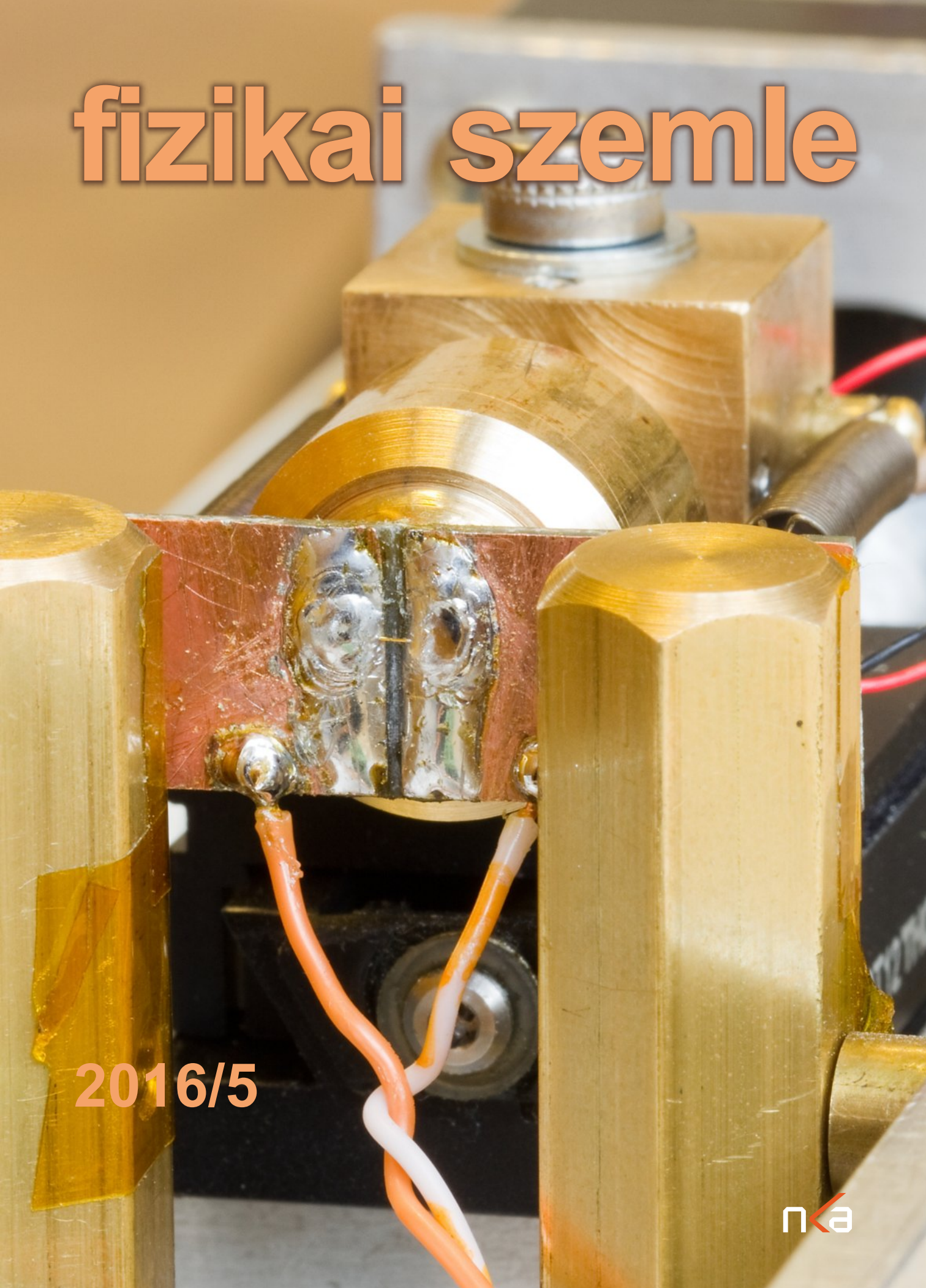


# fizikai szemle



2016/5

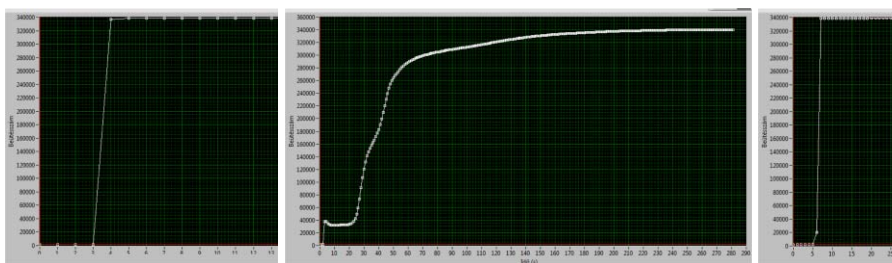
# Csatári László *Tungstram-lámpák vizsgálata* című írásának színes ábrái



1. ábra. Fényforrások: LED, Na-lámpa és kompakt fénycső.



4. ábra. Szerkesztett „színképek”, fentről lefelé: LED, Na-lámpa, kompakt fénycső és napfény.



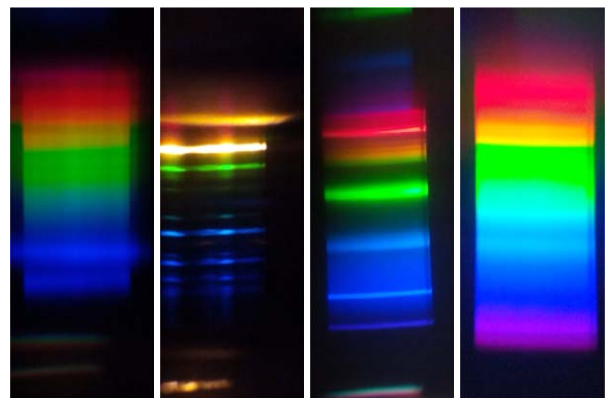
2. ábra. LED fényforrás, a Na-lámpa és a kompakt fénycső felfényesedése.



