem volt elegendő.

## Összefoglalás, következtetések

A Jánossy-féle fotonkísérletek elsőként igazolták, hogy – a komplementaritás elvével ellentétben – a fény „mindkét arcát (részecske-hullám tulajdonságát)” egyetlen kísérlet keretében is megmutathatja, teljes összhangban a sugárzás kvantumelméletével. A *diszkrét* detektálási események koincidenziájára Jánossy által származtatott formula a *folytonos* hullámok koherenciafüggvényeit tartalmazza. Nyilvánvaló, hogy a fotonkorrelációs kísérlet eredményét, vagyis a szisztematikus koincidenziák hiányát, mind Jánossy, mind Schrödinger a *hullámok kvantumosságának gerjesztettségének felbasíthatatlanságaként* értelmezték, és nem lokalizált fotonok klasszikus részecskeszerűsége alapján várták ezt. Lamb idézett észrevételei is igazolják, hogy a fénykvantumokat sokan még a 90-es években is klasszikus részecskeként képzelték el, és ez még inkább jellemző volt az Ádám–Jánossy–Varga-kísérletek elvégzése és a Hanbury Brown és Twiss által kimutatott fotoncsomósodás felfedezése idején. Utóbbiak, a komplementaritási elv következetes híveiként, a hullám- és részecskekép egyidejű használatát elvetették, és a fotoncsomósodást klasszikus hulláminterferenciával magyarázták. Ez teljesen összhangban van az- zal, hogy a detektorok fotokatódjáiból kilépő emissziós *áramok fluktuációjának korrelációját* mérték (amely szoros kapcsolatban van az *Einstein-féle fluktuációs formula hullámtípusú tagjával*), tehát *nem diszkrét* eseményeket tanulmányoztak.

A 90-es évek elejétől a „Hanbury Brown és Twiss típusú korrelációs méréseket” igen széleskörűen alkalmazzák, mondhatnánk, reneszánszukat élik [7]. A



fotoncsomósodást 2004-ben a röntgentartományban is egyértelműen kimutatták, undulátorsugárzást használva. A Schrödinger által a bevezetésben idézett elektronkorrelációs kísérleteket mind kondenzált rendszerekben (1999), mind nyalábokkal elvégezték (2002). A „fermionritkulást” 2006-ban neutronnyalábokkal, és 2007-ben atomcsapdából szabadon eső  $^3\text{He}$  atomok térbeli korrelációjában is kimutatták. Bár a Jánossy-kísérletekre csak elvétve találhatunk friss hivatkozásokat, a napjainkban oly fontossá vált, úgynevezett egyfotonos források „egyfotonosságának” ellenőrzéséhez lényegében az először Jánossy és munkatársai által 1955-ben alkalmazott kísérleti elrendezést használják.

## Irodalom

1. Ádám A., Jánossy L., Varga P., *Annalen der Physik* 16 (1955) 408–413; Ádám A., Jánossy L., Varga P., *Magyar Fizikai Folyóirat* 2 (1954) 499.
2. Jánossy L., Náray Zs., *Acta Phys. Hung.* 7 (1957) 403–425.
3. Varga P., *Fizikai Szemle* 59/9 (2009) 293; II. *ibid.* 59/10 (2009) 339; III. *ibid.* 59/11 (2009) 371.
4. Király P., Nárayné Ziegler M. (kiadók), *In Memoriam, Lajos Jánossy – 75; Erwin Schrödinger – 100*. MTA KFKI, Budapest, 1987.
5. Varró S., *Természet Világa* 137 (2006) I. különszám: A fizika százada. 38–43; Varró S., In *A kvantumelektronika legújabb eredményei*. Szerkesztők: Heiner Zs. és Osvay K., SZTE, Szeged, 2006. 9–35.
6. Hanbury Brown R., Twiss R. Q., *Nature* 177 (1956) 27–29.
7. Varró S., *Fortschritte der Physik* 56 (2008) 91–102, <http://arxiv.org>: arXiv: 0707.1305v1 [quant-ph]; Varró S., *Fortschr. Phys.* 59 (2011) 296–324, <http://arxiv.org>: arXiv: 1004.2975v2 [quant-ph]

# ATOMI BELSŐHÉJ-FOLYAMATOK VIZSGÁLATA KOINCIDENCIA ELEKTRONSPEKTROMETRIÁVAL – II. RÉSZ

Paripás Béla, Palásthy Béla  
Miskolci Egyetem, Fizikai Tanszék

A *Fizikai Szemle* 2012. novemberi számában megjelent első részben az elméleti bevezetés és a mérőrendszer bemutatása olvasható.

## Néhány kísérleti eredmény

### PCI-mérések

A PCI rövidítés az ütközés utáni kölcsönhatás angol nevéből (post-collision interaction) képzett mozaikszó, a vizsgált Auger-folyamat (1) különböző lépései során keletkezett töltött részecskék Coulomb-kölcsönhatását jelenti. Ebben a folyamatban a PCI energiacserét jelent az első lépésben keletkezett ionizációs ( $e_{ij}^-$ ) és szórt elektronok ( $e_{sc}^-$ ), valamint a második lépésben keletkezett Auger-elektronok ( $e_{\text{Auger}}^-$ ) között (1. ábra). Ez az energiacsere az Auger-csúcsok alakjának torzulására és maximumainak eltolódására vezet. Ez kísérletileg jól mérhető, és a PCI-t leíró félklasszikus modell keretében az úgynevezett aszimmetria-paraméter bevezetésével kvantitatív módon is vizsgálható [2].

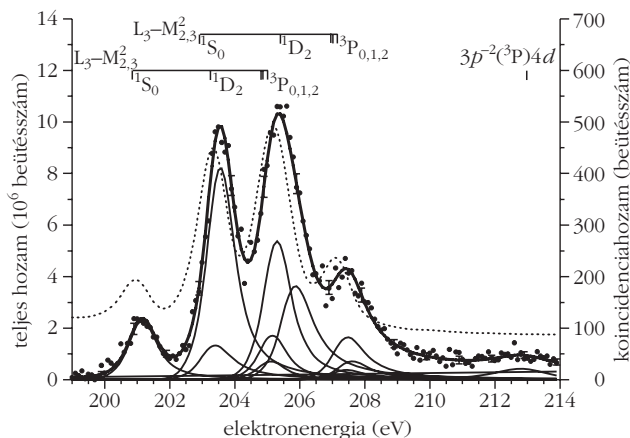
A PCI különösen erős a kis energiás ionizációs elektronokra, ezeket „utoléri” a később keletkezett Auger-elektron. Ez akkor következik be, ha az atomnak átadott energia alig haladja meg az ionizációs energiát (5. ábra). A modell szerint ilyenkor az aszimmetria-paraméter lényegében csak az ionizációs elektron sebességének nagyságától függ. Azaz végeredményben a PCI-t a megmért elektronenergiák szinte teljesen meghatározzák, a jórészt megmértlenül maradt sebességi irá-

nyok alig befolyásolják. Az a) „ablakban” végzett mérés során tehát a PCI lényegében irányfüggetlen, mértéke kiszámítható, a kísérlettel jól összevethető. Ez az összevetés azért is izgalmas, mert a nagyon lassú elektronok félklasszikus leírása – a nagy hullámhosszuk miatt – már ugyancsak kérdőjeles.

Az argon  $L_{2,3}$ – $M_{2,3}$  Auger-elektron spektrumát 500 eV nominális lövedékelektron-energiánál vettük fel [3]. Ennél a primer energiánál az  $L_3$  és  $L_2$  belső héjak ionizációs potenciálja fölötti többletenergia 251,4 eV, illetve 249,2 eV érték. Ez a többletenergia a szórt lövedék és az ionizációs elektron között oszlik szét. Az Auger-elektronok spektrumát a 248 eV energiájú szórt elektronokkal koincidenciában vettük fel, tehát az  $L_3$  és  $L_2$  belső héjak ionizációja során kibocsátott elektronoknak névlegesen csak 3,4 eV, illetve 1,2 eV kinetikus energia marad. Ezek jelentősen különböző értékek, a koincidencia-spektrumban a PCI a két alhéjra tehát jelentősen eltér. A 6. ábrán az összegzett teljes (nem koincidencia) és a koincidenciában mért elektronspektrumok láthatók, amelyeknél a körülbelül 20%-os véletlen koincidenciát már levontuk. A spektrum körülbelül  $10^9$  nagyságrendű beütést tartalmaz, amelyet 15–25 nap alatt vettünk fel.

Az illesztés során a kvadratikusság háttér levonása után a PCI torzított csúcsalakat konvoláltuk a kísérleti spektrométer átviteli függvényvel. Először mindig a teljes energiaspektrumot illesztettük. A modellspektrumban a 10 diagram Auger-vonal intenzitásai és energiái illesztendő paraméterek voltak, kivéve a tripleteket, ahol az intenzitásarányokat és az energiakülönbségeket az irodalomból [4] vettük. A teljes spektrum 10 csúcsának közös aszimmetria-paramétere is egy illesztendő paraméter. A teljes spektrumok igen

A kutatás a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.



6. ábra. A teljes (nem-koincidencia) elektronenergia-spektrum [3] (---) és a 248 eV-os elektronokkal koincidenciában mért spektrum (•) 500 eV primer energiánál. (Néhány kísérleti pont hibáját, az illesztett modellspektrumok (vastag vonal) és a spektrumkomponensek (vékony vonal), a csúcsok jelölését és energiáját szintén feltüntettük).

jó statisztikája lehetővé tette a közel 20 független paraméter egyidejű illesztését. A későbbiekben a kísérleti érték alatt az illesztés eredményét értjük. A koincidencia-spektrumok statisztikája azonban nem volt túl jó, ezért az illesztendő paraméterek számát minimalizálnunk kellett. Csak a két alhéj intenzitásait és aszimmetria-paramétereit, a spektrométer átviteli függvény szélességét és a háttér paramétereit illesztettük, a többi paraméter értékét rögzítettük a teljes spektrum illesztésénél kapott értéken.

A koincidencia-spektrum nagyenergiás végén (212–214 eV) nem belső héj eredetű kis csúcs(ok) figyelhető(k) meg. Az átadott energia és a kis csúcs(ok) energiájának különbsége körülbelül 38–40 eV, ami megfelelhet az  $Ar^{*}3p^{-2}(^1D$  vagy  $^3P)3d$  vagy  $4d$  külső héj gerjesztett szatellitállapotoknak. Az ábrán a 212,7 eV-nál látható csúcs minden bizonnyal az  $Ar^{*}3p^{-2}(^3P)4d$   $^2D$  és  $^2P$  csoportnak felel meg.

A két alhéjra számított átlagos aszimmetriaparaméter-érték ennél az energiakombinációnál (figyelembe véve a kibocsátott elektronok (5) szórású Gauss-eloszlását is)  $-2,6$ , illetve  $-5,4$ . A kísérleti spektrumra legjobban illeszkedő modellspektrum aszimmetria-paramétere (amit kísérleti aszimmetria-paraméternek tekinthetünk) a két alhéjra  $-2,0 (\pm 0,1)$ , illetve  $-4,12 (\pm 0,4)$ . Az egyezés elég jó, különösen ha azt is figyelembe vesszük, hogy az illesztett spektrum aszimmetria-paraméterének nagysága szükségszerűen az átlagérték alatt van [3]. Ezen eredményünk szerint a néhány eV-os elektronok PCI-kölcsönhatásának félklasszikus leírása még nem mond ellent a kísérleti adatoknak. A még kisebb energiájúaké ( $E_{ej} < 1$  eV) azonban már igen, ahogy ezt egy későbbi kísérletünkben [5] igazoltuk.

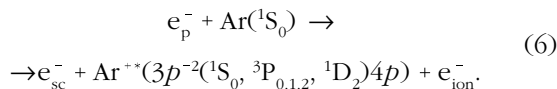
### Elektronütközéses rezonáns Auger-mérések

Az elektronütközéses rezonáns Auger-folyamat az elektronnal gerjesztett belső héj vakanciás atomi rezonancia Auger-szerű elbomlását jelenti ((2), illetve 1. ábra alsó része). Régebbi, nem-koincidencia méréseink-

ben az argon belső héj ionizációjához tartozó igen kis intenzitású szatellitvonalait egy speciális kiértékelési folyamattal igyekeztünk a diagramvonalakról leválasztani [6]. Ez részben sikerült is, megfigyeltük – többek között – a  $2p^{-1}(^2P_{3/2})4s$  és  $4p$  gerjesztéseket követő legvalószínűbb (azaz  $^1D$ ) átmeneteket az összes vizsgált primer energián. Szelektív módszerekkel – ilyen az (e,2e) módszer is – a kis intenzitású szatellitvonalak kiemelhetők a spektrumból, lényegében felnagyíthatók. Ezt a folyamatot azonban – a nyilvánvaló mérés-technikai nehézségek miatt – ezzel a módszerrel se nagyon szeretik vizsgálni a kísérleti fizikusok. Az elektronütközéses adatok hiánya azért is szembeötlő, mert a megfelelő fotongerjesztéses folyamatoknak (például  $2p^{-1}(^2P_{3/2})4s$ ) könyvtárnyi az irodalma. A dipól tiltott gerjesztések ráadásul fotonnal nem is valósíthatók meg, így ezek rezonáns Auger-spektrumaira nincs is mérési adat (a miénket kivéve). Jelen cikkben ez utóbbi kategóriából mutatjuk be az argon  $2p^{-1}(^2P_{3/2})4p$  elektronütközéses rezonáns Auger-spektrumát [7].

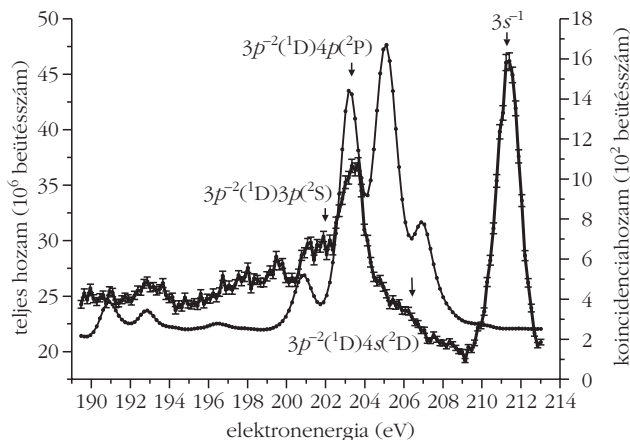
Méréseinket az 5. ábra b) átadott energia „ablakában” végeztük, amelyben  $E_{tr} = 245,7$  eV, ami a 344,9 eV primer energia és a 99,2 eV koincidencia-feltétel különbségeként adódik. (Megjegyezzük, hogy a (b) ablak közepe egy kicsit alatta van a  $2p^{-1}(^2P_{3/2})4p$  gerjesztési energiának, hogy a  $2p^{-1}(^2P_{1/2})4s$  gerjesztést mindenképpen elkerüljük.) Mielőtt azonban a kapott koincidencia-spektrumot bemutatnánk, szólnunk kell ezen mérés legnagyobb nehézségéről, a koincidencia-spektrum direkt ionizációs háttéréről.

A (2) képlettel leírt rezonáns Auger-folyamat végállapotai egyetlen lépésben, direkt módon is létre jöhetnek, ezt semmiféle fizikai törvény nem tiltja:

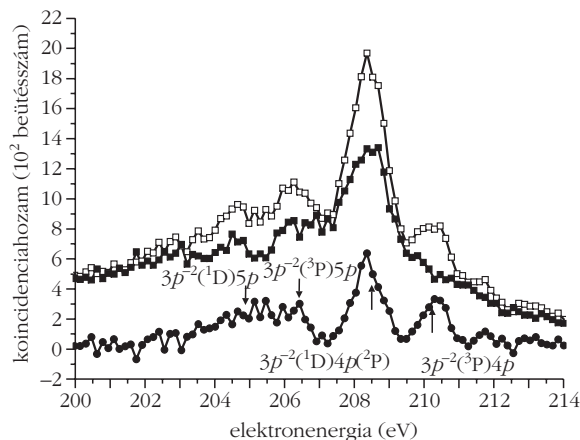


Ez a folyamat egy egyszeres direkt ionizáció, így a második elektront most rezonanciós elektronnak nevezük. Az egyszeres ionizáció nagy valószínűségű folyamat (még ilyen különleges ion esetén is), így ezzel mindenképpen számolnunk kell. Lényeges különbséget jelenthetne az a tény, hogy most a végállapot kontinuumállapot folytonos elektronenergia-spektrumokkal (mert a végállapotbeli három részecske a többlet energián végtelen sokféleképpen osztható). Koincidencia-mérésben azonban rögzítjük az egyik elektron energiáját, ami – az energia megmaradása és az ion kis mozgási energiája miatt – vonalassá teszi a másik elektron spektrumát is.

A másik lényeges különbség az, hogy a direkt folyamat valószínűségének energiafüggése sokkal lassabb, mint a rezonancia-szerű kétlépéses folyamaté. Különösen igaz ez a mi mérési körülményeink között, amikor a primer energia egy nagyságrenddel meghaladja az ionállapotét. Az 5. ábrán szereplő c) ablakban mérve tehát ugyanazt a direkt spektrumot kell kapnunk, mint a néhány eV távolságra lévő b) ablakban. A mért spektrumok eltérései kizárólag az indirekt folyamattól származhatnak. Másképpen fogal-



7. ábra. A teljes (vékony vonal) és az (e,2e) koinkidencia spektrum (vastag vonal hibajellekkel) 99,2 eV koinkidencia-feltétel mellett 340,0 eV primer energián (c) ablak (véletlen koinkidenciák nélkül).



8. ábra. Az (e,2e) koinkidencia-spektrum (üres négyzet) 99,2 eV koinkidencia-feltétel mellett 344,9 eV primer energián (b) ablak), a direkt ionizációs háttér (tele négyzet) és az  $Ar^+(2p^{-1}(P_{3/2})4p$  rezonáns Auger-spektrum (vastag vonal), mint az előző két spektrum különbsége.

mazva a c) ablakban mért spektrum a b) ablakban mért rezonáns Auger-spektrum direkt ionizációs háttérét jelenti, ami így levonható. Itt meg kell jegyeznünk egyrészt azt, hogy a háttér levonása általános gyakorlat, a direkt ionizációs háttérrel egyszerű (nem koinkidencia) Auger-spektrum mérésekben is le szokás vonni, ott azonban a háttér folytonos (általában egyenessel közelíthető). Másrészt azt, hogy ez nem mindig tehető meg, mert a direkt és indirekt folyamatoktól származó elektronhozamok nem föltétlenül additívak. Ugyanis az ugyanarra a végállapotra vezető folyamatok között kvantummechanikai interferencia is lehetséges. Ráadásul ez az interferencia akár jelentős is lehet, mert a direkt és indirekt folyamatoktól származó elektronhozamok közel egyenlők, ez esetleg megkérdőjelezheti a háttér levonásának fenti módszerét.

A direkt ionizációs háttér a 7. ábrán látható, legintenzívebb vonalait beazonosítottuk.