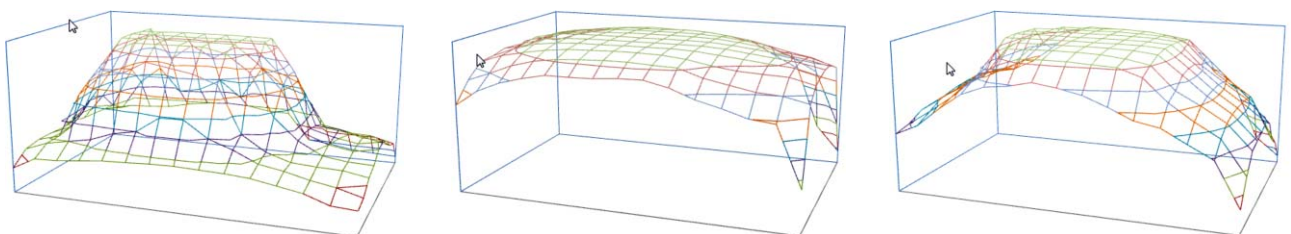
5. ábra. CD- vagy DVD-lemezből és ányékoló kartonlappból készített rácsspektroszkóp.



3. ábra. Színvisszaadás-mérés: LED, Na-lámpa, kompakt fénycső.



6. ábra. Fényképezett spektrumok, balról jobbra: LED, Na-lámpa, kompakt fénycső és napfény.



7. ábra. LED fényforrás (balra), Na-lámpa (középen) és kompakt fénycső (jobbra) által megvilágított terület.

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

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

Főszerkesztő:  
**Szatmáry Zoltán**

Szerkesztőbizottság:  
**Bencze Gyula, Czitrovsky Aladár, Faigl Gyula, Füstöss László, Gyulai József, Horváth Dezső, Horváth Gábor, Iglói Ferenc, Kiss Ádám, Németh Judit, Ormos Pál, Papp Katalin, Simon Péter, Sükösd Csaba, Szabados László, Szabó Gábor, Trócsányi Zoltán, Ujvári Sándor**

Szerkesztő:  
**Lendvai János**

Műszaki szerkesztő:  
**Kármán Tamás**

A folyóirat e-mail címe:  
**szerkesztok@fizikaiszemle.hu**

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

**A beküldött tudományos, ismeretterjesztő és fizikatanítási cikkek a Szerkesztőbizottság, illetve az általa felkért, a témában elismert szakértő jóváhagyó véleménye után jelenhetnek meg.**

A folyóirat honlapja:  
**<http://www.fizikaiszemle.hu>**



*A címlapon:*  
**Atomi törökontaktust létrehozó berendezés egyetlen atomon keresztül folyó áram vizsgálatához (fotó: Csontos Miklós, BME Fizika Tanszék).**

Üdvözlőlet Zawadowski Alfrédnek! <i>Az Eötvös Társulat elnöksége köszönti korábbi elnökét 80. születésnapja alkalmából</i>	146
Sólyom Jenő, Zaránd Gergely: A kvantumtérelmélettől a szilárdtest-fizikáig <i>Zawadowski Alfréd tudományos életútja</i>	146
Zawadowski Alfréd kisugárzása (Grüner György, Mezei Ferenc, Holczer Károly, Mihály László, Forró László) <i>A születésnapra bazilátogató kísérleti fizikusok írásai</i>	151
Sánta Botond, Magyarkuti András, Halbritter András: Egy demonstrációs kísérlet, amelyben az áram egyetlen atomon keresztül folyik <i>A BME Fizika Tanszékének professzora és fiatal munkatársai ezzel az írással tisztelegnek Zawadowski Alfréd előtt</i>	154
Laczik Bálint: A pörgettyű történetéhez – 2. rész <i>Szemelvények a pörgettyűk érdekes történetéből, sok demonstráció és alkalmazás</i>	161
Gyulai József: Az Intel madártávlatból <i>A szerző gondolatai Andy Grove / Gróf András halála kapcsán</i>	165
A szegedi fizikusok doyenje <i>Papp Katalin interjúja Dombi József professzorral</i>	167
<b>A FIZIKA TANÍTÁSA</b>	
Csatári László: Tungstram-lámpák vizsgálata <i>Három különböző fényforrás jellemzőinek vizsgálata a Fizika mindenkié – 2015 keretében</i>	169
Dömény Anita, Gyenizse Péter: Digitális planetáriumok szerepe a középiskolai oktatásban <i>Gondolatok a viszonylag könnyen elérhető digitális planetáriumok nyújtotta lehetőségekről a Z-generációs fiatalok oktatásában</i>	171
Légrádi Imre: Ellenállásokból vagy kondenzátorokból álló hídkapcsolás eredője <i>Hosszadalmas számolással kapható hasznos eredő képletek</i>	175
<b>KÖNYVESPOLC</b>	
Kovács László: Györgyi Géza – egy kivételes elméleti fizikus életpályája (Füstöss László)	177
<b>HÍREK – ESEMÉNYEK</b>	
Kitüntetések	179
Európai érdekességek a <i>Europhysics News</i> válogatásában	180
Greetings of the Presidium of the Roland Eötvös Physical Society on the occasion of Alfréd Zawadowski's 80th birthday	
<i>J. Sólyom, G. Zaránd:</i> From Quantum field theory to solid state physics – Alfréd Zawadowski's scientific course of life	
Influence of Alfréd Zawadowski ( <i>G. Grüner, F. Mezei, K. Holczer, L. Mihály, L. Forró</i> )	
<i>B. Sánta, A. Magyarkuti, A. Halbritter:</i> Demonstration experiment on electric current through a single atom	
<i>B. Laczik:</i> History of gyroscopes – Part 2	
<i>J. Gyulai:</i> The Intel on a bird's-eye view – meditations on the decease of Andy Grove/András Gróf	
Interview with Professor <i>József Dombi</i> – doyen of the physicists of Szeged ( <i>K. Papp</i> )	
<b>TEACHING PHYSICS</b>	
<i>L. Csatári:</i> Investigation of Tungstram lamps	
<i>A. Dömény, P. Gyenizse:</i> Role of digital planetariums in secondary school physics teaching	
<i>I. Légrádi:</i> Resistance and capacitor bridge circuits	
<b>BOOKS</b>	
László Kovács: Géza Györgyi – an exceptional theoretical physicist ( <i>L. Füstöss</i> )	
<b>EVENTS</b>	



# ÜDVÖZLET ZAWADOWSKI ALFRÉDNAK!

A modern szilárdtest-fizika „magyarországi helytartójának” 80. születésnapján egyben a kondenzált anyag elektronikus tulajdonságait a kvantumtérelmélet eszközeivel értelmező elméleti kutatások és a tőlük elválaszthatatlan kísérleti vizsgálatok kiemelkedő nemzetközi sikerű hazai vonulatának fél évszázadát is ünnepeljük. Az ő szellemi kisugárzásának hatására szerveződött meg az 1960-as évek második felében a KFKI elméleti szilárdtest-fizikai csoportja és a tudomány belső értékrendjét megalkuvás nélkül képviselő fellépésének köszönhetően alakulhatott meg a „Szerves vezetők” kísérleti kutatócsoport. A magyar fizika jelentős személyiségeinek sora, köztük *Sólyom Jenő*, *Grüner György*, *Fazekas Patrik*, *Jánossy András*, *Mibály László*, *Mibály György* vallották, vallják magukat a Zawadowski-iskola tagjainak. Szuverén személyiségének intézményalkotó képességét legnagyobbban a BME Fizikai Intézete oktatási és tudományos profiljának fundamentális átalakításával bizonyította. Ahogy ott, úgy az Eötvös Loránd Fizikai Társulatban is megtalálta azokat a munkatársakat, akik szenvedélyes kritikáját és azonnali cselekvést



sürgető iránymutatását programmá alakítják és az általa megfogalmazott célokat (ha nem is a tőle következő tempóban) megvalósítják.

*az Eötvös Loránd Fizikai Társulat elnöksége*

## A KVANTUMTÉRELMELETTŐL A SZILÁRDTEST-FIZIKÁIG Köszöntés Zawadowski Alfréd 80. születésnapja alkalmából

Sólyom Jenő – MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont  
Zaránd Gergely – BME Fizikai Intézete

*Zawadowski Alfréd*, vagy ahogy a fizikus társadalom nevezi őt, Frédi a magyar elméleti szilárdtest-fizika, de akár az elméleti jelző nélküli magyar szilárdtest-fizika egyik legkiemelkedőbb, legtekintélyesebb, nemzetközileg talán legismertebb képviselője, a magyar fizika meghatározó egyénisége. Csodálatos tudományos életút áll mögötte, amelyet kimagasló és izgalmas felfedezések, a szocializmus szigorú keretei között is eredményes, majd annak összeomlását követően még lendületesebb műhely- és iskolaépítés, számtalan, azóta professzorrá vált tanítvány, tudományos és tudománypolitikai küzdelem fémjelez. A Műegyetem Fizikai Intézete az ő irányítása alatt vált elismert, európai színvonalú kutatási intézménnyé, és fejlődött a magyar fizikusképzés egyik legfontosabb centrumává. Éleslátása, humora, határozott és őszinte véleménye legendás, nélkülük szegényebb lenne a magyar fizika.

Zawadowski Alfréd idén lett 80 éves. Ebben a rövid írásban az ő gazdag munkásságát és életútját szeretnénk áttekinteni, méltatni, megköszönni és 80-ik születésnapja alkalmából felköszönteni.

### Tanulmányok és első évek

Frédi középiskolai tanulmányait a budai Ciszterci Gimnáziumban, majd a Petőfi Gimnáziumban végezte, ahol 1954-ben érettségizett. Ciszterci és családi örökség az a konok következetesség, becsületesség és az értékek iránti feltétlen elkötelezettség, amelyet annyian jól ismerünk. Már gimnáziumi éveitől kitűnt tehetségével. Kiválóan szerepelt a Középiskolai Matematikai Lapok feladatmegoldó versenyén és nyerte a versenyeket, az Eötvös versenyt is. Így, „rossz” származása ellenére is bejutott az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karára, ahol 1959-ben szerzett fizikus diplomát.

Frédi törekvése, hogy elméleti fizikus legyen és kvantumtérelmélettel foglalkozzon, nem illeszkedett a szocialista tervgazdálkodás keretébe. Diplomamunkáját az MTA Központi Fizikai Kutatóintézetben, a kutatóreaktor mellett készítette el, neutronszórás kísérletekben véve részt. A politika azonban utolérte és csak egy „rövid”, három éves, az MTA Műszaki Fizikai Kutatóintézetben eltöltött „száműzetés” után, 1962-ben

kerülhetett a KFKI-ba. Míg a MÜFI-ben fő feladatként a piezozalvanomágneses jelenséget tanulmányozta  $n$  típusú germániumban, rendszeresen bejárta a Puskin utcai szemináriumokra és elkezdte megtanulni azt, hogy a Green-függvényes módszer hogyan alkalmazható szilárdtest-fizikai problémákra. Ezzel a térelméleti módszerek szilárdtest-fizikai alkalmazásának egyik úttörőjévé vált. *Pócsik Györggyel* több cikket írt a szupravezetés térelméleti tárgyalásáról.