Az elektronütöközéssel gerjesztett  $Ar^+(2p^{-1}(P_{3/2})4p$  állapot lebomlása közben kibocsátott elektronok spektrumát (8. ábra) tehát úgy kaphatjuk meg, hogy a b) ablakban felvett koinkidencia-spektrumból kivonjuk a c) ablakban mért (és a 7. ábrán bemutatott) direkt ionizációs háttérrel. A kivonás előtt a koinkidencia-hozamokat természetesen normáltuk (itt most a 99,2 eV-os elektronok hozamára), a direkt ionizációs háttérrel pedig eltoltuk a primer energiák különbségével, azaz 4,9 eV-tal.

A spektrumban a korábbi nem-koinkidenciaméréseinkben [6] talált vonal (az ábrán vastagon szedve) is jól látható, az a spektrum domináns vonala. A bejelölt  $^1D$  végállapotú vonalak fölött 1,6 eV-tal a megfelelő  $^3P$  vonalaknak is jelen kell lenniük. Az ábrákon ezek a csúcsok látszanak is 210,2 eV környékén.

Korábban utaltunk rá, hogy a rezonáns Auger-folyamatban a shake-up jelenséggel gyakran számolni kell. Az ábrán 204,4 eV és 206 eV energiánál megjelenő csúcsokról nagy bizonyossággal állíthatjuk, hogy a  $2p \rightarrow 4p$  gerjesztést követő rezonáns Auger-bomlás ( $3p^{-2}(^1D_2)5p$ ) és ( $3p^{-2}(^3P_1)5p$ ) végállapotaihoz tartoznak. Számításaink azonban azt mutatják [8], hogy a shake-up jelenségnek kisebbnek kellene lennie. Ez fölveti annak lehetőségét is, hogy a 204–206,5 eV közötti magas beütésszám részben a direkt és indirekt folyamatok közötti kvantummechanikai interferencia következményei. E kérdés tisztázására jelenleg is folynak a méréseink.

## Irodalom

- M. Yu. Kuchiev, S. A. Sheinermann: Resonant scattering with low-velocity outgoing charged particles. *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 21 (1988) 2027.
- B. Paripás, B. Palásthy, G. Vitéz, Z. Berényi: Post-collision interaction measured by coincidence spectrometry in electron impact Auger process. *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 41 (2008) 035201.
- Gy. Víkor, L. Tóth, S. Ricz, Á. Kövér, J. Végh, B. Sulik: Transition energies and relative intensities of the Ar  $L_{2,3}$ -MM diagram Auger lines: a high-resolution study. *Journal of Electr. Spectr. Rel. Phen.* 83 (1997) 235.
- B. Paripás, B. Palásthy: Post-collision interaction after electron impact measured by (e,2e) coincidence technique. *Nucl. Instr. Meth. B* 267 (2009) 275.
- B. Paripás, Gy. Víkor, S. Ricz: Observation of Electron Impact Inner-Shell Excitation of Argon by means of Satellite Auger Spectra. *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 30 (1997) 403.
- B. Paripás, B. Palásthy, M. Zitnik, K. Tőkési: Experimental (e,2e) study of resonant Auger states of Ar. *Nucl. Instr. Meth. B* 279 (2012) 66.
- B. Paripás, B. Palásthy, M. Stuehec, M. Zitnik: Resonant Auger decay of Ar  $2p_{3/2}^{-1}4s$  and  $2p_{3/2}^{-1}4p$  states excited by electron impact. *Phys. Rev. A* 82 (2010) 032508-1-10.

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

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

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

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

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

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

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

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

# A LENCSÉK KÉPLETE BOLYAI FARKAS JEGYZETEIBEN ÉS A KORABELI EGYETEMI TANKÖNYVEKBEN

„Hogyan határozható meg a lencse által alkotott kép helye?”

Gündischné Gajzágó Mária  
Hatvan

Bolyai Farkas 1804 májusától 1852 októberéig tanított matematikát, fizikát, csillagászatot és kémiát a marosvásárhelyi Református Kollégiumban. Ezeket a tárgyakat a felsőbb osztályokban, a tógás diákok tanulták, az 1840-es évek elejéig latinul. Bolyai Farkas legfontosabb matematikai műve, a *Tentamen* latin nyelven jelent meg 1832-ben. Később rövidebb matematikai tankönyveket magyarul is kiadott. Fizika-, csillagászat-, kémiaóráihoz tartozó jegyzeteit nyomtatásban nem jelenttette meg, csupán *Az aritmetikának, geometriának és fizikának eleje* című, 1834-ben kiadott műve tartalmaz kis mennyiségű bevezető jellegű fizikai ismeretet. Az említett természettudományi jegyzetek, többnyire tanítványok kézírásában, szerencsénkre megőrződtek. Ezek Bolyai Farkas tanári pályájának első 3 évtizedéből latin nyelven, az 1840-es évektől pedig magyar nyelven maradtak fenn és sok száz oldalt tesznek ki. A Bolyai-hagyaték Marosvásárhelyen a Teleki–Bolyai Könyvtárban kutatható; 1991-től a hagyaték másolata Budapesten az MTA Könyvtárának Mikrofilmtárában is megtalálható [1].

Bolyai fizikai kézíratait 1982-ben kezdtem tanulmányozni a Teleki–Bolyai Könyvtárban. Munkámat férjem, *Gündischné György* eredeti kéziratokról készített fényképfelvételei tették lehetővé.

Azóta sikerült Bolyai Farkas fizikai kézíratait áttekintennem, és a különböző fejezetek kutatási eredményeit a *Korunk* (1983/11), a *Fizikai Szemle* (1994/3 és 2007/8), a *Firka* (2006–07/2), a *Műszaki Szemle* (Historia Scientiarum 8, 2011/54) hasábjain, valamint Bolyai-konferenciákon (2002, 2006, 2010), Fizikatanári ankétokon (2003, 2009) stb. bemutatnom.

Bolyai Farkas magyar nyelvű fénytanyjegyzeteiben a lencsék képletének levezetése nincs meg,<sup>1</sup> de egy latin nyelvű diákjegyzetben címként<sup>2</sup> olvasható a fent idézett kérdés. A kérdésre adott válasz ott három oldalas levezetés formájában található. Ezt követjük nagy vonalak-

ban, megőrizve az ide tartozó két ábrát a jelölésekkel együtt. (Megjegyzendő, hogy ugyanez a levezetés megtalálható az 1815-ből származó, legterjedelmesebb latin jegyzetben is Bolyai Farkas kézírásában<sup>3</sup>).

A levezetés első részében, az *1. ábrának* megfelelően, a lencse felső, levegő-üveg határfelületén végbemenő fénytörést vizsgáljuk. Legyen az *AB* gömbfelület középpontja *C*, sugara *r*; a lencse tengelye *oφ*, és legyen az *o* tárgy *d* távolságra a lencsétől.

A tengely mentén haladó fénysugár törés nélkül megy az üvegbe.

Az *o*-ból induló másik fénysugár *d'* távolságot befutva az *ε* pontban lép az üvegbe. Itt a beesési merőleges a *Cε*, a beesési szög *α*. A megtört sugár a beesési merőlegeshez és a tengelyhez közeledve *f'* utat fut be, míg a tengelyt *φ*-ben metszi. Így az *AB* levegő-üveg határfelület az *o* tárgypont képét *φ*-ben hozza létre, *f* a képtávolságot jelenti.

Legyen a *C*-ből az *oε* beeső sugár meghosszabbítására, illetve az *εφ* megtört sugárra állított merőleges hossza *m*, illetve *n*. Az ábra alapján a beesési és törési szög szinuszaik hányadosára írhatjuk:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin C\epsilon\phi\angle} = \frac{\frac{m}{r}}{\frac{n}{r}} = \frac{m}{n} \quad (1)$$

A fénytörés törvénye azt mondja ki, hogy az *m/n* bármely *α* esetén állandó, értéke a két közeg anyagi minőségétől függ.

Felírjuk a szinusztételt az *oεCΔ*-ben:

$$\frac{\sin z}{d'} = \frac{\sin o\epsilon C\angle}{r + d},$$

és figyelembe vesszük, hogy

$$\sin o\epsilon C\angle = \sin(180 - \alpha) = \sin \alpha.$$

Így kapjuk:

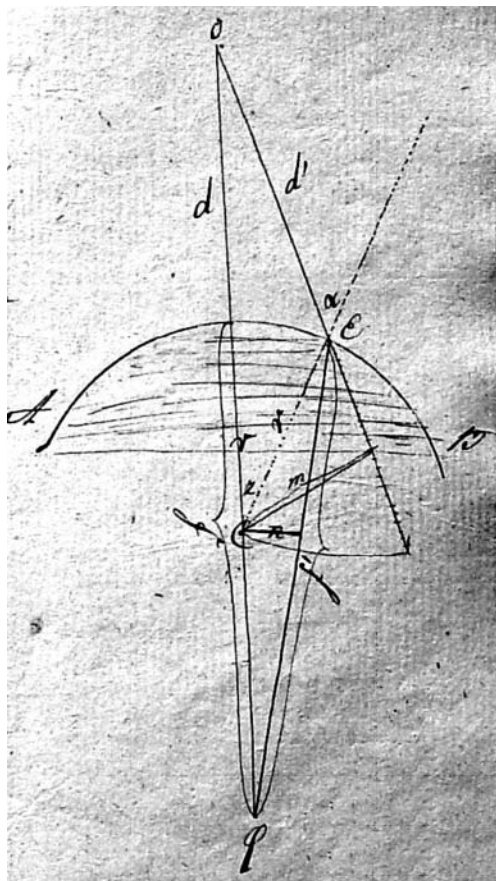
$$\frac{\sin z}{\sin \alpha} = \frac{d'}{r + d}, \quad \text{vagy} \quad (2)$$

$$\sin z = \sin \alpha \frac{d'}{r + d}.$$

<sup>1</sup> Bolyai Farkas *Jegyzés a Világosságról* című jegyzetében megtalálható a gömbtükrök képletének levezetése (B 541/7), viszont a *Vilról* című jegyzet 11. oldalán, ahol a vékony lencsék osztályozásáról és képzőkötéséről ír, azt találjuk, hogy az *r*, *R* radiusú közönséges üvegből készült lencse esetén „meg lehet mutatni, hogy a kép táv  $2dRr/[d(R+r)-2Rr]$ , ha *d* a tárgy távja; és ha a tárgy táv tart a  $\infty$ -hez, a kép táv becse  $2Rr/(R+r)$  lesz”, amely a fókusz-távolságot jelenti.

<sup>2</sup> B 652/35–37, *Quomodo reperitur locus imaginis per lentem facto?*

<sup>3</sup> BF 427/19–20



1. ábra.

Hasonlóképpen az  $\epsilon C\phi$   $\Delta$ -ben:

$$\frac{\sin \epsilon C\phi \angle}{f'} = \frac{\sin C\epsilon\phi \angle}{f-r},$$

de  $\sin \epsilon C\phi \angle = \sin(180-z) = \sin z$ , valamint az (1)-et átrendezve

$$\sin C\epsilon\phi \angle = \frac{n}{m} \sin \alpha,$$

és így

$$\frac{\sin z}{f'} = \frac{\frac{n}{m} \sin \alpha}{f-r}, \text{ ahonnan} \quad (3)$$

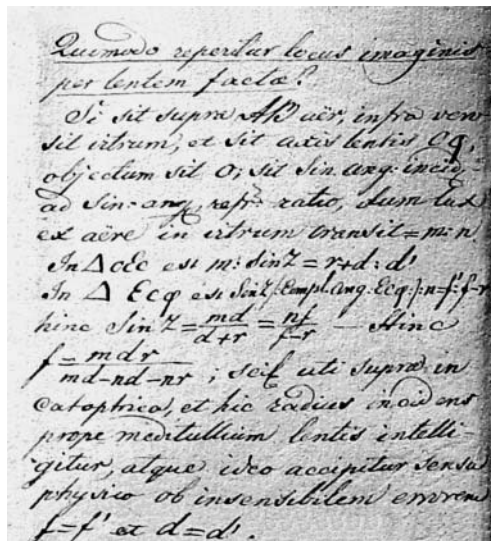
$$\sin z = \sin \alpha \frac{n}{m} \frac{f'}{f-r}.$$

Feltételezve, hogy az  $o\epsilon$  fénysugár a lencse tengelyének közelében halad (paraxiális sugár), jó megközelítéssel írhatjuk, hogy  $d = d'$  és  $f = f'$ , és így a (2) és (3) alapján írhatjuk:

$$\sin z = \sin \alpha \frac{d}{r+d} = \sin \alpha \frac{n}{m} \frac{f}{f-r}, \text{ vagy} \quad (4)$$

$$\sin z = \frac{m}{r} \frac{d}{r+d} = \frac{n}{r} \frac{f}{f-r}.$$

A (4) második egyenlőségéből az  $f$  képtávolságra kapjuk:



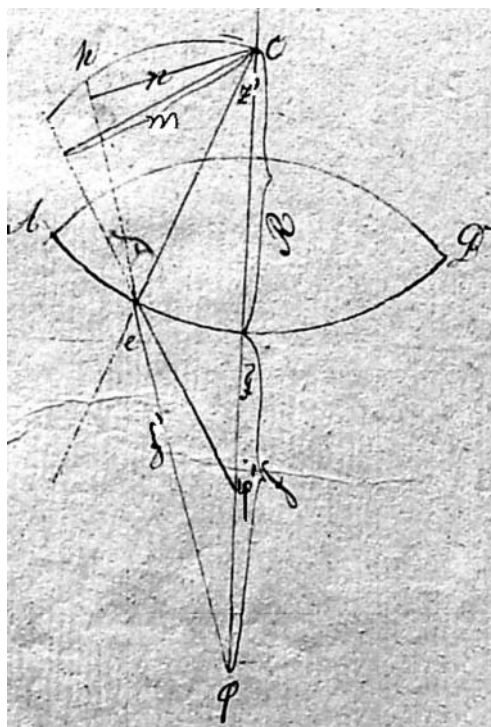
2. ábra. Részlet a B 652/35v-ról az 1. ábrához.

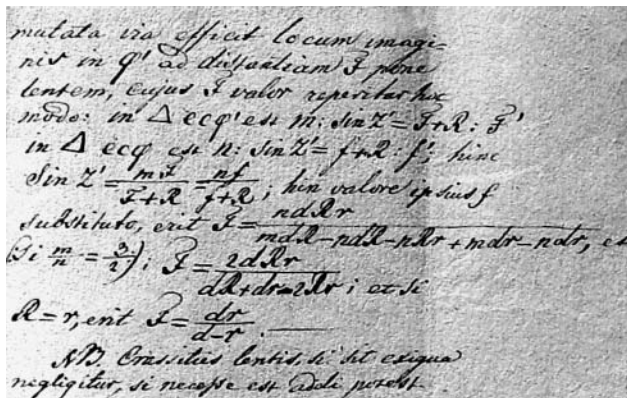
$$f = \frac{m d r}{m d - n d - n r}. \quad (5)$$

Ezután a lencse alsó, üveg-levegő határfelületén végbemenő törést vizsgáljuk a 3. ábra alapján.

Most  $C$  az alsó  $AB$  körív középpontja, a kör sugara  $R$ ,  $e$  a beesési pont,  $he$  a beeső sugár, amely a  $Ce$  beesési merőlegestől távolodva tör meg.  $e\phi'$  a megtört sugár,  $\phi'$  a képpont: a  $\phi$  tárgy pont  $AB$  üveg-levegő határfelület által létrehozott képe, és egyben az  $o$  pont lencse által alkotott képe is.  $F$  a képtávolság.  $C$ -ből a  $he$  beeső sugárra állított merőleges hossza itt  $n$ , a megtört  $e\phi'$  sugár meghosszabbítására állított merőleges hossza pedig  $m$  (éppen fordítva mint az előbbi ábrán).

3. ábra.





4. ábra. Részlet a B 652/36-ról a 3. ábrához.

A beesési, illetve törési szögek szinuszaire így írhatjuk:

$$\begin{aligned} \sin Ceb \angle &= \sin Ce\varphi \angle = \frac{n}{R}; \\ \sin Ce\varphi' \angle &= \frac{m}{R} \text{ és} \\ \frac{\sin Ceb \angle}{\sin Ce\varphi' \angle} &= \frac{n}{m}. \end{aligned} \quad (6)$$

Ez utóbbi a törés törvénye az alsó AB-ívre:  $n/m$  állandó bármely beesési szögre.

Felírjuk a szinusz-tételt az  $eC\varphi'$   $\Delta$ -ben, illetve az  $eC\varphi$   $\Delta$ -ben:

$$\frac{\sin z'}{e\varphi'} = \frac{\sin Ce\varphi' \angle}{R+F}; \quad \frac{\sin z'}{f'} = \frac{\sin Ce\varphi \angle}{R+f}.$$

Figyelembe véve a (6) összefüggéseket, átírhatjuk a két utóbbit:

$$\frac{\sin z'}{e\varphi'} = \frac{m}{(R+F)R}; \quad \frac{\sin z'}{f'} = \frac{n}{(R+f)R},$$

ahonnan kapjuk:

$$\sin z' = \frac{e\varphi' \cdot m}{(R+F)R} = \frac{f' \cdot n}{(R+f)R}.$$

Vékony lencsére, paraxiális megközelítéskor írhatjuk, hogy  $e\varphi' \approx F$  és  $f' \approx f$ , és:

$$\sin z' = \frac{F \cdot m}{(R+F)R} = \frac{f \cdot n}{(R+f)R}. \quad (7)$$

A levezetést itt megszakítva a következő észrevételt tesszük: a  $\sin z$  és  $\sin z'$ -re vonatkozó összefüggéseket keresve a két latin jegyzetben, megfigyelhető, hogy  $\sin z$  kifejezéseinek nevezőiből  $r$ ,  $\sin z'$  kifejezéseinek nevezőiből pedig  $R$  hiányzik az általunk kapott (4), illetve (7)-hez képest. Úgy néz ki, hogy a szinusz-tétel felírásakor a beesési és törési szög szinuszára  $m/r$  és  $n/r$  helyett (1. ábra, (4)), illetve  $n/R$  és  $m/R$  helyett (3. ábra, (7)) csak a számlálókat írták be a jegyzetírók.

Mivel nem gondoljuk, hogy mindkét latin jegyzetben elírás lenne, a dolog tisztázására megnéztük a lencsék képletének levezetését Gren könyvében [2]. Gren a beesési, illetve törési szög szinuszát beesési,

illetve törési szinusznak (Einfalls sinus, Brechnungssinus) nevezi és egy szakasznak tekinti, mégpedig derékszögű háromszögben a szemközti befogónak. Úgy tűnik, ez a szemlélet érvényesül a vizsgált jegyzetrészben, de ez, mint látni fogjuk, nem befolyásolja a levezetés eredményét.

Visszatérve (7)-hez:

$$\frac{Fm}{R+F} = \frac{fn}{R+f},$$

ahonnan

$$F = \frac{fnR}{mR + mf - nf}.$$

Ha ide beírjuk  $f$  korábban levezetett kifejezését (5) szerint, kapjuk:

$$F = \frac{ndrR}{mRd - nRd - nRr + mrd - ndr}, \quad (8)$$

vagy átalakítva:

$$F = \frac{drR}{\left(\frac{m}{n} - 1\right)(dR + dr) - Rr}. \quad (8')$$

Ezen összefüggések segítségével kiszámítható az  $r$  és  $R$  görbületi sugarakkal, valamint az  $m/n$  relatív törésmutatóval jellemezhető vékony lencse előtt  $d$  távolságra található tárgy képének lencsétől mért távolsága, vagyis a képtávolság.

Ez tehát a válasz a címben feltett kérdésre. Az itt ismertetett kissé bonyolult, időigényes levezetésről mondott le Bolyai Farkas a magyar nyelvű, többnyire 1840 után diákjainak diktált vagy általuk másolt jegyzeteiben.

Bolyai Farkas említett latin jegyzeteiben itt három megjegyzés következik:

1. megjegyzés. Üveglencse esetén

$$\frac{m}{n} = \frac{3}{2}$$

és a képtávolság az

$$F = \frac{2drR}{dR + dr - 2Rr}$$

szerint számítható ki. Ha pedig az üveglencse görbületi sugarai egyenlők, akkor:

$$F = \frac{dr}{d-r}.$$

2. megjegyzés a „Quomodo ex ista formula focus reperitur?” (Hogyan határozható meg ebből a képletből a fókusz távolság?) kérdésre ad választ. A fókusz távolság úgy határozható meg mint a  $\infty$ -ben lévő tárgy képtávolsága. Így, ha  $d = \infty$  és  $R = r$ , akkor:  $F = r$ ; vagyis az azonos görbületi sugarakkal rendelkező üveglencse fókusz távolsága megegyezik a görbületi sugár értékével. Síkdomború lencse esetén pedig, mivel  $R = \infty$  és  $d = \infty$ ;  $F = 2r$ , vagyis a fókusz távolság a görbületi sugár kétszerese.

3. megjegyzés. A konkáv, vagyis középen vékonyabb lencsék görbületi sugaraira, valamint a fókusz-távolság előjelére vonatkozik.

Gren a képtávolság levezetésénél a fénytörés törvényét, háromszögek hasonlóságát az említett paraxiális megközelítést használta fel, és az

$$x = \frac{dqRr}{d(p-q) \cdot (R+r) - qRr}$$

összefüggéshez jutott. Ez utóbbi megegyezik (8)-cal, ha  $x$  helyett  $F$ -et,  $p$  helyett  $m$ -et és  $q$  helyett  $n$ -et írunk.

A 2. megjegyzéshez hasonlóan Gren is kiszámította a tengellyel párhuzamosan érkező sugarak által létrehozott kép távolságát:

$$x = \frac{qRr}{(p-g) \cdot (R+r)},$$

amely üveg esetén, amikor

$$\frac{p}{q} = \frac{3}{2},$$

az

$$x = \frac{Rr}{\frac{1}{2}(R+r)}$$

eredményre vezet. A gyújtó- vagy fókusz-távolság (Brennweite = distantia focalis) úgy kapható meg, hogy a görbületi sugarakat összeszorozzuk és osztjuk azok fél összegével.

Érdekeségként megjegyezzük, hogy sem Bolyai optikajegyzeteiben, sem Gren könyvében nem találjuk meg a *lencsék leképezési vagy távolságtörvényét* (vagyis a fókusz-távolság, tárgy- és képtávolság közötti összefüggést).

A képtávolság (8) vagy (8') képletéből rövid úton eljuthatunk a leképezési törvényhez. Osszuk el a (8') összefüggés számlálóját és nevezőjét  $drR$ -rel! Ekkor:

$$F = \frac{1}{\left(\frac{m}{n} - 1\right) \cdot \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R}\right) - \frac{1}{d}}. \quad (8'')$$

Az (8'') összefüggésből és a 2. megjegyzés szerint rögtön megkapható a *fókusz-távolság* (jele legyen  $f_{\text{fáv}}$ ),  $f_{\text{fáv}} = F$ , ha  $d = \infty$ , tehát:

$$f_{\text{fáv}} = \frac{1}{\left(\frac{m}{n} - 1\right) \cdot \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R}\right)}$$

$$\frac{1}{f_{\text{fáv}}} = \left(\frac{m}{n} - 1\right) \cdot \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R}\right).$$

A (8'') összefüggés a következőképpen írható át:

$$F = \frac{1}{\frac{1}{f_{\text{fáv}}} - \frac{1}{d}}, \text{ ahonnan}$$

$$\frac{1}{f_{\text{fáv}}} = \frac{1}{d} + \frac{1}{F}.$$

Figyelembe véve, hogy  $d$  a tárgytávolságot,  $F$  a képtávolságot jelenti, eljutottunk a lencsék *leképezési törvényéhez*.

Végezetül megjegyezzük, hogy *Baumgartner* 1826-ban kiadott könyvében [3] a képtávolság képletének levezetése és a fókusz-távolság értelmezése után a leképezési törvényt is láthatjuk a ma is használatos egyszerű alakban.

#### Irodalom

1. Cikkünkben Bolyai Farkas hagyatékának fizikajegyzetei közül a következő kéziratokat használtuk fel: B 652, BF 427, B 541 *Jegyzés a' Világosságról és Vilról* (Teleki-Bolyai Könyvtár Marosvásárhely)
2. Gren, Friedrich Albrecht Karl: *Grundriss der Naturlehre*. Halle, 1797, 464–467.
3. Baumgartner, Andreas: *Die Naturlehre*. Wien, 1826, 290–292.

## KÁROLYHÁZY-FELADATOK AZ EÖTVÖS-VERSENYEN

### III. RÉSZ – ELEKTROSZTATIKA

Az „erőterek” *Károlyházy Frigyes* kedvenc témái közé tartoztak. Már a 60-as években feladott olyan feladatot az Eötvös-versenyen, amelyben különböző sugarú, de egymással párhuzamosan álló fém körlapokból kellett maximális kapacitású kondenzátort összeállítani. A megoldás a telep rákapcsolása után létrejövő elektrosztatikus erőterek vizsgálatán alapult. A 70-es években különösen sok elektrosztatikai problémát fogalmazott át feladattá. Vizsgálni kellett szigetelő fonalakkal összekötött és felfüggesztett, feltöltött golyósor elhelyezkedését valamilyen földelt, illetve feltöltött fémsík felett,

vagy éppen azt a mechanikai feszültséget, amely egy síkkondenzátor terében, az erővonalakkal párhuzamosan elhelyezett fémrúdban lép fel. Kifejezetten az erővonalkép felrajzolását kérte az egyik esetben, vagy ki kellett találni a kapillárisban elhelyezkedő higany felszínének elmozdulását az elektromos erőter hatására egy másik esetben. Nagyon örült, ha az eredményhirdetésen – amelyre sohase jött el, de mindig érdeklődött, hogy mi történt ott – sikerült kísérlettel is bemutatni valamelyik feladatának megoldását. Így történt ez a következő, 1976-ban feladott alábbi példájánál is:

Két egyforma, semleges fémgömb egyikének közelében földelt fémtű van. A két gömb között közepén, felülről lassan leengedünk egy elektromosan töltött gömböt. Hol üt át először szikra?

Megoldás. Mindkét semleges gömb a közeledő, elektromosan – mondjuk pozitívan – töltött gömb erőterébe kerül, rajtuk töltésmegosztás lép fel és valamekkora elektromos potenciál alakul ki a végtelenhez, illetve a földhöz képest. Arról a gömbről, amelyik közelében a fémtű van, a csúcshatás következtében eltávozik a megosztással keletkező töltés egy része, így ő maga is – negatívan – töltött gömbbé válik. Közben szikrakísülés nem történik, azonban ennek a gömbnek ezután kisebb lesz az elektromos potenciálja, mint a másiknak. A közepén ereszkedő töltött gömb és a fémtű melletti gömb között tehát nagyobb lesz a feszültség, mint az ereszkedő töltött gömb és a másik gömb között. A szikra így a fémtű melletti gömb és az ereszkedő gömb között üt át először.

Az 1983-ban feladott következő példában is elektromos erőterébe kerülő töltetlen fémgömbök viselkedését kellett kitalálni, de most a rájuk ható erő volt a kérdés.

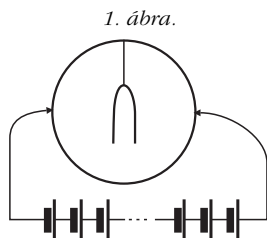
*A világűrben elektromosan semleges, fémből készült, belül üres, zárt gömbhéj lebeg. Közepében kicsiny, pozitív töltésű fémgolyó nyugszik szabadon. Távoli kondenzátorlemezek segítségével a gömb alakú „Faraday kalitka” körül homogén elektromos teret hozunk létre. Mozgásba jön-e a kicsiny fémgolyó, illetőleg a gömbhéj, és ha igen, akkor miképpen?*

Megoldás. A gömbhéjra a kis pozitív fémgolyó megosztást hoz létre, a gömbhéj belső felülete negatív, a külső pozitív lesz. Külső tér nélkül a kis fémgolyó a gömbhéj középpontjában labilis egyensúlyi helyzetben van. A külső tér létrehozásának pillanatában a gömbhéj külső felületén további megosztott töltések jönnek létre. A kis fémgolyót a gömbhéj árnyékoló hatása védi a külső tértől, ezért e külső tér bekapcsolásának pillanatában a kis fémgolyó gyorsulása még nulla. A pozitív töltésként viselkedő gömbhéj azonban gyorsulni kezd. A kis golyó a gömbhéj elmozdulása következtében elhagyja labilis egyensúlyi helyzetét, és gyorsulni kezd a hozzá közeledő fal felé. Amikor eléri a falat, kiegyenlítődnek a belső fal és a golyó ellentétes töltései, marad a külső felület pozitív töltése, ezért a gömbhéj végig pozitív testként gyorsul a külső homogén térben, magával cipelve a kis golyót is.

A „Faraday kalitka” fogalma megjelent a 90-es években feladott egyik példában is, de nagyon ravaszul, könnyű volt eltéveszteni, mivel ez már nem tisztán elektrosztatikai feladat volt.

*Fémből készült, igen vékony falú, zárt gömbhéj belsejében fonálon egy kétrét hajtott alufóliacsík függ. A gömb két áttellenes pontjára kívülről az 1. ábrán látható módon feszültséget kapcsolunk.*

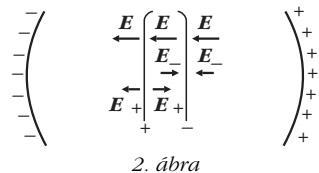
*Megmozdul-e az alufóliacsík, s ha igen, hogyan?*



Megoldás. A vékony gömbhéj ellenállása nem hanyagolható el. Lesz elektromos mező a gömb belsejében, mégpedig forgásszimmetrikus abban az esetben, ha a gömb belül üres. (A szimmetriatengely a csatlakozási pontokat összekötő átmérő.)

Ha a gömb közepén ott van a kétrét hajtott alufólia, akkor ezen megosztás jön létre azért, hogy a fólia ekvipotenciális lehessen.

A megosztott töltések tere kioltja a gömb belső terét a fólia két ága között (2. ábra).



2. ábra

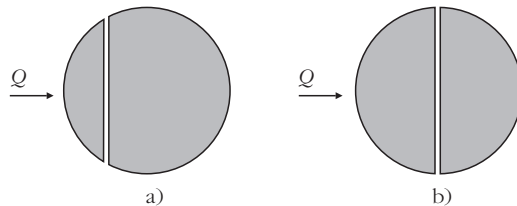
A fólia bármely ágára a külső  $E$  térerősség és a másik ágból származó ( $E$ -nél kisebb) térerősség hat, vagyis a fóliaágra a külső tér van nagyobb hatással.

Ezért a kétrét hajtott fólia *kinyílik*, és egy olyan helyzetben állapodik meg, amikor már a rá ható elektromos, gravitációs stb. erők és forgatónyomatékok eredője zérus.

*Megjegyzés.* Az összeállítás emlékeztet a „Faraday kalitkára”, ezért sok versenyző úgy gondolta, hogy nem lehet a gömb belsejében elektromos mező. Elfelejtették, hogy ez csak elektrosztatikában igaz, amikor a fém felülete ekvipotenciális. Most a fémen áram folyik, ezért a fémgömb különböző pontjai között általában van feszültség s így van – nemcsak benne, de körülötte is – elektromos mező. Ha valami, akkor a kétrét hajtott fóliaág képezhet ebben a feladatban Faraday-kalitkát, és e „kalitka” belsejében kell, hogy a térerősség közel zérus legyen.

A sok üres fémgömb után 2001-ben egy tömör ólomgömbre tűzött ki elektrosztatikai problémát Károlyházy Frigyes, de persze nem akármilyet: előbb gondolatban szét kellett vágni, majd összeragasztani a keletkezett darabokat.

*Két egyforma ólomgömböt egy-egy sík mentén két-két részre vágunk; egyiket a 3.a, másikat a 3.b ábra szerint. A vágási felületeket hajszálvékony szigetelő réteggel látjuk el, utána a részeket újra teljes gömbbé egyesítjük. Ezután mindkét gömb bal oldali részére ugyanakkora, kicsiny  $Q$  töltést viszünk.*



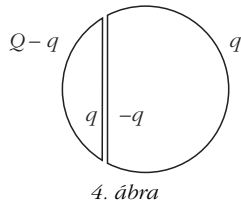
3. ábra

*Ábrázoljuk mindkét esetben a gömb körül kialakuló erővonalképet! (A két gömb egymástól messze van, kölcsönhatásuk elhanyagolható.)*

Megoldás. Mind az a), mind a b) esetben a bal oldali gömbszeletre vitt  $Q$  töltés a jobb oldali gömbszeleten töltésmegosztást hoz létre. Ha  $q$ -val jelöljük a  $Q$  töltésnek azt a részét, amely a feltöltött gömb-



szelet sík felületű részén helyezkedik el, akkor a jobb oldali gömbszelet sík felületére  $-q$  töltés vándorol, hiszen a két egymás melletti síkfelület síkkondenzátort hoz létre (4. ábra).



4. ábra

Vajon mekkora lesz  $q$ , és hogyan oszlanak el a töltések a gömb külső felületén? A választ például az energiaminimum elvéből kaphatjuk meg. Eszerint egyensúlyi helyzetben a töltések úgy helyezkednek el a vezetőik felületén, hogy a rendszer teljes elektrosztatikus energiája a lehető legkisebb legyen. Jelen esetben a síkkondenzátor energiája (a szigetelőréteg hajsálvékony volta miatt) elhanyagolhatóan kicsi, a rendszer energiája tehát a gömbön kívüli elektrosztatikus mező energiájával egyezik meg. Ez az energia nyilván ugyanolyan töltéseloszlásnál lesz minimális, mint amilyen a  $Q$  töltéssel feltöltött eredeti (szétvágtatlan) gömb esetében, vagyis az ismert *egyenes* töltéseloszlásnál.

Más módon is érvelhetünk. Külön-külön mindkét gömbszelet potenciálja állandó, mivel elektrosztatikában a fém bármilyen alakú is legyen, mindig ekvipotenciális, és belsejében a térerősség mindig zérus. Mennyi most a két fém-gömbszelet közti potenciálkülönbség?

$$\Delta U = E \cdot d,$$

ahol  $E$  a két síkfelület közötti térben az elektromos térerősség,  $d$  pedig a síkfelületek távolsága. A feladat szövege szerint ez a távolság „hajsálvékony”, vagyis majdnem zérus,  $E$  pedig  $q$ -val arányos, tehát nem lehet „nagyon nagy”. Ezek szerint a  $\Delta U$  potenciálkülönbség is majdnem zérus, azaz elhanyagolhatóan kicsi. Ebben a (jogos) közelítésben a teljes gömbfelület potenciálja ugyanakkora. Egyetlen gömbön az  $U =$  állandó feltétel csak egyetlen felületi töltéseloszlás mellett valósulhat meg adott  $Q$  esetén. Ez az eloszlás a jól ismert *gömbszimmetrikus* töltéseloszlás, amikor a felületi töltéssűrűség

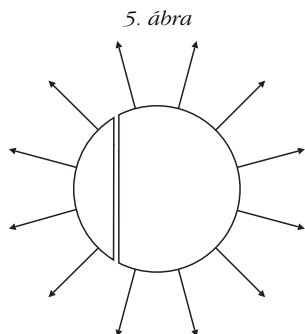
$$\sigma = \frac{Q}{4 R^2 \pi} = \text{állandó}.$$

Az egyenes felületi töltéssűrűséghez tartozó elektromos térerősség a gömbön belül (a „síkkondenzátor” belsejét leszámítva) zérus, a gömbön kívül pedig az ismert Coulomb-féle erőtér, nagysága a középponttól  $r$  távolságban

$$E(r) = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \quad (r > R).$$

A gömbön kívül kialakuló erővonalkép tehát jó közelítéssel az 5. ábrán látható lesz.

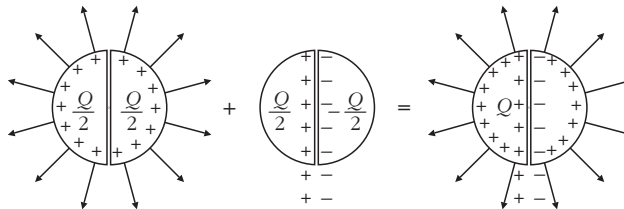
*Megjegyzés.* A feladatot 11 versenyző oldotta meg jól, ezen kívül még há-



5. ábra

rom versenyző adott be a b) kérdésre helyes megoldást. Két megoldónak jutott eszébe a közepen félbevágott gömb esetére az alábbi szellemes megoldás.

Először adjunk mindkét félgömbnek  $Q/2$  töltést, azután adjunk a bal oldalinak  $Q/2$ , a jobb oldalinak pedig  $-Q/2$  töltést! E két állapot „egyesítéséből” (szuperpozíciójából) előállítható a feladatban megadott állapot (6. ábra). Ez a szuperpozíció egyrészt a töltésekre, másrészt az erőtérre is vonatkozik, tehát:

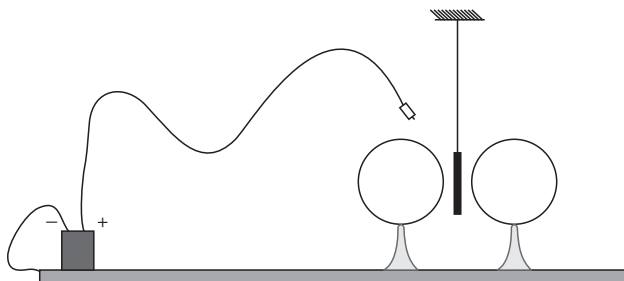


6. ábra

A következő, 2008-ban feladott példában is szerepel telep, de mivel nincs folyamatosan bekapcsolva, nem indít stacionárius áramot, tehát a probléma tisztán elektrosztatikai.