## A korai KFKI-s évek

A KFKI-ba kerülve először *Menyhárd Nóra* és *Hargitai Csaba* tartozott közvetlen szakmai környezetéhez, de az elméleti csoporthoz tartozott *Kosály György* és *Solt György* is. Ez a csoport azután fokozatosan bővül *Sólyom Jenővel*, *Fazekas Patrikkal*, *Kollár Jánossal*, *Tütő Istvánnal*, hogy csak az első időket említsük. Frédi első saját diplomamunkása *Tóth Kálmán* volt, aki azután a Részecskefizikai Osztályon kapott állást.

A 60-as évek eleje még a szupravezetés elméleti vizsgálatának fénykora volt, így nem csoda, hogy Frédi továbbra is ezzel foglalkozott, de figyelme az alagútátmenetek fizikája felé fordult. A fém-szigetelő-fém átmenetek  $I(V)$  karakterisztikájából, ha az egyik vagy mindkét fém szupravezető, meghatározható a szupravezető oldal energiaspektrumában fellépő energiáris. Ha pedig mindkét oldal szupravezető, mágneses tér jelenlétében az úgynevezett Josephson-oszcillációk figyelhetők meg. Ilyen átmenetektől parányi mágneses terek mérésére alkalmas SQUID-ek hozhatók létre. Frédi egyik első, ambiciózus munkájában olyan térelméleti formalizmust dolgozott ki, amelynek segítségével – a korábbi fenomenologikus tárgyalás helyett – az ilyen alagútátmenetek fizikája mikroszkopikusan is leírható. Ezek a munkák képezték akadémiai doktori értekezésének alapját, ugyanis, hogy elkerülje a kandidátusi védéshez elengedhetetlen orosz nyelv-vizsgát és a marxista filozófiából teendő vizsgát, és érezve, hogy munkájának színvonala meghaladja a szokásos kandidátusi értekezéseket, a kandidátusi fokozat átugrásával, egyenesen akadémiai doktori értekezésnek adta be a disszertációt és védte azt meg nagyon fiatalon, 1969-ben.

Balról a második a Nobel-díjas Brian Josephson, jobbra Zawadowski Alfréd egy konferencia szünetében a '70-es években.



Egy varennai nyári iskolán, ahova sikerült kijutnia, ami akkor ritkaság volt, ismerkedett meg a ma Kondo-effektusként ismert problémával. A Kondo-probléma, a 60-as évek fizikájának egyik legkiemelkedőbb szilárdtest-fizikai problémája, a kvantum-szindinamikában megjelenő aszimptotikus szabadság legegyszerűbb és talán legtisztább esete. Lényege, hogy ha egy fémot lehűtünk, a kvantummechanikai effektusoknak, kvantumfluktuációknak köszönhetően a fémbe helyezett mágneses szennyező egyre erősebben hat kölcsön a vezetési elektronokkal, mígnem a  $T = 0$  K hőmérséklethez közelítve a kölcsönhatás végtelen erőssé válik. A *Jun Kondóról* elnevezett problémán szinte kivétel nélkül minden jelentős akkori szilárdtest-fizikus dolgozott, megoldásához Frédinek és munkatársainak alapvető hozzájárulása volt.

A jelenség, ami Frédit izgatni kezdte, az volt, hogy ha mágneses szennyezők kerülnek a fém-szigetelő-fém átmenet szigetelő rétegébe vagy annak közelébe, akkor az  $I(V)$  karakterisztikájában nulla feszültségnél egy furcsa anomália jelentkezik. Rávette *Mezei Ferencet*, hogy kísérletileg vizsgálja a jelenséget, maga pedig, Sólyom Jenővel közösen, a maga által korábban kidolgozott formalizmusra támaszkodva, elméleti leírást adott arra, hogy milyen hatásuk van a Kondo-szennyezőknek az alagútátmenet karakterisztikájára. Eközben közösen azt is kidolgozták, hogy egy mágneses momentum kvantumfluktuációi milyen dinamikai kölcsönhatást hoznak létre a vezetési elektronok között.

## Az első amerikai út

Egy korábbi sikertelen próbálkozás után – a KFKI vezetése a meghívás és a szóban ígért támogatás ellenére sem járult hozzá, hogy Frédi Chicagóba mehessen – végül 1969-ben egy évre Virginiába utazhatott. Itt *John Ruvaldsszal*, majd a későbbi NATO-főtábornok *Javier Solanával* közösen a szuperfolyékony hélium gerjesztési spektrumában neutron- és Raman-szórás segítségével megfigyelt anomáliákkal kezdett foglalkozni. A szuperfolyékony  $^4\text{He}$  kis energiás, hosszú hullámhosszú gerjesztései hanghullámszerűek, és a hullámszám növelésével fokozatosan alakulnak át a kondenzátumból kilökött atomokká. A köztes tartományban, amikor a gerjesztés hullámhossza összemérhető a He-atomok távolságával, egy furcsa minimum jelenik meg a gerjesztési spektrumban. A minimumnak megfelelő, nehézkesen mozgó gerjesztéseket hívják rotonoknak, és a He örvénylő gerjesztéseiként értelmezhetők. Frédi és John Ruvalds megmutatta, hogy a szórási kísérletekben megfigyelt anomáliákat két ilyen roton kötött állapota okozza.

Közben azonban tovább foglalkoztatta a Kondo-probléma. Visszaemlékezve arra, hogy a térelméletben hogyan szoktak a divergenciákkal elbánni, támadt az az ötlete, hogy a multiplikatív renormálás módszere talán a Kondo-probléma divergens perturbatív tagjainak a kezelésére is alkalmazható. Bár a *Mi-*

chael Fowlerrel közösen írt cikkével szinte egyszerre *Abrikosov* és *Migdal* is hasonló eredményt közölt, Frédinek ez az úttörő munkája rendkívüli hatásúnak mondható. Ez volt a multiplikatív renormálási csoport egyik első alkalmazása egy szilárdtest-fizikai problémára.