*Egy fizikaszakkörön valaki demonstrálni szeretné, hogy ellentétes irányú elektromos térerősségvektorok leronthatják egymást. Elképzelése a következő. Szigetelő lábakon két egyforma fémgömböt állít egymás mellé és pontosan ugyanakkora potenciálra tölti fel őket. Ezután a kettejük közé középre belógatott próbatöltésre nem fog elektromos erő hatni.*

A gyakorlati kivitelezéshez a kísérletező egy néhány száz V feszültségű telep egyik sarkát „leföldeli”, vagyis az asztallapra tett nagy fémtálcához csatlakoztatja – ezt tekinthetjük zérus potenciálú helynek –, a másik pólushoz csatlakozó banándugóval pedig először a bal oldali, utána a jobb oldali gömböt, majd végül a szigetelő szálon közéjük lógatott alufóliacsíkot érinti meg (7. ábra). Meglepődve tapasztalja, hogy az alufólia igenis kitér a függőleges irányból, elmozdul az egyik gömb felé.



7. ábra

*Mi lehet a kudarc magyarázata? (A levegő száraz, a lábak jól szigetelnek, a gömbök sokáig megtartják a rájuk vitt töltést.)*

*Melyik gömb felé tér ki az alufólia?*

*Hogyan lehetne a kudarcot elkerülni?*

*Megoldás.* Tekintsük először azt az esetet, amikor még csak a bal oldali gömböt töltöttük fel a telep feszültségére. Ekkor ez a gömb felvett valamennyi töl-

tést. A jobb oldali gömb, ami ugyan töltetlen, most egy elektromos erőterbe került, ennek hatására benne töltésszétválás történt és már nem zérus a feszültsége, hiába zérus a rajta lévő össztöltés.

Ezek után érintjük meg a jobb oldali gömböt a telep előbbi – pozitív – sarkából jövő vezetékkel. Ennek hatására ez a gömb is a telep feszültségére töltődik fel, viszont ehhez már kevesebb töltésnek kell felmennie rá, mint amennyi töltés a másik gömbre került! Sőt, ha a második gömb feltöltése után megmérjük az első (a bal oldali) gömb feszültségét, az nagyobb lesz, mint a telep feszültsége, hiszen most már ez a gömb is erőterbe, a jobb oldali gömb erőterébe került!

A helyzet annyira meglepő, hogy eredményhirdetés-kor (technikai okokból egy 3000 V-os feszültségforrást használva) kísérletileg is bemutattuk. Amikor a bal oldali gömböt feltöltöttük 3000 V-ra, a jobb oldali gömbre kapcsolt elektrosztatikus voltmérő 800 V-ot mutatott. Amikor pedig a jobb oldali gömböt is feltöltöttük 3000 V-ra, a bal oldali gömb feszültsége 3800 V-ra nőtt!

Mindenképpen több töltés került tehát a bal oldali gömbre, mint a jobb oldalra, ezért a közéjük középre lógatott és feltöltött alufóliacsíkra a bal oldali gömb nagyobb taszítóerőt gyakorol, mint a másik gömb. A fóliacsík tehát *jobbra* fog kilendülni!

Az egyik győztes versenyző még azt is megjegyezte, hogy ha túl közel van egymáshoz a két gömb, akkor a közéjük lógatott fémfólián már töltetlen állapotban is a két gömb potenciálja közötti, tehát a telepfeszültségnél nagyobb potenciál alakulhat ki. Ezért, amikor hozzáérünk a telepből jövő vezetékkel, lehet, hogy leve-szünk róla töltést, így áll be a fólia a telep feszültségére. Ebben az esetben azonban negatív töltése lesz, és a bal oldali gömb jobban fogja vonzani, mint a jobb oldali, vagyis ilyenkor a fólia *balra* lendül ki.

Hogyan lehetne elkerülni a kudarcot? Több mód is van rá. A legbiztosabb eljárás az, hogy *egyszerre* töltjük fel a két gömböt, de az is elég, ha kellő távolságra, viszonlag messze helyezük őket egymástól. Igaz, ebben az esetben nem olyan látványos az a kísérlet, hogy közöttük középben nem hat erő a belógatott fóliára.

Az egyik legérdekesebb feladatot a 2010. évi Eötvös-versenyre találta ki Károlyházy Frigyes. Nemcsak maga a fizikai probléma eredeti, de tálalása is az.

*Két egyforma, mondjuk 5 cm átmérőjű, vékony lemezből készült fémkorong (A és B) szigetelt fonálon függ pontosan egymással szemben, párhuzamosan, egymáshoz közel, például 2 mm távolságban, a 8.a ábrán látható módon. Mindkét korongnak ugyanak-kora, kellőképpen kicsiny  $q$  elektromos töltést adunk. (Mivel  $q$  kicsi, sem a korongok parányi elmozdulása, sem a levegőn át történő kisülések veszélye nem okoz bonyodalmat.) Kezdetben természetesen mindkét korongra hat a másik korong taszító ereje.*

*Fizika szakkörön az elektromos árnyékolás a téma.*

*A két korongot nézve Beának az az ötlete támad, hogy ha az A és B korong közé óvatosan (ügyelve, hogy egyikhez se érjen hozzá) egy ugyanolyan, de elektromosan semleges C fémkorongot eresztünk be*

*szigetelő fonálon a 8.b ábrának megfelelően, akkor az „leárnyékolja” mindkét eredeti korongnak a más-ikra gyakorolt hatását, ezért mind az A-ra, mind a B-re ható erő gyakorlatilag nullára csökken.*

*Gabi figyelmeztet rá, hogy az elektromos mező nagyobb tartomány-ra terjedhet ki, mint a töltött testek mérete, ezért Bea ötletét úgy módosít-ja, hogy a C korong átmérője legyen például 25 cm, ahogya 8.c ábrán lát-ható. (Az ábra nem méretarányos.) Gabi szerint csak ekkor csökken elha-nyagolható értékre az A-ra, illetve B-re ható elektromos erő.*

*a) Mit tapasztalnánk, ha Bea öt-letét követve A és B közé velük egyenlő méretű, semleges C fémkorongot en-gednénk, majd megmérnénk az A-ra, illetve B-re ható erőket?*

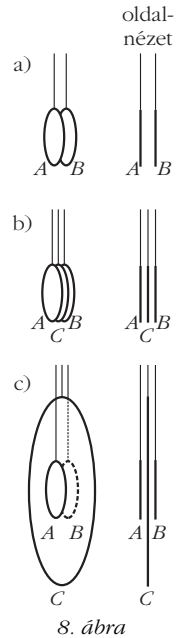
*b) Mi lenne az eredmény, ha Gabi javaslatát ellenőriznénk méréssel?*

*c) Elképzelhető-e olyan méretű semleges C korong, amelynek alkalmazásával az A-ra, illetve a B-re ható erő pontosan zérussá válik?*

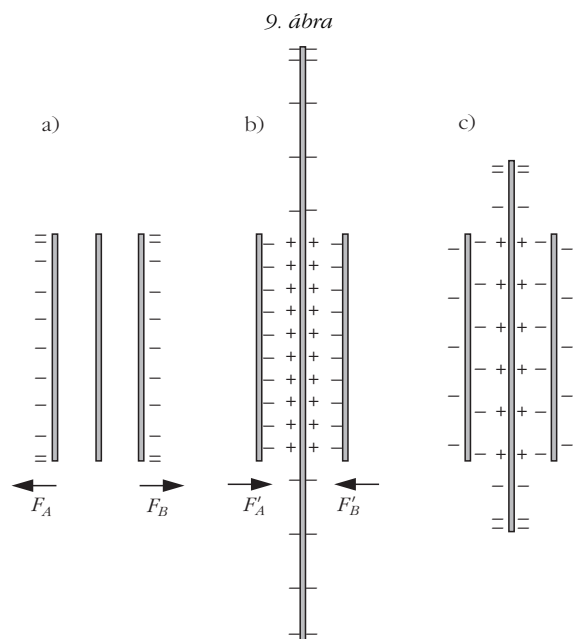
Megoldás.

a) A középre leengedett fémkorongon nem alakulhat ki töltésmegosztás, mert a korong (fém!) belsejében nem lehet szabad töltés, felületén pedig nem lép-het fel kétféle előjelű töltés a szimmetrikusan, ugyan-akkora korongokon elhelyezkedő, azonos előjelű töltések hatására. Ezért Bea ötlete nem jó, a két feltöl-tött korongra ható erő *nem* változhat meg. Ugyanúgy *taszítanak* egymást a semleges C fémkorong leeresz-tése után, mint addig (9.a ábra).

b) Itt, a nagyméretű C korong esetén már érvénye-sülhet a töltésmegosztás (9.b ábra). A középső ko-



8. ábra



9. ábra

rongnak a másik két koronggal szemközti részein  $q$ -val ellentétes töltés alakul ki mindkét oldalon. Ugyanakkora,  $q$ -val azonos előjelű töltés lép fel a nagy  $C$  korong széle felé, úgyhogy az össztöltés továbbra is nulla marad. Viszont a töltött korongokra most a nagy korongon megosztott (influált),  $q$ -val ellentétes előjelű töltések *vonzó* erőt fejtenek ki, és ez nagyobb, mint a taszító erő. A két töltött korongra ható erő éppen ellentétes irányú lesz, mint addig, amíg nem volt közöttük a nagy korong.

c) Gondolatban fokozatosan növeljük a középső korong átmérőjét 5 cm-ről 25 cm-re. A kezdeti taszító erő csökkenni kezd, míg végül – folytonosan változva – vonzó erőbe megy át. Közben, valamekkora átmérőnél tehát éppen zérus a töltött korongokra ható erő (9.c ábra). Hogy ez mekkora átmérőnél következik be, azt kissé bonyolultabb számítással lehet csak meghatározni; ezt azonban nem várta el a versenybizottság a megoldóktól.

Tájékozódásul vázoljuk a három esetben kialakuló töltéseloszlást (9. ábra), feltéve, hogy eredetileg negatív töltést adtunk a korongoknak. (Az ábrák *nem* méretarányosak.)

#### Kiegészítések.

a) eset: vegyük a három korong burkolóhengerét. Képzeld azt, hogy ez a „lapos” henger teljes egészében homogén vezető. Vigyük fel rá  $2q$  töltést, ezek legnagyobb része henger véglapjain jelenik meg, csak egy kis része kerül a henger palástjára. Ha ezután eltávolítjuk a hengernek azt a részét, ami nem a három korong, akkor látszik, hogy a középső korongon nincs töltés, így nem befolyásolja az  $A$  és  $B$  korong közötti erőhatást.

b) eset: Ha a középső korong végtelen nagy lenne, akkor a tükörtöltés módszerét alkalmazva jól látszana, hogy  $A$ -ra és  $B$ -re is vonzóerőt fejt ki a középső fémsík, miközben az  $A$  és  $B$  közötti kölcsönhatás már nem is lép fel. Most ugyan nem végtelen nagy a középső korong, de területe a kis, töltött  $A$  és  $B$  korong területének 25-szöröse, távolsága a kis korongoktól 1-1 mm, ami átmé-

rőjének 250-ed része. Vagyis a  $C$  korong közepén influált, az  $A$  és  $B$  töltésével ellenkező előjelű töltés vonzó hatásának kell érvényesülnie ebben az esetben is.

E feladat c) kérdésére egy középiskolások számára is követhető, kvantitatív számítást közölt *Gnädig Péter* a *KöMaL*-ban (61. évf., 2011. október, 426–436. old.), elnyerve ezzel a feladat kítőzőjének elismerését is.

Károlyházy Frigyes feladatai azóta is mindig megmozgatják a fizikusok fantáziáját, különösen azokat, akik nem szakadtak el a középiskolai fizikától. Vagy azért, mert valaha ők is indultak az Eötvös-versenyen, vagy azért, mert fiaik, lányaik, esetleg már unokáik hozzák haza, s mutatják meg ezeket a feladatokat.

Ilyenkor előtti őket a valamikori harci szellem, a küzdeni, vagy csak saját maguk számára bizonyítani akarás, és igazi sikerélményhez juttatja őket, ha sikerül megoldaniuk a Károlyházy-feladatokat. S ha mégsem? Olyankor felrémlik bennük, hogy az ő idejükben is volt valami hasonló, talán éppen Károlyházy-feladat, amit már akkor se sikerült megoldaniuk. Vigasztalásul fel-felidézük magukban a *Tanár úr kéretem*, *Karinthy* örökbecsű művét, abból is a *Tanítom a kisfiamat* című írást, amelyben az apa lelkébe nyilall a felismerés:

*Egyszerre világosság gyűl az agyamban. Mint egy villámcsapás, úgy ér a Nagy Megismerés, aminek hiánya búszegynébány év óta lappang és borong bennem úgy van, most rájöttem! ... Nincs kétség – akkor ... ott ... egészen nyilvánvaló – úgy van, nyilvánvaló, az apám se értette ezt a példát!*

*(...hogy bány nap alatt ég el kilenc köbméter bükkfa, és hatvan-hetven év élet.)*

Radnai Gyula

#### Irodalom

1. Vermes Miklós: *Az Eötvös-versenyek feladatai I. 1959–1988.* Typotex, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1997, 163 o.
2. Radnai Gyula: *Az Eötvös-versenyek feladatai II. 1989–1997.* Typotex, Budapest, 1998, 131 o. <http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/eotvos-versenyek/adatok.html>
3. <http://www.kfki.hu/education/verseny/eotvosverseny/report.html>

## 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.



# A FIZIKA TANÍTÁSÁHOZ SZÜKSÉGES TANÁRI TUDÁS RENDSZERE – II. RÉSZ

Radnóti Katalin, ELTE TTK Fizikai Intézet

Adorjáné Farkas Magdolna, Arany János Általános Iskola és Gimnázium

## A tanulási folyamat elősegítése a fizika tanítása során<sup>1</sup>

A modern kognitív pszichológia az információfeldolgozás tudástartalomból és konkrét szituációhoz (kontextushoz) kötöttségében hisz. Képességeink vannak, de azok nem valamilyen elkülönült, minden szituációs és tartalmi kötöttségtől mentesíthető kognitív operátorok, hanem erősen tartalom- és kontextusfüggő „valamik”. Úgy képzelhetjük el, hogy az információfeldolgozást mindig konkrét tartalomhoz és szituációhoz kötött, specifikus tudásrendszerek végzik, és valójában a tudásrendszerek minőségétől függ a működés eredményessége. Például az, amit a feladatmegoldó képességrendszer működéseként „érzékelnünk” nem más – ezen elképzelés szerint –, mint a konkrét feladatokhoz köthető tudásrendszerek működése.

Különös figyelmet érdemelnek azok a tudáselemeink, amelyek összességének neve a kognitív pszichológiában *metakogníció* [10]. Ez a fogalom azon tudásunkat jelenti, amit *saját magunk és mások kogníciójával* (gondolkodásával, tanulásával, problémamegoldásával, kommunikációjával) kapcsolatban birtokolunk. Tudhatjuk, hogy milyen úton, módon szoktunk fizikafeladatokat megoldani. Tudhatjuk, hogy milyen gondolkodási trükköket érdemes bevetni egy-egy nehezebb probléma megoldása során. Lehet ismeretünk arról is, hogy milyen tanulási stílus felel meg nekünk a legjobban, és ezt a stílust követhetjük mindenfajta tanulás során.

A tanulási folyamat során a tudás változik, formálódik, a konstrukciós folyamatok közben átstrukturálódik, és ebben az irányító szerepet betöltő tényezők nem a kívülről érkező ingerek, hanem maga ez az előzetes tudás. Mindig a meglévő tudásunknak megfelelően értelmezzük a jelenségeket, a *jelenségek* (a tapasztalati világunk elemei) a *kiszolgáltatók* az értelmezési mechanizmusoknak és nem fordítva.

A tanulók képesek a fizikai kísérletek eredményeit *másképpen látni*, mint ahogy azt a pedagógus interpretálja. Az ugyanolyan magasról elengedett, különböző tömegű testek közül a tanulók döntő többsége minden életkorban a nehezebbet látja leesni hamarabb, még akkor is, ha műszerekkel kimutathatóan észlelési határon belüli időkülönbséggel érnek talajt. Általános iskola alsó tagozatában tanuló gyerekek elhűlve tapasztalják, hogy két pohárból ugyanakkora mennyiségű, egyaránt

30 °C-os víz összeöntésekor a közös hőmérséklet 30 °C lesz és nem 60 °C, ahogy ők jósolják, és elkezdik vizsgálgni a hőmérőt, hogy nem hibás-e.

Ugyancsak a műszerek hibáira gyanakodnak akkor, amikor az egyenáramú körben, ha az áramkör zárt, bármely hurokra a voltmérő 0 feszültséget mér.

Az általunk itt említett jelenségek oka nem az, hogy a gyerekek valamit nem tanultak meg jól, rosszul gondolkodnak, vagy nem elég alaposak, hanem előzetes tudásuk, a meglévő kognitív rendszereik állapota, adott tartalma határozza meg gondolkodásukat.

*Szinte minden témában létezik előzetes tudás, és az a tanulási folyamatok döntő meghatározója.* A fizikatanár hiheti, hogy a gyerekek tudata üres lap, amelyre okos magyarázatok segítségével kell felírni a fizikai világra vonatkozó ismereteket. Hiheti és cselekedhet is ennek megfelelően, de számolnia kell azzal, hogy konfliktusok alakulnak ki a gyerekek világlátása és a magyarázatok között, a gyerekek képtelenek lesznek megkonstruálni az új tudást (átalakítani meglévő elképzeléseiket), mert a tanítás a tanulás itt jellemzett dinamikáját nem veszi figyelembe.

Az eredményül pedig a gyerekek egy jó része belefáradhat abba, hogy hiábavaló erőfeszítéseket tegyen a tanár magyarázatainak értelmezésére, a tudásrendszer olyan átalakítására, amelyben a tanár tudományos látásmódja a meghatározó. Ez az egyeztetés nem fog sikerülni, mert a tanuló *egészen másképpen gondolja*. Neki a mozgás fenntartásához mozgató hatásra van szükség, a hőmérséklet – mert szorosan összekapcsolódik az energia, a hő fogalmaival – összeadó és nem kiegyenlítő mennyiség, és a feszültség szinte azonos az áramerősséggel, úgyhogy ha van áram a körben, akkor feszültség sehol sem lehetne 0.

Miközben az előzetes tudás alapvető jelentőséggel bír, hiszen „az az a hely”, ahol a konstrukciós folyamatok zajlanak („az előzetes tudás konstruál”), aközben sokszor *gátja a tudományos elképzeléseknek megfelelő konstrukciók kialakulásának*. Ezért fontos a tanulók előzetes tudásának ismerete, amelyre bevezetőnkben utaltunk a szakmai háttérismeretek felsorolásakor.

A tanítás célja az lehet, hogy a tanulóban kialakuljanak olyan elképzelések, elméletek, amelyek a tudományos látásmódhoz hasonló következtetéseket, magyarázatokat, cselekvéseket eredményeznek. A folyamatot, amelyben ilyen alternatív elképzelések jönnek létre, és amelyben ezek az elképzelések, elméletek a megfelelő szituációk esetén működésbe is lépnek, *fogalmi váltásnak* nevezzük. A fogalmi váltás tehát egy *radikális gondolkodási átalakulás*, a világ egy részét, egy jelenség-együttesét „másképpen kezdjük látni”, mint korábban.

<sup>1</sup> A tanári tudás kérdéséhez a tudományfilozófia néhány 20. századi eredményét munkánk előző részében (*Fizikai Szemle* 2012. novemberi számának 391–395. oldalain) foglaltuk össze.

Fogalmi váltás, amikor a diákok megtanulják, és el is fogadják (meggyőződésükké válik), hogy a Föld kering a Nap körül és nem fordítva. Ugyanúgy fogalmi váltás a newtoni mozgásemélet valódi elsajátítása, tehát amikor azt tudatosan alkalmazzuk a komolyabb megfontolást igénylő mechanikai problémák megoldása során. Fogalmi váltásokat jelent az anyagszerkezet szemléletmódjának lépcsőzetes kialakulása, vagyis amikor elfogadjuk, hogy az anyag nem folytonos, hanem kis golyókból áll; amikor elfogadjuk, hogy ezek a részecskék valójában nem is mindig golyók, és van belső szerkezetük, atomokból állnak. Ezt az anyagszerkezeti modellekkel kapcsolatos sort mindenki folytatni tudná. Konceptuális váltást kell átélnie annak, aki komolyan meg akarja érteni, mit jelentett a relativitáselmélet vagy a kvantumelmélet megszületése a fizikában. A fizika tanulása (de ez így van minden tantárggyal) telis-tele van fogalmi váltásokkal, egész tantervek vázát alkotják ezek a lényeges szemléletmódbeli váltások.

A *gyermektudomány* azon rendszerré szerveződő tudáselemek összessége, amelyeket a gyerekek a világról alkottak meg magukban. A „tudomány” megnevezést azért kapta, mert valóban a tudományos ismeretrendszerekéhez hasonló funkciókkal bír: előrejelzi az eseményeket, folyamatokat, magyarázza mindazt, ami a gyermek tapasztalati világában megjelenik, és végső soron irányítja cselekvését. A gyermektudomány is ugyanúgy tételekből, elméletekből áll, mint a „nagy tudomány”, csak formalizáltságuk nem éri el a tudományos ismeret formalizáltságát.

A gyermektudomány fizikai világra vonatkozó részrendszere alaposan vizsgált jelenségvilág, kutatását *Piaget* (1972) kezdte. Könyvtárnyi irodalma van ahogyan a gyerekek a mozgásokról, elektromosságról, hőről, fényről, anyagszerkezetről, gázokról stb. gondolkodnak.

A gyerekek gondolkodása sok esetben szinte pontosan követi azokat a *fizika történetében* is létezett elképzeléseket, amelyeket ma már csupán érdekeseznek, túlhaladott elméleteknek tekintünk. A tudománytörténet ismerete, a fogalmi rendszer formálódása az éppen feldolgozni kívánt témakör esetében ezért fontos a tanár számára.

A gyerekeket *beszéltetni kell* meglévő elképzeléseikről, *ütköztetni* kell az egymásnak ellentmondókat, vitákat kell rendezni. Kétséget kell ébreszteni a gyerekekben: vajon minden esetben beválnak-e elgondolásaik? *Láttatni* kell, hogy létezik más lehetőség is az adott témában való gondolkodásra, és amennyire lehet, tisztán el kell magyarázni ezt az új elképzelést. Ki kell alakítanunk a tanulóknak az *attitűdöt*, amely lehetővé teszi, hogy többféleképpen is gondolkodjanak ugyanarról a jelenségvilágról, fogadják el, hogy elméleteink modellek, és több modellel létezhet. Sok-sok megfigyelés, kísérlet, mérés szükséges ahhoz, hogy a tanulók egyre közelebb jussanak az újonnan elsajátított értelmezés hasznosságának belátásához. Ez ne iskolás mintafeladatokkal történjék, hanem élet-szerű, a gyerekek életét is közvetlenül érintő példák-kal. Semmit nem ér az olyan fogalmi váltás, amelynél

az újonnan elsajátított elképzelés alkalmazása számára csakis a pedagógiai szituációkban (válaszadás egy tanári kérdésre, felelés, dolgozatírás, vizsga) indokolt. Ilyenkor *a tudás csak iskolás szituációkban és nem az „életben” lesz adaptív*, a fogalmi váltás nem úgy ment végbe, ahogyan szeretnénk [9].

Tehát a fizika tanítása során a tanár és a diákok végezzenek sok kísérletet, mérést, érdekes problémák megoldásán keresztül gyakorolják az elméletalkotást, a kutató módszerek alkalmazását, az életből lássanak sok alkalmazást. Az újszerű megközelítési lehetőségek közül példaként a probléma alapú tanítást és a kutatás alapú tanítási gyakorlatot mutatjuk be.

## Probléma alapú tanítás

A probléma alapú tanítási (PAT, angolul problem-based learning, PBL) stratégiát a hatvanas évek elején a kanadai McMaster egyetemen orvostanhallgatók számára fejlesztették ki, hogy segítsék a hallgatókat a helyes diagnózis felállításában. A módszert, amelynek alapjaival röviden érdemes megismerkedni, később egyre több helyen alkalmazták.

A módszer legfontosabb alapvetése szerint a tananyag problémából építkező struktúra, azaz a problémamegoldásra alapozott. A tananyagot releváns problémákba ágyazzák (nem ragaszkodnak a szaktudományos ismeretrendszer belső logikájához), az oktatás keretében az életből származó, valódi információkat lehet az elsajátított tudáshoz kapcsolni. Ez ösztönzi a tanulókat a használható források felkutatására, saját tanulásuk ellenőrzésére. A többi probléma-központú módszertől abban különbözik, hogy a diákok a probléma megoldásához szükséges információk megtanulása előtt ismerkednek meg a problémával, és nem a korábban elsajátított tudás gyakorlása céljából kell különböző életszerű eseteket megoldaniuk. A diákok csoportosan, együtt dolgoznak. Fontos, hogy megbeszéljék egymással tapasztalataikat, megosszák egymással tudásukat. A tanulási környezet olyan, ahol a tanulás hajtóereje a probléma [11].

A tanulók, akik aktívan végeznek megfigyeléseket, gyűjtéseket, analizálják és szintetizálják az információkat, felvázolják a konklúziókat, fejlesztik a folyamat során használt problémamegoldó készségüket. A probléma alapú tanulást azért is ajánlják, mert fejleszti a gondolkodási szokásokat, amelyek egész életen át fennmaradnak, irányítják a tanulást és a kreatív gondolkodást.

A diszciplinák tartalma, mint a cél eléréséhez szükséges eszköz nagyon fontos. A tudás, a diszciplinák alapja állandóan növekszik és változik. Senki sem tud mindent megtanulni, de mindenki elő tudja segíteni képességeinek fejlődését, és a tudás megalkotásának és megvizsgálásának folyamatához szükséges kutatási attitűdök egész élete alatti gondozását. A modern oktatás számára a folyamatos tanuláshoz szükséges készségek és képességek lehetnek a legfontosabb eredmények. Fontos megtanulni az egész életen keresztül tartó tanulást.

A probléma alapú programok az általános iskola felsős évfolyamain általában növelték a tanulás teljesítményét, főképpen a laboratóriumi, a grafikus ábrázolási és az adatértelmezési készségek fejlesztését segítették elő. Az interaktív média és a számítógépes adatbázisok használata elősegíti a kutatási készségek fejlődését. Az oktatás nem tudja megadni a tanulóknak az összes információt, amelyekre szükségük lehet, ezért inkább eszközöket kell nyújtania a tanulás folytatásához [12].

## Kutatás alapú tanulás/tanítás

Több országban elterjedt gyakorlat a természettudományos nevelés, mint kutatás, illetve a kutatás alapú természettudomány tanításának koncepciója, amelynek lényege, hogy a kutatás képezi a természettudományos nevelés alapját, irányítja a tanulói tevékenységek megszervezésének és kiválasztásának alapelveit [11]. A kutatás alapú tanulás/tanítás (KAT, inquiry-based learning, IBL) olyan módszer, amely biztosítja, hogy a tanulók átéljék a tudásalkotás folyamatait. Legfőbb sajátossága a kutatás által stimulált tanulás, amely teljes mértékben tanulócentrikus megközelítés, ami egyben utat jelent az önszabályozó tanulás felé, a tanulás aktív folyamatként való megközelítésére helyezi a hangsúlyt. A természettudomány tanulásával kapcsolatban használatos még az IBST (Inquiry Based Science Teaching) kifejezés is, amely inkább a tanításra koncentrálna, míg az előbb említett módszer talán inkább a tanulók tanulására fókuszál. A módszer fő jellegzetessége az, hogy a diákok kutatással kapcsolatos, illetve kutatás jellegű tevékenységeket végezzenek a természettudomány tanulása során, mint:

- problémák keresése, kutatásra érdemes kérdések megfogalmazása,
- hipotézisek megfogalmazása,
- különböző alternatív magyarázatok megalkotása és elemzése,
- kutatások tervezése, vezetése,
- megfelelő eszközök és technikák használata az adatok gyűjtéséhez,
- adatok elemzése,
- különböző alternatív magyarázatok megalkotása és elemzése,
- természettudományos érvek/indokok közlése.

Le kell szögeznünk azonban, hogy a kutatáson alapuló oktatási módszer sem csodaszer a természettudományos oktatás valamennyi problémájának megoldására, noha nagyon hatékony, egyaránt fejleszti a tanulók tartalmi tudását és készségeit, képességeit. A tanuló aktívan vesz részt a tanulási folyamatban, saját tudása megkonstruálásában, miközben a kutatás során problémamegoldó képességeit is használja.

A módszer egyben a tanulói szerepek megváltozását is jelenti a tanulási folyamatban. A diákok lehetőséget kapnak arra, hogy az őket érdeklő problémákkal foglalkozzanak, ezáltal sokkal motiváltabbak lesznek. Felelőssé válnak saját tanulásukért, ezen kívül az

egyéni tanulás kapcsolódik a társakkal és a tanárokkal való együttműködéshez.

A tanulói részvétel, szerep megváltozásával együtt a tanár szerepe is változik. A hagyományos oktatásban a tanár áll a középpontban, ő irányít, ő az ismeretátadó, ő az információforrás. A tanári instrukció dominál a tudáselsajátítás során. A KAT szakít ezzel a felfogással, és bár a *tanári szerep nem csökken* a tanulási folyamatban, de nagymértékben megváltozik.

## A tanári szerep változása

Általában csoportmunka keretében érdemes elvégezni a feladatokat. Nagyon fontos, hogy a tanulók önállóan dolgozzanak, valósítsák meg saját ötleteiket, fogalmazzák meg elképzeléseiket.

– A tanár felhívja a figyelmet egy problémára, vagy jóváhagyja, esetleg pontosítja a tanulók által felvetett problémát.

– Az egész munkafolyamatot irányítja, ellenőrzi, válaszol a felmerülő kérdésekre.

– A téves úton haladó, vagy a folyamatban elakadt tanulókat segíti, rávezeti a helyes megoldásra. A tanár a tévedéseket fogadja megértéssel, hiszen a megismerés folyamatának ez is természetes része.

### *A problémamegoldás lépései*

A probléma jellegéből következik, hogy az alább felsorolt lépések közül melyiket kell megtenni és melyiket kell kihagyni. A probléma sokféle lehet:

– Egy *aktuális esemény*, például valamilyen környezeti katasztrófa, környezetszennyezés vagy ipari baleset: tornádó, földrengés, olajömlés, nukleáris erőmű balesete, vörösiszap-ömlés, a Tisza vízének ciánszennyezése stb. A tanárnak rá kell világítania, hogy ezen események okozója nem a tudomány, hanem valamilyen emberi hiba vagy felelőtlenység, illetve egy kiszámíthatatlan természeti katasztrófa. A tudomány és a technika azonban képes lehet a probléma megoldására, a káros következmények enyhítésére és a jövőbeni hasonló események megakadályozására. A problémák felvetése a témáról megjelent cikk/riport/ismeretterjesztő film közös elemzésével történhet.

– *Olyan jelenség, amely mellett sokszor elmentünk anélkül, hogy felfigyeltünk volna rá* és kerestük volna a magyarázatot. A gyerekek sokszor kérdeznek olyan jelenségekről, amelyekben a legtöbb felnőtt semmi érdekeset nem talál, mert már megszokottá váltak a számára. Ezt a gyermeki kíváncsiságot ki kell használnunk. Itt is megvan a párhuzam a gyerekek és a kutatók gondolkodásmódja között. (Szokták is mondani, hogy a kutatókban megmaradt a gyermeki kíváncsiság.) A tudósok is sokszor rácsodálkoznak olyan jelenségekre, amelyeken mások nem töprengenek. Szép példa az a tudománytörténelmi legenda, miszerint *Newton* agyában akkor ötlött fel a gondolat, hogy ugyanaz az erő okozza a tárgyak esését és az égitestek mozgását, amikor almát látott lehullni a fáról. A kutatók sokszor egymástól távoli dolgok között

fedeznek fel kapcsolatot. A gyakran emlegetett „szerencse” általában annak köszönhető, hogy a kutató olyan jelenségre, olyan összefüggésre figyel fel, amelyet ugyan sokan láttak, de nem gondolkoztak el rajta. Ha ehhez a „szerencséhez” kemény és kitartó munka társul, akkor létrejöhet a nagy felfedezés. A problémát felvethetik a tanulók, de a tanár is felhívhatja a figyelmet olyan hétköznapi jelenségre, amelynek magyarázata érdekes tudományos tanulságokkal szolgálhat.

– Egy új kutatási eredmény: ha végigkövetik azt az utat, amely a felfedezéshez vezet, a tanulók a probléma megfogalmazásától a tudományos publikáció elkészítéséig tartó megismerési folyamat fontos lépéseit ismerhetik meg. Napjainkban leginkább a csillagászattal, a kozmológiával, a részecskefizikával, az orvostudománnyal, a gyógyszerkutatással, az energia-termeléssel és a környezetszennyezéssel kapcsolatos témák keltik fel az emberek és így a gyerekek figyelmét. Érdekes arról beszélni, hogy egy-egy új felfedezés milyen hatással lesz a tudomány fejlődésére és az emberek életére. Mutassunk rá, hogy egy felfedezés gyakorlati haszna sokszor nem látszik azonnal. (Erre jó példa az elektromosság.)

– Egy olyan létesítmény – például egy szeméttégető vagy egy erőmű – építése, üzemeltetése, amelynek környezeti hatása is lehet. Érdekes tanulmányi kirándulást szervezni az intézményhez, beszélni helyi szakemberekkel. A problémát úgy is fel lehet dolgozni, hogy a tanulók különböző szerepeket kapnak – ilyenek például a létesítmény tervezője, helyi önkormányzati vezető, független szakember stb. Fontos, hogy érvekkel támasszák alá állításaikat, ennek érdekében készítsenek számításokat, grafikonokat, fényképeket, hatástanulmányokat! Hallgassák meg és mérlegeljék a vitapartner érveit! Az ilyen feladat fejleszti a *vitakultúrát*.

A tanár fontos szerepe az, hogy keltse fel vagy tartsa fenn a tanulók kíváncsiságát!

• Együtt gyűjtsék össze, hogy miért érdekes vagy fontos a kiválasztott probléma!

• A tanulókkal együtt fogalmazzák meg a kérdéseket, amelyekre a választ keresik! Gyűjtsék össze, hogy a tanulóknak milyen előzetes ismeretük van a témával kapcsolatban!

• Bővítsék ismereteiket a szükséges mértékben!  
• Beszéljék meg a probléma tudományos hátterét! Ez főként tanári feladat.

• Beszéljék meg az esemény/jelenség helyi és globális környezeti hatásait!

• Beszéljék meg a probléma társadalmi, gazdasági vonatkozásait!

• Fogalmazzák meg előzetes elképzeléseiket, hipotéziseiket a jelenség okaira, a következményekre és a megoldásra vonatkozóan!

• Készítsenek részletes tervet!  
• Határozzák meg, hogy milyen helyszíneken kell az egyes munkafázisokat végrehajtani:

– külső helyszín, ahol a jelenség közvetlenül megfigyelhető, ahol anyagmintát lehet venni, méréseket lehet végezni, iskolán kívüli személyekkel lehet találkozni, riportokat, felméréseket lehet készíteni;

– iskola, ahol kísérleteket, méréseket lehet végezni, illetve a további lépéseket megtenni.

• Határozzák meg, hogy milyen további személyek közreműködését igényli a feladat megoldása!

• Határozzák meg, hogy milyen eszközök, anyagok szükségesek a feladat elvégzéséhez!

• Végezzék el a megfigyeléseket, kísérleteket, írásban rögzítsék a tapasztalatokat! Ha lehetséges, akkor külső helyszínen is végezzenek megfigyeléseket, méréseket, beszéljenek az ott élő, ott dolgozó emberekkel! Ha méréseket végeznek, azokat legalább kétszer ismételjék meg, de ha egymásnak ellentmondó adatokat kapnak, abban az esetben még további mérések szükségesek. Igen fontos a fegyelmezett munkavégzés és a balesetvédelmi szabályok betartása – ezek ismertetése és a szükséges védőfelszerelések biztosítása tanári feladat. A megfigyelésekről készítsenek fényképeket, rajzokat!

• Alkossanak modelleket!

• Rendszerezze a frissen szerzett ismereteket!  
Döntsék el, hogy melyek azok a megfigyelések és adatok, amelyek a felvetett probléma szempontjából fontosak és melyek azok, amelyeket el lehet hanyagolni.

• Ábrázolják grafikonon a mérési eredményeket! Állapítsák meg az egyes mennyiségek közötti matematikai összefüggést!

• Vonják le a következtetéseket! Találják meg az ok-okozati összefüggést! Mérlegeljék a következményeket! Eredményeiket vessék össze előzetes elképzeléseikkel!

• Ha az eredmények nem meggyőzőek, akkor gondolják végig, vajon az előzetes elképzelések voltak-e helytelenek, a mérés során követtek el hibát, vagy hol hagytak figyelmen kívül valamilyen fontos tényezőt. Előbbi esetben módosítani kell az előzetesen felállított elméletet, utóbbi esetben pedig meg kell ismételni vagy módosítani kell a kísérleteket, méréseket! Hívják fel a tanulók figyelmét arra, hogy a kutatók is ezt az utat járják végig. Eredményeiket hasonlítsák össze másokéval! Ha ugyanazt a jelenséget vizsgálták, ugyanolyan eredményeket kell kapniuk. Fontos, hogy megértsék: a természettudományok jellemzője a térbeli és időbeli reprodukálhatóság, tehát ha két kutató ugyanazt ugyanolyan körülmények között méri meg, akkor ugyanazt az eredményt kell kapniuk, hiába történtek a mérések különböző helyen és időben.

• A feladat befejezéseként készítsenek posztert, kiselőadást! Ha helyi problémával foglalkoztak a tanulók, érdemes a helyi újságban, rádióban, TV-ben is közzétenni az eredményeket, ez is inspiráló tényező lehet a tanulók számára.

## Irodalom

10. J. Piaget: *La représentation du monde chez l'enfant*. Presses Universitaires de France, Paris, 1972.
11. Molnár Gyöngyvér: *Tudástranszfer és komplex problémamegoldás*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2006.
12. Nagy Lászlóné: A kutatásalapú tanulás/tanítás ('inquiry-based learning/teaching', IBL) és a természettudományok tanítása. *Iskolakultúra* 2010/1, 31–51.