## A 70-es évek

Amerikából hazajöve Frédi szüntelen érdeklődése a Kondo-probléma és a renormálási csoport lehetséges alkalmazásai iránt nem szűnt meg. *Forgács Gáborral* és *Sólyom Jenővel* a fázisátalakulások leírására alkalmazta a multiplikatív renormálást, illetve a renormálás Migdal-féle megfogalmazását. Második amerikai, a Rutgersen töltött ideje alatt is a renormálási csoport alkalmazásai foglalkoztatták. 1974-ben pedig mindazt, amit tudni lehetett a fémekben lévő mágneses szennyezők viselkedéséről és a Kondo-probléma megoldásáról, egy *Grüner Györggyel* közösen írt összefoglaló cikkben összegezte. Ez a cikk hosszú ideig alapvető összefoglaló mű maradt a területen.

A 70-es évek végén kezdett Frédi a töltéssűrűség-hullámok fizikájával is foglalkozni. Töltéssűrűség-hullámok elsősorban úgynevezett kvázi-egydimenziós rendszerekben jelennek meg. Ezek az anyagok fémek, de az atomok különleges, láncszerű elhelyezkedése és a hullámfüggvények erősen anizotrop átfedése miatt az egyik térbeli irányban sokkal jobban vezetnek, mint a többi irányban. Ennek következtében elektronszerkezetük (Fermi-felületük) instabil. Akármilyen gyenge kölcsönhatás drasztikusan el tudja torzítani azt, és a fémből szigetelőt csinálhat. Ez az instabilitás alacsony hőmérsékleten olykor egy spontán, statikus töltéssűrűség-hullám kialakulásához vezet. Elektromos feszültség hatására ez a töltéssűrűség-hullám leszakadhat a rácsról, illetve a rácsban található szennyezőkről, amelyek rögzítik a töltéssűrűség-hullám maximumának és minimumának a helyét, és egy küszöbfeszültség fölött az anyag vezetővé válhat. Frédi egyik leggyakrabban idézett munkájában *Grüner Györggyel* és *Paul Chaikin*nal közösen egyszerű elméletet dolgozott ki, amely leírja a leszakadás folyamatát, és megmagyarázza a kísérletileg megfigyelhető nemlineáris effektusokat valamint a zajt. E munka folytatásaként dolgozta ki *Tüttő István*nal a 80-as évek közepén a töltéssűrűség-hullám és egy szennyezés kölcsönhatásának kvantumelméletét.



Zawadowski Frédi (jobb oldalt) a kétszeres Nobel-díjas John Bardeen társaságában (bal oldalon), valamint *Grüner Györggyel* (balról a második).

Az egész KFKI-ban élvezett elismertségét jelzi, hogy a 70-es évek második felétől az akkor alakult össztintezeti tudományos tanács elnöke, illetve társelnöke lett.

## A 80-as évek

Frédi érdeklődése a 80-as években fordult először a rendezetlen rendszerek és fémüvegek irányába. Még 1972-ben *Phil Anderson*, *Bert Halperin* és *Chandra Varma* felvetették, hogy a fémüvegekben alacsony hőmérsékleten megfigyelhető fahőanomália úgynevezett kétállapotú rendszerektől származhat. Ilyen kétállapotú rendszerek a feltételezés szerint ott alakulhatnak ki, ahol valamelyik atom az öt körülvevő amorf környezetben lazábban ül, és két stabil állapota van, amelyek között alagútátmenettel vagy pedig termikus gerjesztett átmenettel mehet át. Ilyen kétállapotú rendszerekben azóta részletesen megfigyeltek pontkontaktusokban, illetve atomi kontaktusok közelében, és általános a nézet, hogy ezek felelősek az alacsony frek-

Frédi és *David Pines*.





Pontosán negyed századdal ezelőtt.

venciákon megfigyelhető úgynevezett  $1/f$  zajért is. Frédi 1980-ban Jun Kondo munkáját kiterjesztve megmutatta, hogy az elektronok által segített alagútátmenet révén egy Kondo-szerű, erősen korrelált állapot jöhet létre. Ennek tulajdonságait tanítványával, *Vladár Károllyal* egy alapvetőnek bizonyult cikksorozatban dolgozta ki és publikálta 1983-ban. Ez a cikksorozat, valamint az elmélet ezt követő kiterjesztése, amelyben *Zimányi Gergellyel* és *Vladár Károllyal* közösen Anderson pályaintegrált alkalmazó formalizmusával írták le a kétállapotú rendszert, Frédi egyik legtöbbit idézett munkájának bizonyult. Különös jelentőségük annak is köszönhető, hogy később, *Philippe Nozières* munkájának köszönhetően kiderült: a létrejövő, úgynevezett kétcsatornás Kondo-állapot különleges, úgynevezett nem-Fermi-folyadék jellegű tulajdonságokkal rendelkezik. Egy ilyen kétállapotú rendszer közelében a vezetési elektronok „szétporladnak” és elveszítik szokásos tulajdonságaikat. Bár a kétállapotú rendszerek szerepét tekintve számos vita támadt, több olyan kísérleti rendszert találtak, amelyben a megfigyelt anomális, nem-Fermi-folyadék jellegű viselkedést a Frédi által javasolt kétállapotú rendszereknek tulajdonították.

## A Fizikai Intézetben töltött évek (1992–)

E méltatás fiatalabbik szerzője 1991-ben ismerkedett meg Frédivel, amikor is váratlanul, Sólyom Jenő lausanne-i vendégprofesszorsága miatt, Frédi diákja lett, és Frédi vezetésével fél év alatt kellett megírnia diplomamunkáját. Ekkor vette át Frédi a Műegyetem Fizikai Intézetének vezetését, ahova *Zaránd Gergelyt*, mint ifjú TMB-ösztöndíjast is magával vitte. Csak visszatekintve válik világossá, mekkora mérföldkő volt ez Frédi életében, csakúgy mint akkori diákjában.