# SZUBJEKTÍV BENYOMÁSOK AZ 55. ORSZÁGOS FIZIKATANÁRI ANKÉT ÉS ESZKÖZBEMUTATÓRÓL

– avagy mit is csináltunk április végén Győrben

Tepliczky István

Bláthy Ottó Villamosipari Szakközépiskola, Miskolc

Az 55.-nek Győr városa, azon belül a Széchenyi István Egyetem adott otthont 2012. április 27–30. között. Az idén is – mint az előző évben – az általános iskolai és a középiskolai fizikatanárok találkozájára, eszmecseréjére került sor az ország északnyugati csücskében. A több mint 100 résztvevőnek a szervezők a közlekedéssel, a járműtechnikával, a hírközléssel és a kommunikációs technikával kapcsolatos előadásokat kínáltak. A péntek déltől hétfő délig tartó program sok, érdekes és meglepő újdonságokat is bemutató prezentációt nyújtott a szép számú hallgatóságnak.

Az ankétot Nagy Szilvia, a Műszaki Tudományi Kar tudományos és nemzetközi kapcsolatokért felelős dékánhelyettese nyitotta meg házigazdaként, majd hősiesen velünk tartott a négynapos program során. A megnyitó után a hagyományoknak megfelelően a Mikola-díjak és a Marx György Emlékplakett átadására került sor.

Az általános iskolás Mikola-díjat Schwarcz Katalin, a budapesti Brassó úti Általános Iskola tanára,

a középiskolás Mikola-díjat Pántyáné Kuzder Mária, a miskolci Herman Ottó Gimnázium tanára és természettudományos laboratóriumának vezetője,

a Marx György Vándordíjat Piláth Károly, az ELTE Trefort Ágoston Gyakorlógimnázium tanára vehette át.

Azt gondolom, a díjak méltó helyre kerültek, a résztvevők nevében is szívből gratulálok, és további sikereket kívánok minden díjazottnak.

Szintén 27-én délután került sor a MASAT-1 programot bemutató előadásra, amelyet a program megvalósítói közül Dudás Levente és Czifra Dávid tartott, kiválóan elszórakoztatva és elkápráztatva a közönséget. A fiatal mérnökök bemutatták az elképzeléstől a megvalósulásig tartó folyamat nehézségeit és szépségeit, láthattuk az eredményeket is. Meséltek a további tervekről, a MASAT-2-ről. Mindnyájunk nevében sok sikert kívánunk nekik.

Az MASAT-os előadást követően az utóbbi fizikatanári ankétok két állandó résztvevője kapott szót: Jarsiewicz Beáta és Sükösd Csaba, akik 2006 óta minden évben megszervezik nekünk a nyári továbbképzést a CERN-ben. Eddig az ankétokon lehetett jelentkezni, ám az informatika itt is előretört, hiszen az idén a <http://cern2012.sukjaro.hu> oldalon, az interneten keresztül lehetett regisztrálni résztvevőként a továbbképzésre. Én 2007-ben voltam tagja e nagyszerű, egyhetes élménynek, amely alapvetően megváltoztatott engem és fizika tanításához fűződő viszonyomat, remélem jó irányban. Csak ajánlani tudom mindenkinek ezt a programot, ahol a fantasztikus technika mellett

még fantasztikusabb emberekkel, előadókkal ismerkedhetnek meg a továbbképzés résztvevői.

Ezután került sor az eszköziállítás megnyitására és az egyetemi laboratóriumok meglátogatására. Ez utóbbi – bár eléggé fárasztó volt a napi utazás és az egyéb programok után – rendkívül érdekes és sok újat bemutató színfoltja lett a programnak.

Az estét a Széchenyi étteremben folytattuk a hagyományos állófogadással, ahol kellemes vacsora mellett ismerkedhettek az ilyen események hangulatával, illetve a rutinos anketra járókkal azok, akik most először csatlakoztak hozzánk.

A szombati nap előadásokkal kezdődött. Először Földesi Péter tanszékvezető egyetemi docens előadásából megtudhattuk, hogy mi minden tartozik a modern logisztika feladatkörébe, illetve, hogy mire is kell gondolnunk akkor, amikor a logisztika csapdájáról beszélünk. Szintén e napon mutatkoztak be nekünk a Szengine, Szenergy csapat tagjai, akik egy Formula Student versenyautó motorját, illetve magát az autót építik, amivel hamarosan versenyezni is fognak.

Kisdeák Lajos úr, a MOL-LUB Kft. kenéstechnikai vezetője bemutatta nekünk a MOL-csoport támogatási és szponzorációs tevékenységét, amellyel a természettudományos oktatást, illetve a tudományos ismeretterjesztést szeretnék segíteni.

E délelőttön hallhattuk Hanula Barna előadását az autóversenyzés és a fizika kapcsolatáról, illetve arról, hogy milyen technikai feltételek között dolgoznak a mai Formula-1-es autóversenyzők, milyen fizikai hatásoknak van kitéve szervezetük. Nagyszerű előadást hallhattunk és bizony irigyeltem a Széchenyi Egyetem hallgatóit, hogy ilyen remek előadóktól tanulhatnak.

Schwarcz Katalin, friss Mikola-díjasnak gratulál Nagy Dénes Lajos.







Farkas Zsuzsanna a tízperces kísérletek dobogása.

Az előadásokat *Gál Péter* folytatta *Quo vadis automobil?* címmel, az autóipar előtt álló kihívásokról és azok lehetséges megoldásairól, majd *Farkasvölgyi Andrea*, a BME előadója a helymeghatározó rendszerek fejlődéséről, a Galileo-programról és a további tervekről mesélt nekünk.

A délutáni programban műhelyfoglalkozások szerepeltek, amelyben 15 előadás közül választhattunk. A fizikatörténethez való vonzódásom miatt elsősorban a *Jarosievitz Zoltán* által vezetett foglalkozásra voltam kíváncsi, ahol megépítettük *Jedlik Ányos* villamdelejes forgonyát. Nagy élmény volt látni azt, hogy kollégáim milyen lelkesedéssel vetették magukat bele a fizikatörténeti eszköz előállításába, milyen kitörő örömmel fogadták, amikor a forgórész valóban elindult, forogni kezdett. Azt gondolom, hogy a műhelyfoglalkozások első díja méltán lett a műhely vezetőjéé. A foglalkozások között szerepeltek csillagászati és módszertani előadások, valamint a kísérletekre építő általános iskolai, sőt óvodai, no meg középiskolában is használható ötleteket bemutató ismertetések. Engem *Nyerges Gyula A műholdak a fejünkre esnek?* című foglalkozása fogott meg, illetve csodálkozva és élvezettel bújtam be a mobil planetárium felfújható félgömbje alá, hogy élvezhessem a nagyszerű eszköz bemutatóját.

A műhelyfoglalkozások után nem sok időnk volt a magunkhoz térésre, mert buszra szálltunk és elindultunk Pannonhalmára. Itt a társaság jó része megtekintette a Bencés Apátságot, a többiek sétálgattak az arborétumban és az apátság körül. A rövid látogatás után Pár felé vettük az irányt, ahol repülőtérre vendégeskedtünk. Buszunkkal behajtottunk a kifutópálya végére, ahol *Vadász László* igazgató úr bemutatta nekünk Magyarország legnagyobb forgalmú vidéki kereskedelmi repülőtérét, mesélt az intézmény megszületéséről, fő felhasználóiról, és természetesen a további tervekről, a bővítésről is.

Az este a péri Öveges József Általános Iskola udvarán ért bennünket, ahol az iskola igazgatója nagyon finom vaddisznópörkölttel várt bennünket. Köszönjük kedvességét, a szíves vendéglátást, no meg a finom ételt is! A kellemes este után még nem mindenki tért

nyugovóra, hiszen a Széchenyi Egyetem kollégiumi épületének tetején elhelyezkedő csillagdában – a Csillagászat Napja alkalmából – Nyerges Gyula távcsöves bemutatót tartott az érdeklődőknek.

Számomra a legizgalmasabb nap április 29., vasárnap volt. A délelőtti folyamán nagyon érdekes és szórakoztató előadást hallhattunk *Bacsárdi Lászlótól* (BME) arról, hogyan is jeleztek elődeink, hogyan továbbították üzeneteiket jelzőtüzekkel és egyéb eszközökkel, illetve, hogyan jutottunk el a műholdakon keresztüli kommunikációig. Ehhez kapcsolódott *Kolos Tibor* (SZE) előadása a mobiltelefonokról és ezek rendszereiről, majd ezt követte *Vári Péter* bemutatója a digitális televíziózásról, annak terjedéséről és szerepéről mai életünkben. A kommunikációról és a fejlődéséről szóló előadások után *Mészáros Péter*, a Mobilis Interaktív Kiállítási Központ munkatársa mutatta be Győr új nevezetességét, az ott látható interaktív kiállítást és eszközöket úgyis, mint a délutáni programunk helyszínét.

Bevallom, hogy az ebéd elfogyasztása is nehezebbre esett, mert a „10 perces kísérletek” jártak a fejemben, ahol a 18-19 résztvevő egyike voltam. Nagy izgalom töltött el, gondolom a többiekhez hasonlóan, noha nem először mutattunk be fizikakísérleteket nagyobb közönség előtt. Ám közel száz hozzáértő, fizikát tanító kolléga előtt mégiscsak feszélyező érzés volt. Két „felvonásban” adtuk elő kísérleteinket délután fél kettőtől egészen körülbelül fél hatig. Szóval maratoni volt a bemutató. Az egyszerű eszközökkel bemutatott kísérletektől a bonyolultabbakig, a kiselezetésre ítélt egykori gőzgépmodelltől (amit kollégánknak megmentett és felhasznált) az extra zeneszerszámokig sok érdekesség volt látható itt. A többiek kísérletein nagyon jól szórakoztam, míg a sajátom alatt olyan izgatott voltam, hogy néhány fontosabb dolgot ki is felejtettem, de nagyon jó érzés volt látni, hogy milyen szívesen fogadták a nézőtérre kollégáink a kísérleteket, mennyire izgultak értünk és bízattak, amikor valami nem úgy sikerült, ahogy szeretnénk volna.

A kísérletek sorát *Härtlein Károly* zárta, akinek köszönhetem, hogy újra kísérletezek, hiszen – szerintem sokunkat – ő „vett rá” újra a kísérletezésre, ő mutatta meg ezek szórakoztató, játékos oldalát és a fizika tanítására gyakorolt nagyon fontos hatását is. Köszönöm neki és a sok résztvevőnek is ezt a szép délutánt! Remélem Karcsit jó érzéssel töltötte el, hogy az ország szinte minden szögletében akadnak már követői.

Szeretném itt idézni *Kirsch Éva*, a *Tíz perces kísérletek* szervezőjének beszámolóját a programról:

„Tízpercek egy másik dimenzióból

Kinézek a paraván mögül. Száz tanárt látok, aki most diákként nyújtogatja nyakát, kezében jegyzetfüzet, szeme a kivetítőn, és a katedrán egy másik tanárt, aki talán diákként izgul.

Így képzeltük? Igen, valahogy így.

A 10 perces kísérletekből álló maratoni show gondolata valójában egy szándék kikristályosodásaként született.

Miért érdemes egy fizikatanárnak ankétra mennie? A találkozásokért és az új ötletekért. Az előadások is nagyon kellenek, mert vágyunk a tájékozottságra, szeretjük ismereteinket bővíteni, agyunk kapacitását megtapasztalni, de a fizikatanár úgy van összerakva, hogy szeret tanítani. Sőt, szeret jól tanítani. Bírni akarja tanítványai figyelmét, és mindig szegényesnek találja azt az ötlettárat, amivel rendelkezik. Bátran kijelentem, hogy semelyik másik tantárgy tanítása nem tud olyan innovációs fejlődést felmutatni, mint a fizika. Az érdektelenség poklait megjáró fizikatanár a csillagos eget is lehozza a gyerekeknek. (Vagy legalább elviszi oda, ahol látszik.) A high-tech eszközöktől a lufiig, a konyhától a CERN-ig terjed a skála, amin a pedagógus játszik.

És mindig újabb ötletre vágyik. Arra, amit a kolléga tud. Mert sejti, hogy az milyen értékes. De ez a kolléga többnyire nem gondolja úgy, hogy műhely keretében érdemes lenne bemutatnia, vagy cikket írhatna erről. Hogyan győzzük meg erről? Talán ha több másik tanár között kap egy kis időt arra, hogy szerepeljen, akkor mindannyian gazdagodhatunk: mi egy gondolat, ő egy sikerélménnyel.

Ez volt a cél, ami a 10 perceseket életre hívta. A »Kísérleti műhelycsarnok« elnevezés utalni kíván arra, hogy a műhelyek hagyományait követi abban az értelemben, hogy kollégák tanítják egymást. A klasszikus műhelyek egyik hátránya, hogy a résztvevők száma korlátozott. A »csarnok« nagyobb, mindenkinek jut hely.

A bemutatkozó kollégákat nem csak azért illeti köszönet, mert rászánták az időt, energiát, hanem mert reményeink szerint kedvet csináltak másoknak is a következő évi jelentkezéshez.

Kedves Kollégák!

Higgyétek el, hogy mindig van, akinek nem ismerős, amit ti órán bemutattok. Vannak fiatalok, vannak kevésbé gyakorlottak, most visszailleszkedők vagy most lehetőséghez jutottak, akiknek nagy segítség a



Tófalusi Péter, a Debreceni Református Kollégium Dóczy Gedeon Gimnáziumának tanára rakétakilövés közben.

legegyszerűbb dolog is. Vagy frissülésre vár a megszokott repertoárunk. Nem csak az eszközt és technikát leshetjük el, hanem azt is, ki hogy adja el a kísérletet. A szöveg, a körítés, az illesztés – egy-egy inspiráció a többieknek.

Megőrizzük a 10 percesek ötletét, mert a visszajelzések alapján is sikeresnek találtuk.

Tehát lehet készülődni! El lehet hódítani az első helyet *Csatári László* »filléres fiziká«-jától, a másodikat *Piláth Károly* »csodalufi«-jaitól, a harmadikat *Tepliczky István* mágneseitől és *Pál Zoltán* csodálatos hangú csöveitől!

2012-ben ránk szánt 10 percet: *Baló Péter*, *Csatári László*, *Farkas Zsuzsanna*, *Härtlein Károly*, *Horváth Mihály*, *Jáki-Takács Mária*, *Jendrék Miklós*, *Kovács László*, *Márki-Zay János*, *Pál Zoltán*, *Sebestyén Zoltán*, *Tepliczky István*, *Tóth Pál*, *Ujvári Sándor*, *Zátonyi Sándor*.

2013 tavaszán várunk mindenkit a katedrára – a 10 percben.”

Bevallom, nem tudom, hogyan keveredtem le a Rába partjára, ahonnan az esti hajókirándulásra mentünk, az izgalom még utána is olyan nagy volt ben-

# 22. IFJÚSÁGI TUDOMÁNYOS ÉS INNOVÁCIÓS TEHETSÉGGUTATÓ VERSENY



## AZ IFJÚ FELTALÁLÓKAT ÉS TUDÓSJEJELŐTEKET KERESSÜK!

**Beküldési határidő:**  
2013. január 7., 15 óra

Részletes felhívás:  
[www.innovacio.hu](http://www.innovacio.hu)



További információ:  
Riba Nikolett  
tel.: 06-1-430-3330, fax: 06-1-240-7020  
innovacio@innovacio.hu



nem. De valahogy odakerültem, így azután már a hajó fedélzetéről is tapasztalhattam, hogy Győr tényleg a vizek városa – ami már az esténkénti sétáimból is kiderült. Az izgalomtól, a kellemes hajóúttól elfáradva nagy élvezettel fogyasztottuk el a társakkal a búcsúvacsoránkat a Zátony étteremben, bár sajnáltam kicsit, hogy két turnusra kellett szakadnunk, így már nem volt lehetőség egy utolsó esti beszélgetésre.

Az ankét utolsó napja – április 30. – is elérkezett. E napon egy oktatáspolitikai tájékoztató és fórum várt ránk, ami számomra elkésérítő és csalódást okozó volt. A minisztérium felkérte *Farkas István* urat, a mosonmagyaróvári Piarista Általános Iskola, Gimnázium és Szakközépiskola igazgatóját, hogy ismertesse meg az Ankét résztvevőit a fizika és általában a természettudományok tanításának általános iskolai és középiskolai vonatkozásaival. Nem túl sok jót és biztatót hallottam. Nem javulni látszik a helyzet, hanem inkább romlani: nincs megfelelő óraszám (és nem is nagyon lesz) ha jól érttem, nincs tanárutánpótlás, az anyagi források javulása sem nagyon valószínű. De nekünk, akik ott voltunk, a lelkesedésünk talán még töretlen. Nagy öröm volt számunkra, hogy *Kroó Norbert*, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat elnöke is megjelent az Ankét zárónapján. Kedves szavaival biztatót és lelkesített minket, valamint támogatásáról biztosított minden, a társulat tagságától, a fizikát tanító kollégáktól jövő kezdeményezést.

Az Ankét záró eseménye a díjak kiosztása volt.

A műhelyfoglalkozások első díját Jarosievitz Zoltán érdemelte ki, a dobogós helyezésekkel pedig Farkas Zsuzsa, *Molnár Milán* és *ifj. Zátonyi Sándor* büszkélkedhettek.

A 10 perces kísérletekben a közönség szavazatai alapján az első helyet Csatári László, a másodikat Piláth Károly érdemelte ki, míg harmadik helyezést hárman is elérték: Pál Zoltán, Jendrék Miklós és nagy meglepetésemre én is. Dicséretet kapott a kísérleteiért Jáki-Takács Mária és Baló Péter.

A résztvevők és a szervező Általános Iskolai és Középiskolai Tanári Szakcsoportok nevében szeretnénk megköszönni *Szekeres Tamás* rektor úr támogatását és a Széchenyi István Egyetemnek, hogy helyet adott az ankétnek. Köszönettel tartozunk még Nagy Szilviának, a Széchenyi István Egyetem dékánhelyettesének, Mészáros Péter fizikatanárnak, a Széchenyi István Egyetem mellett működő Mobilis Interaktív Kiállítási Központ munkatársának a rendezésben végzett munkájukért, a Mobilisnak a kiránduláshoz biztosította buszért, a péri Öveges József Általános Iskola tantestületének és *Szelez László* igazgató úrnak a nagylelkű vendéglátásért.

Szeretnék biztatni mindenkit, jöjjön el a következő ankétra! Azt hiszem, hogy mindannyiunk nevében mondhatom: Székesfehérváron kerül megrendezésre az 56. Ankét, ám az 55.-en résztvevő tanárok már most is várják a következő találkozást!

## KÍSÉRLETEZZÜNK OTTHON!

Härtlein Károly  
BME Fizikai Intézet

### 15. Diffúzió

Ismét egy otthoni, több nap alatt elvégezhető kísérlet leírását tűztem ki célul, amely általános és középiskolás tanulóknak egyaránt hasznos tapasztalatot adhat. Az általános iskolás diákok számára egy érdekes jelenség megfigyelésén kívül megtaníthatja a kísérletezés alapszabályait. A mérési eredmények rögzítésén túl a tapasztaltakat dokumentálni is kell. A középiskolások a kémia- és a biológiaórán megismert jelenségeket érthetik meg alaposabban.

A diffúzió jelensége a fizika törzsanyagban nem szerepel, ami megítélésem szerint azért nagy hiba, mert a biológia vagy a kémia által tanított anyagrések jobb megértését szolgálhatná. Tanár kollégáink és a diákok is hasznot húzhatnak belőle, ha a fizikaórán tanultakra lehetne építeni.

A diffúzióval mindenki találkozhat, ha egy héliummal töltött léggömböt megfigyel. A feltöltés, vagy megvásárlás pillanatában nagy és feszes léggömb pár óra múlva lényegesen kisebb lesz. Rövidesen azt tapasztalhatjuk, hogy felülete megráncosodik mintha megfönnadna, sőt ilyenkor már nem is emelkedik, ha elengedjük! Ha azt szeretnénk, hogy lassabban

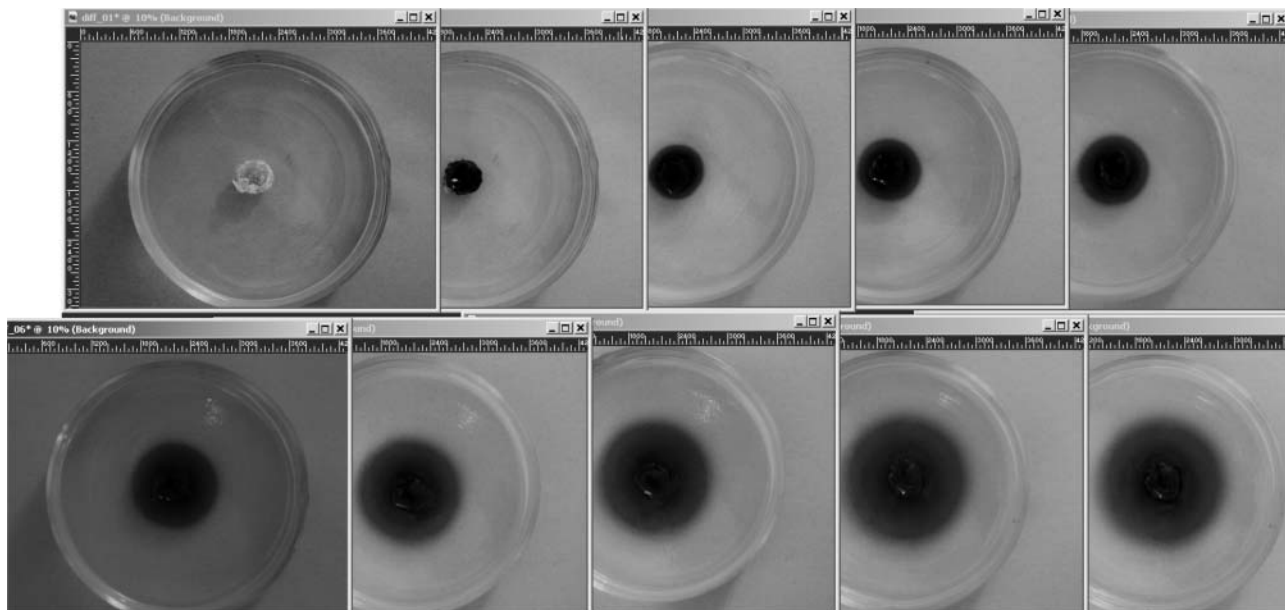
szökjön meg a hélium a léggömbből, akkor nem hagyományos gumi léggömböt kell vásárolnunk, hanem különleges alumínium réteggel erősített műanyag léggömböt. Ez akár napokig is üzemképes marad, ha elengedjük, akkor emelkedik, és mérete alig csökken. Ha nem héliummal töltött léggömbön, hanem levegővel töltött, vagy tüdővel felfújt léggömbön akarjuk megfigyelni ugyanezt a jelenséget, akkor sokkal hosszabb időre lesz szükségünk. Ezek a megfigyelések már a diffúzió lényegét értethetik meg velünk.

*A szükséges eszközök:*

- kistányér vagy petri csésze,
- víz, zselatin por, ételfesték,
- hűtőszekrény vagy fagymentes, 10 foknál nem melegebb tárolási lehetőség.

*A tennivalók:*

Készítsünk zselét. Két deciliter forrásban lévő vízbe folyamatos kavargatással keverjük el két csapott evőkanál zselatinport. Még melegen öntsük egy legalább egy ujjnyi mélységű kistányérba! Ezután tegyük be a hűtőszekrénybe. Ha kihűlt, akkor fúrjunk bele lyukat. Én egy szívószállal készítettem; forgatva



nyomjuk bele a szívószálat a tányér aljáig, majd óvatosan, egy kicsit megszívva emeljük ki a szívószálat, és kész a lyuk. Ezután töltjük fel ételfestékkel. A kísérlet végéig 10 fok alatti hőmérsékleten kell tartani a zselét, hogy megromlását elkerüljük.

A megfestés után már két órával látható a festék „szétterjedése”. Ezután naponként háromszor érdemes megnézni. Ha mérni is akarunk, akkor válasz-

szunk átlátszó edényt, lehetőleg sík legyen az alja, mint egy petri csészéé.

*A kiértékelés:*

Ha a tányér alá milliméterpapírt helyezünk, könnyedén leolvashatjuk a színes-színtelen határ helyzetét az eltelt idő függvényében. Ebből az adatból diagramot is készíthetünk.

## VÉLEMÉNYEK

### VÁLASZ KERTÉSZ JÁNOSNAK

Oláh Károly  
BME, Fizikai Kémia Tanszék

A *Fizikai Szemle* július–augusztusi, majd szeptemberi számának VÉLEMÉNYEK rovatában jelent meg két részben Oláh Károly *Az entrópiaprobléma* című írása, amelyben H. S. Leff egy írását, közelebbről két javaslatát ismerte-ti. A 11. szám *Kertész János* bírálatát közölte.

A következőkben Oláh Károly válasza olvasható.

Tisztelt Bírálóm következő sorával kezdem: „Tagadhatatlan, hogy az entrópia didaktikailag *nehéz* (kiemelés O. K.) fogalom”.

A *Fizikai Szemle* szerkesztőbizottsága az 1972-ben meghirdetett VÉLEMÉNYEK sorozatát az olvasók kérésére tovább folytatja ez évben is. A szerkesztőbizottság állásfoglalása alapján „a Fizikai Szemle feladatául vállalja el, hogy teret nyit a fizikai kutatásra és fizika oktatására vonatkozó véleményeknek, ha azok értékes gondolatokat tartalmaznak és építő szándékúak, függetlenül attól, hogy egyeznek-e a lap szerkesztőinek nézetével, vagy sem”. Ennek szellemében várjuk továbbra is olvasóink, várjuk a magyar fizikusok leveleit.

Örömmel jelentem: az entrópia *nem nehéz* fogalom.

Harley Leff két kérdést vet fel. Az első kérdés: *Clausiusi entrópia vagy boltzmanni, dimenziómentes entrópia?* A kettő „csak” egy konstans szorzóban, az  $R$  gáz-állandóban tér el. De! Az egyik nehezen érthető, a másik könnyen.

Tudjuk, egy összefüggésnek, egyenletnek több matematikailag egyenértékű változata lehet (például  $RT$ -vel osztva az itt szóba került dimenziómentes mérleg). Így születnek számításra alkalmasabb variánsok is. Az értelmezéssel azonban már óvatosnak kell lennünk. Ahány variáns, annyi „olvasat”. Ezek között lehet olyan, amelyik félrevezet. Példa rá a kétféle entrópiafogalom.

A megfelelő kiválasztásánál segítséget kell keresni, esetleg a statisztikus fizikánál. *Clausius*nak még nem volt alkalmá átlépni a fenomenológia korlátain. Ma már többet tudunk. De még mindig emlegetjük a

„hőt”. Clifford Truesdell ma is írhatná (*Rational Thermodynamics*): „az olvasó ... a következő axiómával találja szembe magát:

$$dS > \frac{\delta Q}{T}.$$

Azt állítja („he is told”), hogy  $dS$  egy differenciál, ... aztán, hogy  $\delta Q$  egy kis mennyiség, de nem, differenciál, azt várják el tőle, hogy elhiggye („he is expected to believe”), hogy egy differenciál lehet nagyobb, ... mint valami, ami nem differenciál”. Ez a történelmi ikon, ma is ott van tankönyveinkben, nyilván, hagyománytiszteletből. Csak bele kell lapozni *Atkins Physical Chemistry* könyvébe, vagy az *Entropy* folyóirat cikkeibe.

Közös a véleményünk arról, hogy „az entrópiafogalom megértéséhez a kinetikus elméleten keresztül vezet az út”. A *Landau–Lifsic: Elméleti fizika* könyv (V. 7. §) entrópiaként a dimenziómentes entrópiát használja és ezt nevezi – jelző nélkül – entrópiának.

Figyelemre méltó Leff másik javaslata is, amely szerint az  $R$  gázállandó és a  $T$  hőmérséklet szervesen összetartozik. Matematikailag nem tiltott, de nem ajánlott külön használni őket. Tehát, csak  $RT$  („tempergy”) és nem  $R$ , és nem  $T$ .

E gondolatnak is van előzménye. Landau–Lifsic. V. 39. oldalán: „A továbbiakban a hőmérsékletet energiaegységekben mérjük. Ha a numerikus számításokban át akarunk térni a hőmérséklet fokokban mért értékére, elegendő  $T$ -t a  $kT$ -vel helyettesíteni. A  $k$  szorzó ... használatára, melynek egyedüli feladata abban áll, hogy a hőmérséklet mérésének feltételezett egységeire emlékeztet bennünket – csak bonyolítaná a képleteket”. (Bonyolítja!) Nincs tehát külön  $R$  (vagy  $k$ ) és külön  $T$ . Tanulságos! Sok példát ismerünk szorzatok, tényezők könnyelmű használatára. Itt erre is felhívjuk a figyelmet.

A bírálóat jogosan mutat rá hibás állításokra: az exponenciális függvény megjelenésétől egy eloszlás még valóban nem lesz exponenciális; a részletes egyensúly elvének kimondása valóban megelőzte *Diracot*. A hibákra természetesen nincs mentség. Egyik sem érinti azonban a két fő kérdést, azaz tőlük függetlenül el lehet fogadni Leff javaslatait.

Befejezésül szólni kell a *Fizikai Szemle* „közlési gyakorlatáról”. Igenis, legyen a közlési gyakorlat továbbra is ilyen. A VÉLEMÉNYEK rovatnak fontos küldetése van így. A tudományos munka nem csak állítások, hanem kérdések sokasága is. Együtt gondolkodni akkor lehet, ha a kérdések, a célok, a megoldandó feladatok nyilvános párbeszéd, viták tárgya.

## MAGÁRÓL A FIZIKAI SZEMLÉRŐL

Cserti József  
ELTE, Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék

A *Fizikai Szemlével* kapcsolatban örök probléma, hogy kevés cikket küldenek be a szerzők.

A *Fizikai Szemle* az egyetlen hazai folyóirat, aminek egyik fontos küldetése a magyar fizikus és fizikatanári közösség összefogása, tájékoztatása. Ezt a szerepet a *Szemle* szerintem betölti. Azonban fontos kérdés, hogy milyen jellegű cikkeket írnak a szerzők.

Ezzel kapcsolatban szeretném összefoglalni, hogy én milyen *Szemlét* képezek el?

Nos, nagyon jó példának tartom az *American Journal of Physics* (AJP) folyóiratot. Egy alkalommal a főszerkesztőjével beszélve elmonda, hogy rengeteg cikket kapnak, és több mint a felét vissza kell utasítania.

*Miért ilyen sikeres ez a folyóirat?*

A siker kulcsa az lehet, hogy a lapot egyaránt magukénak érzik az amerikai középiskolai tanárok és egyetemi oktatók is. Ennek megfelelően mindkét kategóriában sokan olvassák, és természetesnek érzik azt is, hogy írnak a lapba. Sőt a hozzászólásokból az is látszik, nemcsak az oktatók, hanem a hallgatók, a diákok is olvassák (és értik, továbbgondolják!) a cikkeket. A írások jelentős része arról szól, hogyan lehet egy érdekes, de nehezen érthető, vagy kevésbé ismert fizikai jelenséget, effektust egyszerű, ám nem leegyszerűsítő módon tárgyalni, bemutatni, szemléltetni, közel hozni az olvasókhhoz – akár kísérletekkel, akár elméleti modellekkel, esetleg szimu-

lációval. Sok cikk hosszú időn át folytatott pedagógiai, tanítási kísérlet összefoglalója – egyben önmagában is élvezetes tudományos olvasmány.

Ezért jelenik meg sok olyan írás ebben a folyóiratban, amely a felsőfokú oktatásban közvetlenül is felhasználható. Ez – a folyóirat profiljának megfelelően – egyben a szerkesztőség részéről elvárás is.

Visszatérve a *Fizikai Szemlére*, szerencsére itt is egyre több hasonló szellemben íródott cikket olvashatunk. Hadd idézzek néhány pozitív példát az utóbbi évek terméséből:

*Tél András, Tél Tamás: Egy reménytelennek tűnő vezérlési probléma a klasszikus és modern fizika hátterén* (2010. december);

*Bokor Nándor, Laczik Bálint: Vektorok párhuzamos eltolásának szemléltetése* (2011. július–augusztus és szeptember);

*Horváth Dezső, Nagy Sándor, Nándori István, Trócsányi Zoltán: A fénynél gyorsabb neutrínók tündöklése és bukása – egy téves felfedezés anatómiája* (2012. május);

*Härtlein Károly: Kísérletezzünk otthon!* sorozata (2011 októberétől folyamatosan minden számban).

A fenti írások nem közvetlenül, de kapcsolódnak az egyetemi tananyaghoz, izgalmasak, nem szakmai bikkfanyelven íródtak, így meggyőződésem szerint

egy érdeklődő alsóbb éves egyetemista is érdeklődéssel és sikeresen olvashatja őket. Ugyancsak haszonnal olvashatják e cikkeket az őket tanító oktatók, valamint a középiskolás tanárok is, akik ismereteik, szemléletük, az órákon használható hasonlataik bővülését várhatják az ilyen jellegű publikációktól.

Úgy gondolom, hogy nálunk is sok egyetemen oktató vagy kutató kollégának (többet is ismerek) van olyan (részben vagy egészében kidolgozott) anyaga, ami jobban, vagy a megszokott tárgyaláshoz képest másképpen, élvezetesebben, érthetőbben mutatja be a fizika egyes témaköreit, és nagyon jó lenne, ha ez az anyag közkinccsé válna, megjelenne a *Szemlé*ben.

Ezek a „milyen érdekes” és a „hogyan tanítsuk” jellegű cikkek népszerűek lehetnének nem csak a kollégák, hanem az egyetemeken tanuló hallgatók számára is, közvetve pedig hasznosak lennének az általános, illetve a középiskolai oktatásban.

Az immár hét éve töretlen sikerrel folyó *Atomoktól a csillagokig* előadássorozat alatt szerzett tapasztala-

itim alapján bátran állíthatom, hogy nagyon sok egyetemi és kutatóintézeti kolléga pontosan tudja, hogyan lehet érdekes, középiskolások és tanáraik számára is élvezetes módon feldolgozni a fizika aktuális kérdéseit, e témákról közérthető előadást tartani vagy hasonló cikket írni.

Összefoglalva, úgy gondolom, határozott váltásra van szükség a *Fizikai Szemle* profilját illetően.

Én az AJP profilját látom követendőnek. Ez egyben a *Szemle* szélesebb körű olvasottságát, közönségsikerét is elhozhatja. Talán így a *Szemlé*ben közölt írások szerzői is nagyobb elismerést kapnának.

Arra biztatnám a fizikus és tanári közösséget, hogy egyetemi, vagy már középiskolai szinten is érthető, érdekes cikkeket írjanak. És biztatnám az egyetemi hallgatókat is, hogy TDK-dolgozatuk vagy diplomamunkájuk alapján, a témavezető segítségével ők is írjanak a *Szemlé*be. Meg fogják látni, hogy micsoda élmény, milyen öröm egy saját megjelent cikket kézbe venni és évfolyamtársaiknak megmutatni, tanórákon felhasználni.

## HÍREK – ESEMÉNYEK

### CSORBA OTTÓ, 1954–2012

Az Eötvös Egyetem Atomfizikai Tanszéke mély fájdalommal tudatja, hogy *Csorba Ottó* mérnök-oktató 2012. október 28-án, 58 éves korában váratlanul elhunyt.

Csorba Ottó a Kandó Kálmán Műszaki Főiskolán szerzett mérnöki diplomát. 1982-ben jött az Atomfizikai Tanszékre, ahol hat nap híján harminc évet töltött. Megbízható, csendes természete és jelentős szakmai tapasztalata révén alapvető tagja volt a Neutronfizikai Csoportnak; szerepe a hiányában válik igazán nyilvánvalóvá.

A fizikushallgatók mellett a környezettanár és környezettudós hallgatók képzésében volt jelentős szerepe. Laboratóriumi gyakorlatokat tartott és szakdolgozati témákat vezetett. Részt vett a fizikus szak népszerűsítésében (Kutatók Éjszakája, Fizikus Tanösvény).

Volt közvetlen kollégája, *Pongrácz Csaba* így emlékszik rá: „Maga volt az abszolút megbízhatóság, a nyugalom és béke kisugárzója, a lelkét is adta munkájához, emberi kapcsolatához, a szívét is, amely váratlanul megszűnt dobogni.”

### A MAGYAR NUKLEÁRIS TÁRSASÁG ÜNNEPI KÖZGYŰLÉSE

Az MNT 2012. november 29-én megtartotta 2012. évi Ünnepi Közgyűlését Pakson az Erzsébet Nagyszállóban. A Közgyűlést a kétnapos Nukleáris Technikai Szimpózium első napjának délutánján rendezték meg.

A Közgyűlésen *Szatmáry Zoltán* professzort, az MNT alapító elnökét tiszteletbeli elnökké választották, továbbá kiosztották a Társaság által alapított díjakat.

Az MNT Szilárd Leó Díját *Veres Árpád*, az Izotópkutató Intézet nyugalmazott igazgatója kapta. Az Olasz

Nagykövetséggel közösen alapított Fermi Fial Kutatói Díjat *Papp Gergely*, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, valamint a svéd Chalmers Egyetem doktorandusza nyerte el. Az Öveges József Díjat *Bartos-Elekes István*, a nagyváradi líceum nyugalmazott fizikatanára, a Simonyi Károly emlékplakettet pedig *Dunai Dániel*, a Wigner Kutatóközpont fiatal munkatársa vehette át. A díjazottak érdekes, nagy sikerű előadásokban mutatták be tevékenységüket.