A BME Fizikai Intézete 1992-ben, amikor Frédi és helyettese, *Kertész János* átvette a vezetését, kis eufemizmusmal ébredező állapotban volt. *Vasvári Béla*, a Frédit megelőző igazgató elkezdte egy fizikusképzés kialakítását, de a képzés még nem indult be, hiányzott

az igazi oktatói gárda és egy európai mértékű koncepció. Frédi hihetetlen építkezésbe kezdett a szó képzetes és valódi értelmében is. Felgyűrte az ingujját, és példát mutatva a renyhébbeknek, maga épített könyvtárt, paravánt, teremtett rendet, ha kellett. Legfontosabb intézkedése azonban az volt, hogy új professzori gárdát hozott a Műegyetemre: ekkor érkezett *Jánossy András*, *Mibály György* és *Virosztek Attila* is professzorként a Fizikai Intézetbe, külső oktatóként pedig *Fazekas Patrik*, *Kriza György*, *Kamarás Kati* és még sokan mások kapcsolódtak be az induló képzésbe, erősítették azt tudásukkal. Olyan professzori gárda került tehát hirtelen a Műegyetemre, amely egyfajta normát teremtett, a szocializmus korszakából öröklöttektől kissé szokatlan módon a *kiválóság* normáját. Ez az a mag, amelyből a BME-n jelenleg folyó, mára Magyarországon meghatározó szerepet játszó intézet, és az általa gondozott fizikusképzés született.

Mint később kiderült, a cikk fiatalabbik szerzőjének Műegyetemre kerülése is valamilyen értelemben fontos eszközzé vált Frédi kezében. Egyik első intézkedésként ugyanis Frédiék létrehozták a jelenlegi Fizikai Tudományok Doktori Iskolájának elődjét, majd Frédi egy személyes beszélgetés során arra kérte az említett szerzőt, hogy ne kandidátusi disszertációt védjen, hanem adja be dolgozatát az új doktori iskolába. Így lett az 1995-ben Frédi vezetésével megvédett disszertáció a BME Fizikai Tudományok Doktori Iskolájának első valódi PhD-disszertációja. Ma e doktori iskolának 50-55 hallgatója van, és működése során mintegy 120 európai színvonalú és rangú doktori fokozatot adott ki.

Frédi energiáit azonban nem merítette ki az intézetigazgatás. Ekkor kezdett a magas hőmérsékletű szupravezetők Raman-spektrumával foglalkozni. Egyik híres, *Manuel Cardonával* közös munkájában azt vizsgálta, hogy a szennyezéseken való szórás hogyan befolyásolja fémekben a fény elektronokon való rugalmatlan szórását, az úgynevezett Raman-spektrumot. Szintén ekkor született az a *Virosztek Attilával* és *Thomas Devereaux-val* közös munka, amelyben a magas hőmérsékletű szupravezetők Raman-spektrumára dolgoztak ki elméletet, majd a kísérleti adatok analíziséből az azóta elfogadottá vált „d” típusú (szimmetriájú) szupravezető állapot megvalósulását valószínűsítették.

Számos, mágneses atomokat tartalmazó ötvözetben azt figyelték meg, hogy az elektronok tömege sok százszorosa vagy akár ezerszerese lehet a megszokott elektrontömegnek. Ezek, a még a 70-es években felfedezett úgynevezett nehéz fermionos anyagok és viselkedésük kapcsolata a Kondo-effektussal a 80-as és 90-es években is a figyelem középpontjában álltak. Ráadásul ezek az anyagok gazdag fázisdiagrammal és a magas hőmérsékletű szupravezetőkéhez hasonló nem konvencionális szupravezető fázisokkal rendelkeznek. Ezek közül az anyagok közül néhány urán-, illetve cériumalapú ötvözet nem-Fermi-folyadék jellegű viselkedést mutatott, amelyeket *Daniel Cox* a kristálytér hatására kialakuló kétcsatornás Kondo-effektussal magyarázott. Ez a megújult figyelem adta az apropóját annak az *Advances in Physics*-ben megjelent hatalmas összefoglaló

munkának, amelyben Frédi és Dan Cox a sokcsatornás Kondo-probléma gazdag elméletét, a kétállapotú rendszerek általi, illetve az urán- és cériumtartalmú kristályokban való megvalósulását tárgyalták. Ez a munka könyv formájában is megjelent, és a sokcsatornás Kondo-effektus tekintetében alpművé vált.

Frédi érdeklődése ezekben az években fordult a nanofizika felé. Elsősorban az úgynevezett pontkontaktusok és atomi kontaktusok foglalkoztatták, azaz olyan apró kontaktusok, amelyekben a két vezető közötti kontaktus átmérője pusztán az atomi távolság néhány százszorosának felel meg, vagy akár egyetlen atomlanc köti össze a két vezetőt. Ilyen pontkontaktusokban sikerült 1994-ben először megfigyelni olyan anomáliákat, amelyeket Frédi Vladár Károllyal közös elméletével lehetett magyarázni.

Ebben az időszakban került az elektronok alacsony hőmérsékletű fázisvesztése is a nanofizikai kutatások középpontjába. *Mohanty* és *Webb* mezoskopikus mintákon végzett kísérletei azt mutatták, hogy alacsony hőmérsékleten, a várakozással szemben, a fémbeli elektronok nem válnak koherenssé. A rejtélyes viselkedésre nem lehetett meggyőző magyarázatot találni, ugyanis a legkézenfekvőbb megoldást, hogy tudniillik mágneses szennyezők okozzák az anomáliát, *Mohanty* és *Webb* kísérleteikkel kizárták. Frédi *Jan von Delft*-tel és *Dan Ralph*-fal közösen azt a lehetséges magyarázatot adta, hogy az alacsony hőmérsékleten megfigyelhető fázisvesztés strukturális hibáktól, kétállapotú rendszerektől származik. Bár a fázisvesztés oka máig sem tisztázott, az valószínű, hogy valamilyen – a kétállapotú rendszerekhez hasonló – belső szabadsági fokokkal rendelkező kvantum szennyezők felelősek a megfigyelt fázisvesztésért.

Szintén ehhez a periódushoz köthető Frédinek két jelentős, diákjával, *Újsághy Orsolyával* közös munkája. Az egyikben Frédi új mechanizmust javasolt, amely felületek közelében mágneses anizotrópia megjelenéséhez vezet, a másik munkában pedig fém felületre helyezett mágneses szennyezések alagútmikroszkóppal mérhető spektrumára alkottak modellt, és sikerült megmagyarázniuk a kísérletileg megfigyelt úgynevezett Fano-féle vonalalakot.

## A Fizikai Intézet jelene

Frédi a magyar fizika egyik legmarkánsabb, a világon mindenütt ismert és elismert iskolateremtő alakja. Munkájának elismertségét nem csak a számtalan illesztés díj (Humboldt-díj, Széchenyi-díj, Állami Díj) tükrözi. Ha valaki szilárdtest-fizikusként bárhol a világon jár, szinte az egyik legelső kérdés, amit többnyire feltesznek neki, hogy „Frédi hogy van?”. Munkatársai, barátai között Nobel-díjas fizikusok és vezető amerikai és európai professzorok sorakoznak, a szilárdtest-fizika olyan alakjai, mint Alekszej Abrikoszov, Phil Anderson, *John Bardeen*, Philippe Nozières, *David Pines*, *Patrick Lee*, *Tony Leggett* vagy *Elihu Abrahams*, hogy csak néhányukat említsük.



Barna Péterrel a tiszteletére tartott április 22-i ünnepségen az MTA-n.

Frédi tanítványai közül ma sokan elismert professzorok szerte a világban. A Zawadowski-iskolához azonban nem csak elméleti fizikusok tartoznak. Bár Frédi egyik fő érdeme az, hogy Magyarországon meghonosította, elterjesztette a modern módszereket alkalmazó elméleti szilárdtest-fizikát, a magyar fizikus közösség számára ezzel összemérhető vagy még jelentősebb az az oktatási tevékenység, amelynek során leendő kísérleti fizikusokat ismertetett meg a szilárdtest-fizika mélységeivel és szépségeivel, illetve az az erkölcsi és szellemi támogatás, amelyet kísérleti fizikus kollégáinak nyújtott pályájuk során. Elévülhetetlen érdemei vannak a KFKI-ban, illetve az SZFKI-ban művelt kísérleti szilárdtest-fizika nemzetközileg is elismert szintre való emelésében.

Iskolateremtő munkájának csúcsa az az élő, pezsgő műegyetemi intézet, amelyet európai szintre emelt, az a fizikusképzés, amelyet elindított itt, és ami mára a magyar fizikusképzés egyik sarokkövévé vált, és az a fiatal professzor generáció, amelyik ma a Műegyetem Fizikai Intézetének gerincét képezi. Frédi egy olyan, teljesítményében nemzetközi viszonylatban, messziről nézve is kimagasló intézetet indított el útján, amely szerves része az európai tudományos vérkeringésnek, ahol kimagasló laboratóriumokban folyik a kísérleti munka és az oktatás, az utánpótlás-nevelés, ahol sora születnek a *Nature*- és *Science*-publikációk, és ahol ma négy Lendület-csoport működik.

Köszönjük, Frédi, ezt az életművet, Isten éltesse sokáig!

## Irodalom

- J. Ruvalds, A. Zawadowski: Theory of structure in the superfluid helium spectrum considering roton-roton resonances. *Phys. Rev. Lett.* 25 (1970) 333.
- M. Fowler, A. Zawadowski: Scaling and Renormalization Group in the Kondo Effect. *Solid State Commun.* 9 (1971) 471.
- G. Gruner, A. Zawadowski: Magnetic impurities in non-magnetic metals. *Reports on Progress in Physics* 37 (1974) 1497.
- G. Gruner, A. Zawadowski, P. M. Chaikin: Non-Linear Conductivity and Noise due to Charge-Density-Wave Depinning in NbSe<sub>3</sub>. *Phys. Rev. Lett.* 46 (1981) 511.
- K. Vladar, A. Zawadowski: Theory of the Interaction between Electrons and the 2-level System in Amorphous Metals 1–3. *Phys. Rev. B* 28 (1983) 1564, 1582, és 1596.
- D. L. Cox, A. Zawadowski: Exotic Kondo effects in metals: magnetic ions in a crystalline electric field and tunnelling centres. *Advances in Physics* 47 (1998) 599.



# ZAWADOWSKI ALFRÉD KISUGÁRZÁSA

## Ahogy a születésnapra hazalátogató, a Zawadowski-iskolát képviselő kísérleti fizikusok látják

### A magyar szilárdtest-fizika kezdetei

Egy rövid emlékezést egy évfordulóra egy egyszerű megállapítással kell kezdeni. *Zawadowski Alfréd*, akit mindannyian – kollégák, tanítványok, tisztelők és barátok – csak Frédinek hívunk, egy személyben teremtette meg itthon nem csupán az elméleti, de a kísérleti szilárdtest-fizikát is.

Magyar szilárdtest-fizika volt korábban is, gondoljunk csak a Wigner-kristályokra, *von Neumann* publikációira a kvantum fázisátalakulásról vagy a Jahn-Teller-effektusra. De azt fizikát az Egyesült Államokban művelték, itthon az egyetemeken tanítottak, a Fémipari Kutató Intézetben fémeket mint építészeti elemeket vizsgáltak, a KFKI-ban mágnesezési görbék számolása folyt.