**Karácsony előtt jó fejben tartani!** Az Akadémiai Kiadó Társulatunk tagjainak változatlanul 33% kedvezményt ad kiadványaira. Csak a társulati tagság érvényességét ellenőrzik.

# A FIZIKAI SZEMLE LXII. ÉVFOLYAMÁNAK TARTALOMJEGYZÉKE

<p><i>Aszódi Attila, Boros Ildikó:</i> Az atomenergia jövője Fukushima után – 2/1, 2/2 ..... 23, 46</p> <p><i>Barna Dániel:</i> CERN-i egypercesek ..... 356</p> <p><i>Blabó Miklós, Egri Ádám, Horváth Gábor, Hegedüs Ramón, Kriska György, Jóscai Júlia, Tóth Miklós, Kertész Krisztián, Biró László Péter:</i> A cirkulárisan fénypolarizáló szkarabeuszok nem reagálnak a cirkuláris polarizációra – I., II. rész ..... 217, 294</p> <p><i>Bokor Nándor:</i> Relativisztikus fogócska – I., II. rész .... 301, 379</p> <p><i>Cseh József:</i> Atommagok rezgése és forgása: fázisátmenetek hideg kvantumrendszerekben ..... 1</p> <p><i>Dénes Ervin:</i> Utazási kalandok 1981 és 90 között ..... 344</p> <p><i>Elter József, Eiler János:</i> Célzott biztonsági felülvizsgálat a paksi atomerőműben 2/1, 2/2 ..... 51, 73</p> <p><i>Farkas Etelka, Horváth Gábor, Boncz Ildikó, Kriska György:</i> Az ősember helyesebben ábrázolta a négy lábúak járását, mint a modern művész ..... 12</p> <p><i>Fényes Tibor:</i> Neutrínóoszilláció, leptogenezis, neutrínógyárak ..... 37</p> <p><i>Fonyó Attila:</i> Az orvosi fizika kialakulása Budapesten ..... 228</p> <p><i>Frenkel Andor:</i> A kvantummechanika Károlyházy-modellje ..... 310</p> <p><i>Gazda István:</i> A tudománytörténet id. Szily Kálmán ..... 221</p> <p><i>Hajdu Csaba:</i> Az első e-mailtől a gridig – kalandjaim a CERN körül ..... 353</p> <p><i>Hargittai István:</i> Fizikusok a Novogyevicsi temetőben ..... 192</p> <p><i>Hargittai Magdolna:</i> A híres paritásértés-kísérletről ..... 187</p> <p><i>Hartmann Ervin:</i> Tarján Imre a magyar kristályfizikában ..... 230</p> <p><i>Hegyvi Ádám, Ratter Kitti, Ispánovity Péter, Dusán, Groma István:</i> Mikroméretű minták deformációinak vizsgálata ..... 77</p> <p><i>Horváth Dezső:</i> Az atomfizikától a nagyenergiás fizikáig ..... 345</p> <p><i>Horváth Dezső:</i> Magyarország 20 éve a CERN tagja ..... 325</p> <p><i>Horváth Dezső, Nagy Sándor, Nándori István, Trócsányi Zoltán:</i> A fénynél gyorsabb neutrínók tündöklése és bukása – egy téves felfedezés anatómiája ..... 145</p> <p><i>Hraskó Péter:</i> A Lorentz-ínga ..... 109</p> <p><i>Hraskó Péter:</i> Merre mutat a Föld forgástengelye? ..... 376</p> <p><i>Hraskó Péter:</i> Mit mond a kvantumelmélet az alagúteffektus időtartamáról? ..... 20</p> <p><i>Igő-Kemenes Péter:</i> Emlékezés ..... 328</p> <p><i>Jánossy Natália:</i> Jánossy Lajos hazatérése ..... 397</p> <p><i>Király Péter:</i> Jánossy Lajos és a 100 éve felfedezett kozmikus sugárzás ..... 400</p> <p><i>Kövesi-Domokos Zsuzsa:</i> Kozmikus sugárzás extrém energiákon – I., II. rész ..... 234, 298</p> <p><i>Laczik Bálint:</i> Louis-Achille Brocot (1818–1878) ..... 114</p> <p><i>Laczik Bálint, Lakos Péter:</i> A kochleoid vonalzó ..... 226</p> <p><i>Ludmány András:</i> Naptevékenység és úridőjárás ..... 181</p> <p><i>Martinás Katalin, Huller Ágoston:</i> Ébredj, mert jön a fekete entrópia! ..... 83</p> <p><i>Marx György:</i> A modern fizika forradalma és József Attila ..... 154</p> <p><i>Paripás Béla, Palásthy Béla:</i> Atomi belsőhéj-folyamatok vizsgálata koincidencia elektronspektrometriával – I., II. rész ..... 370, 411</p> <p><i>Pásztor Gabriella:</i> Higgs-vadászat @ CERN ..... 358</p> <p><i>Patkós András:</i> Földneutrínók ..... 157</p> <p><i>Pozsgai Imre:</i> Rutherford-közelítés az elektronok szórásának leírására ..... 7</p> <p><i>Raics Péter:</i> A Debreceni Egyetem Kísérleti Fizikai Tanszékének tettei a részecskefizikában – I., II. rész ..... 333, 361</p> <p><i>Rontó Györgyi:</i> Tarján professzor hagyatéka ..... 233</p> <p><i>Simon Attila:</i> Úton az extraszoláris holdak felfedezése felé ..... 239</p> <p><i>Szabó Tímea, Szabó Árpád:</i> 150 éve született Lénárd Fülöp ..... 196</p>	<p><i>Tegze György, Tóth Gyula, Gránásky László:</i> Kristályos önszerveződés határfelületeken: kétdimenziós kristályok ..... 185</p> <p><i>Tél András, Czmerk András, Tél Tamás:</i> Kvantált vezérlési problémák – I., II. rész ..... 289, 373</p> <p><i>Turbányi Géza:</i> Mozaikok a CERN és az informatika történetéből – I., II. rész ..... 341, 366</p> <p><i>Varró Sándor:</i> A Jánossy-féle fotonkísérletek jelentősége ..... 406</p> <p><i>Vastagb György:</i> Balatonfüredi emlékeim Marx György professzor úrról ..... 159</p> <p><i>Veres Gábor:</i> Minden kezdet nehéz ..... 340</p> <p><b>A FIZIKA TANÍTÁSA</b></p> <p>Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Elnökségének véleménye a készülő NAT 2012 dokumentumról ..... 129</p> <p><i>Bognár Gergely:</i> Fizikatanítás, de mivégre?! ..... 55</p> <p><i>Bokor Nándor:</i> Az ikerparadoxon és a gyorsulás ..... 90</p> <p><i>Egyed László:</i> Arkhimédész nyomában ..... 169</p> <p><i>Gündischné Gajzágó Mária:</i> A lencsék képlete Bolyai Farkas jegyzeteiben és a korabeli egyetemi tankönyvekben ..... 414</p> <p><i>Härtlein Károly:</i> Kísérletezzünk otthon! ..... 32, 57, 106, 128, 171, 208, 269, 324, 395, 429</p> <p><i>Horváth Dóra, Stromp Márk:</i> Karolina-völgyi dinoszauruszok mozgássebessége ..... 116</p> <p><i>Hraskó Péter:</i> A pajta-rúd paradoxonról ..... 162</p> <p><i>Jaloveczki József:</i> „Fizikashow”, a fizika népszerűsítésének eszköze ..... 388</p> <p><i>Jendrék Miklós:</i> Látható hangok, hallható fények ..... 96</p> <p><i>Jóó Árpád:</i> Dermesztő hajtóugár és 120 N tolóerő ..... 249</p> <p>Károlyházy-feladatok az Eötvös-versenyen – I. rész, mechanika; II. rész, termodinamika; III. rész, elektrosztatika (<i>Radnai Gyula</i>) ..... 313, 383, 417</p> <p><i>Kis Dániel Péter, Sükösd Csaba:</i> XIV. Szilárd Leó Nukleáris Tanulmányi Verseny – beszámoló 1., 2. rész ..... 101, 118</p> <p><i>Kovács László:</i> Eötvös demonstrációs íngája – újrahangszerelve ..... 267</p> <p><i>Láng Róbert:</i> Masat az Ankéton ..... 202</p> <p><i>Légrádi Imre:</i> Az elektromos házicsengő működése ..... 265</p> <p><i>Leitner Lászlóné:</i> Tanulói kísérletezés formái ..... 34</p> <p>Nem mindennapi látogatás a CERN-ben (<i>Kollányi Nikolett, Balassy Zsombor</i>) ..... 107</p> <p><i>Pákó Gyula:</i> A 2011. évi Eötvös-verseny ünnepélyes eredményhirdetése ..... 58</p> <p><i>Pál Mihály:</i> Demonstrációs mechanikai mérések digitális technológiával ..... 261</p> <p><i>Piláth Károly:</i> Rácsos spektroszkóp illesztése webkamerához ..... 126</p> <p><i>Radnóti Katalin, Adorjänné Farkas Magdolna:</i> A fizika tanításához szükséges tanári tudás rendszere – I., II. rész ..... 391, 422</p> <p><i>Sándor-Keresztély Ferenc:</i> IX. Wigner Jenő Országos Fizikai Feladatmegoldó Verseny ..... 258</p> <p><i>Schronk Edina, Daróczi Csaba Sándor:</i> Kísérletek nanovastagságú hártakondenzátorokkal ..... 164</p> <p><i>Stonawski Tamás:</i> Gulliver matchboxai – töréskereszték valóságos és játékaúton ..... 28</p> <p><i>Tepliczky István:</i> Szubjektív benyomások az 55. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutatóról ..... 426</p> <p>Versenyfelhívások ..... 35</p> <p><i>Wiedemann László:</i> Hullámcsoportok, Lecher-vezeték ..... 253</p> <p><i>Wojnarovich Ferenc:</i> Milyen tantárgy a fizika? ..... 205</p> <p><b>VÉLEMÉNYEK</b></p> <p>Az Entropiaprobléma és a Fizikai Szemle közlési gyakorlata (<i>Kertész János</i>) ..... 396</p>
--	--

<i>Cserti József</i> : Magáról a Fizikai Szemlééről . . . . .	431	Berényi Dénes, 1928–2012 ( <i>Lovas Rezső, Sulik Béla</i> ) . . . . .	274
Elképesztő kísérletek és elméletek a fizikában ( <i>Horváth Dezső</i> ) . . . . .	201	Búcsú Keszthelyi Lajosné Lándori Sárától . . . . .	68
Neutrínó – áltudomány? ( <i>Nándori István, Trócsányi Zoltán</i> ) . . . . .	248	Búcsú Kiss Árpádtól ( <i>Jani Péter</i> ) . . . . .	134
Neutrínó-áltudomány – vélemény ( <i>Patkós András</i> ) . . . . .	152	Csodák Palotája a Camponában . . . . .	432
<i>Oláb Károly</i> : Az entrópiaprobléma – I., II. rész . . . . .	243, 320	Csorba Ottó, 1954–2012 . . . . .	432
<i>Oláb Károly</i> : Válasz Kertész Jánosnak . . . . .	430	Egy újabb előrelépés a plutónium tulajdonságainak megismerésében . . . . .	215
Szükségünk van atomenergiára! . . . . .	198	Egyhangú parlamenti bizottsági támogatás az Akadémia tudományról szóló beszámolójának . . . . .	173
<b>ÁLFIZIKAI SZEMLE</b>		Elkezdődött az MTA Természettudományi Kutatóközpont építése . . . . .	137
<i>Füstöss László</i> : A kilencedik Budapesti Szkeptikus Konferencia . . . . .	131	Ericsson-díj 2011 – ünnepélyes díjátadás . . . . .	70
<b>KÖNYVESPOLC</b>		Ericsson-díj 2012 – felhívás díjazandó tanárok ajánlására . . . . .	70
A Természet Világa májusi számáról ( <i>Füstöss László</i> ) . . . . .	209	Értéktermelés a tudomány és az üzleti élet szereplőinek összefogásával . . . . .	175
Csiszár Imre, Farkas Zsuzsa, Győri István, Mező Tamás, Molnár Miklós, Nagy Anett: Tematikus feladatgyűjtemény fizikából ( <i>Ujvári Sándor</i> ) . . . . .	274	Felhívás javaslatételre . . . . .	108
Herczeg János: Csillagórák Vekerdi Lászlóval ( <i>Berényi Dénes</i> ) . . . . .	133	Fizikai Nobel-díj 2012 . . . . .	396
Inzelt György: Mély kútforrása a bölcsességnek ( <i>Radnóti Katalin</i> ) . . . . .	272	<i>Gergely György</i> : Simonyi Károly a Műegyetem Budafoki út 8. épületében (1934–1957) . . . . .	176
JUBILEUM – 50 éves az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Sugárvédelmi Szakcsoportja ( <i>Keszthelyi Lajos</i> ) . . . . .	271	Határ a csillagos ég 2011 – három díjnyertes asztrofotó . . . . .	72
METEOR Csillagászati Évkönyv 2012 ( <i>Füstöss László</i> ) . . . . .	63	Hidrogéntárolás savakban . . . . .	216
Palágyi Menyhért: A tér és idő új elmélete ( <i>Berényi Dénes</i> ) . . . . .	65	Húsz év . . . . .	108
Physics of Jaurinum (Győri fizika) 1. (R. Gy.) . . . . .	210	Húsz kilométer magas porördögöt fotóztak a Marson ( <i>Kovács József</i> ) . . . . .	144
<b>PÁLYÁZATOK</b>		Izgalmas tudomány – véget ért az akadémiai vetélkedő . . . . .	214
22. Ifjúsági tudományos és innovációs tehetségkutató verseny . . . . .	428	Jármezei Tamás, 1946–2012 ( <i>vargapista</i> ) . . . . .	135
A tudomány színre lép . . . . .	180	Jóachim Burgdörfer székfoglalója ( <i>Tökési Károly</i> ) . . . . .	137
ODYSSEUS – merj álmodni... merj felfedezni... merj alkotni... . . . . .	144	Károlyházy Frigyes, 1929–2012 ( <i>Groma István, Kürti Jenő, Gálfi László, Csákány Judit</i> ) . . . . .	306
<b>HÍREK – ESEMÉNYEK</b>		Keleten a fény . . . . .	285
2012-ben elkezdődik a világ legnagyobb teleszkópjának építése . . . . .	216	Kovács István (1933–2011) . . . . .	69
A cél 2012-ben: 4 TeV . . . . .	142	Lemondtak a fénynél gyorsabb neutrínók „atyjai” . . . . .	141
A dineutron bomlásának első közvetlen megfigyelése . . . . .	215	Magántulajdonú űrszonda fogja a veszélyes aszteroidákat felkutatni . . . . .	287
A jégkorszakban a szén-dioxid okozta a globális felmelegedést . . . . .	178	Magyar fiatal nyerte az Európai Fizikai Társaság (EPS) PhD-díját . . . . .	175
A legkisebb bolygó nagy meglepetéseket tartogat . . . . .	141	Magyar fizikusok a kvantumoptikai kutatások élvonalában . . . . .	137
A magfúzió nagy támogatást kap az amerikai költségvetésben . . . . .	178	Megemlékezések és tiszteletadások Simonyi Károly halálának 10. évfordulója alkalmából ( <i>Gergely György</i> ) . . . . .	139
A Magyar Nukleáris Társaság Ünnepi Közgyűlése . . . . .	432	Milliárdnyi lakható közetbolygó létezhet a Tejútrendszerben ( <i>Kovács József</i> ) . . . . .	144
A Magyar Tudomány Ünnepe . . . . .	36	MTA TTK MFA kutatótábor: középiskolások a kutatólaborban . . . . .	281
A rák sugárterápiájához nagy segítséget jelent egy új izotóp . . . . .	178	Nagy tiltakozást váltott ki a japán atomreaktor újraindítása . . . . .	287
A természettudományok népszerűsítését szorgalmazta a hazánkba érkezett Nobel-díjas tudós . . . . .	323	Nagy valószínűséggel megtalálták a Higgs-bozont . . . . .	285
A terrorizmusért elítélt fizikust kiengedték a börtönből . . . . .	215	Negyvenöt új izotópot fedeztek fel Japán nagy nehézion-gyorsítójánál . . . . .	179
A Vákuumfizikai, -technológiai és Alkalmazásai Szakcsoport hírei . . . . .	67	Nem-exponenciális bomlások és a radiokarbonos (C-14) kormeghatározás . . . . .	142
A Vénusz-átvonulás legszebb képei . . . . .	288	Nemzetközi tudományos konferencia atomi rendszerekben lejátszódó elemi folyamatokról Belgrádban ( <i>Tökési Károly</i> ) . . . . .	140
A villámcsapások szabad neutronokat hoznak létre, de nem tudni, hogyan . . . . .	142	Nemzetközi tudományos konferencia atomi és molekuláris folyamatok dinamikájáról és lehetséges kontrolljáról, amelyet intenzív és ultrarövid impulzusok váltanak ki ( <i>Tökési Károly, Bereczky Réka Judit, Sarkadi Gréta, Tökési Gergely</i> ) . . . . .	140
Akadémiai kutatóközpontban azonosították a szupravezetőkön belüli kölcsönhatásokat . . . . .	284	Nyári továbbképzés tanároknak az ESA központjában, Hollandiában . . . . .	71
Akadémiai kutatóközpontban ellenőrzik a CERN adatait . . . . .	284	Nyíregyházáról az MTA nyári táborába ( <i>Leitner Lászlóné, Nádasi Gábor</i> ) . . . . .	282
Alkalmazásorientált funkcionális anyagok – Őszi Iskola . . . . .	281	Sarki fényt fotóztak az Uránuszon is ( <i>Kovács József</i> ) . . . . .	143
Átadták a legmagasabb csillagászati elismerést, a Crafoord-díjat . . . . .	179	Széchenyi-díj, 2012 . . . . .	136
Átadták az MTA Fizikai Fődíját . . . . .	214	Távoli szupernóvát fedeztek fel magyar csillagászok . . . . .	174
Az ELFT felhívása a fizika barátaihoz . . . . .	67	Tíz éves a Varázskuckó, Debrecen ( <i>Török István</i> ) . . . . .	284
Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Közhasznúsági jelentése a 2011. évről . . . . .	211	Tudomány és oktatás a változó világban . . . . .	214
Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2012. évi Küldöttközgyűlése ( <i>Kürti Jenő</i> ) . . . . .	278	Újabb bizonyíték összeolvadó fehér törpékre ( <i>Kovács József</i> ) . . . . .	216
Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2012. évi Küldöttközgyűlése – meghirdetés . . . . .	108, 136	Utolsó múzeumi előadás az Elektrotechnikai Múzeumban . . . . .	72
Az Oak Ridge Nemzeti Laboratórium és a Tennessee Egyetem kutatói feltérképezték az atommagok sokaságát . . . . .	286		



Örömmel jelentjük, hogy a Csodák Palotája  
megnyitotta kapuit a Camponában.



csopa  
csodák palotája



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



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

A Paksi Atomerőmű Értéktudás Központja

A paksi atomerőmű működése

# Jövönk energiája



## paksi atomerőmű

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

Várjuk vendégségbe Magyarországot!



ISSN 0015325-7

9770015325009 12 012