Ebben a környezetben szinguláris helyet foglalt el Frédi. Tőle tanultuk meg, hogy van más fizika is, hogy vannak nagy, megoldatlan kérdések, hogy a szilárdtest-fizika az elektronok kollektív állapotainak megértéséről szól, hogy ezekről szólnak a nagy és megoldatlan kérdések, és a választ új matematikai módszerekkel kell keresni – a perturbációs számítás nem elég. Frédi döntően járult hozzá egy-egy terület fejlődéséhez. Így történt ez a Kondo-effektus, az egydimenziós fémek és egy új kollektív állapot, a töltéssűrűség-hullám vizsgálatának esetében is: három terület, amely a hetvenes és nyolcvanas évek szilárdtest-fizikáját alapvetően meghatározta. A mellékelt kettő *ábura* csupán e tény szerény illusztrációja, Frédi számtalan konferencia sztárelőadója, összefoglaló cikkek szerzője volt.

A Kondo Symposium kiadványában lévő lista a terület legfontosabb cikkeiről.

物理学論文選集 193	
金属中の磁性不純物	
Kondo 効果の理論	
芳田 奎 責任編集	
(1) P. W. Anderson, G. Yuval and D. R. Hamann: Exact Results in the Kondo Problem. II. Scaling Theory, Qualitatively Correct Solution, and Some New Results on One-Dimensional Classical Statistical Models Phys. Rev. <b>B1</b> (1970) 4464-4473.....	1
(2) P. W. Anderson: A Poor Man's Derivation of Scaling Laws for the Kondo Problem J. Phys. C <b>3</b> (1970) 2436-2441.....	11
(3) M. Fowler and A. Zawadowski: Scaling and the Renormalization Group in the Kondo Effect Solid State Commun. <b>9</b> (1971) 471-476.....	17
(4) A. A. Abrikosov and A. A. Migdal: On the Theory of the Kondo Effect J. Low Temp. Phys. <b>3</b> (1970) 519-536.....	23
(5) K. G. Wilson: The Renormalization Group: Critical Phenomena and the Kondo Problem Rev. Mod. Phys. <b>47</b> (1975) 773-840.....	41

PROGRAM	
December 7-10, 1981	
SYMPOSIUM ON LOW DIMENSIONAL CONDUCTORS	
MONDAY, Dec. 7, 1981	
All Sessions to be held in I.T.P. Seminar Room - Ellison Hall, Sixth Floor	
<u>SESSION I - SLIDING CONDUCTIVITY AND CDW'S</u> J. R. SCHRIEFFER, Chairman	
9:30 a.m.	INTERVAL FOR COFFEE
10:00 a.m.	Recent Experiments on CDW Transport G. GRUNER University of California Los Angeles
11:00 a.m.	Depinning of CDW's by Tunneling J. BARDEEN University of Illinois
12:00 - 2:00 p.m.	LUNCH - UCEN or Faculty Club
<u>SESSION I Continued</u> G. GRUNER, chairman	
2:00 p.m.	CDW Transport: Classical Models F. ZAWADOWSKI University of California Los Angeles

A Santa Barbarában szervezett konferencia első szekciója.

Ő mondta el azt is, hogy vannak lényeges kísérletek, és ezek határozzák meg a berendezést, nem a berendezés a kísérletet. Mert Frédi legalább annyira felelős a modern kísérleti, mint az elméleti kutatások megteremtéséért. „Experience, mother of all certainty”, ahogy már *Leonardo* hitte: egy elméletnek nem csupán szépek, elegánsnak, de igaznak is kell lennie. Frédi kísérleteket is javasolt, és azok értelmezésén gondolkodott – segítvén megteremteni egy olyan kísérleti csoportot a KFKI-ban ahonnan többen, itthon és külföldön származunk. És gondolkodott azokon az eredményeken, amelyek ma több itthoni kutatócsoportot – ezeket már a tanítványok tanítványai vezetik – mára a világ élvonalába emeltek.

Mi teremtette meg azt az értékrendet, amely mind ezt lehetővé tette? Frédi tekintélye, párosulva azzal, hogy általa lehetőségünk nyílt a világ vezető tudósai-  
val itthon találkozni – *John Bardeen*-nel, *Philippe Nozières*-vel, *Lev Gor'kov*-val, *Alekszej Abrikosov*-val és hosszú ez a sor – és megérteni, hogy egyetemes értékek vannak, nincs nemzeti tudomány, ahogy nincs nemzeti művészet sem. És hogy laborokban és nem bizottságokban érdemes dolgozni, hogy a világgal és nem a barátokkal, szövetségeseikkel kell megmérteni magunkat.

Azért, hogy ezt sokan – nagyon sokan – megtanultuk, örökké hálásak vagyunk.

Grüner György  
University of California at Los Angeles, USA

## A klasszikus egyszerűsítés dicsérete

Frédivel az ELTE TTK-n ismerkedtem meg, ahol a *Térelméleti módszerek a szilárdtest-fizikában* című specije a fizikus hallgatók számára az egyik fő vonzerő volt. Tőle hallottam ott *Landau* bölcsességéről, miszerint „a legjobb elmélet az, aminek csak a klasszikus fizikára van szüksége”.

1966-ban Frédi tanácsára kezdtem az oxidált alumíniumréteggel létrehozott alagútdiódákban megfigyelt, kifestültségű óriás-anomáliákkal foglalkozni. Frédi és *Sólyom Jenő* ezeket a mágneses szennyező atomok Kondo-féle elméletével magyarázta. Valóban sikerült króm szennyezők célzott bevitelével a jelenséget előállítanom, de később az is felmerült, hogy klasszikus fémszigetek jelenléte a szigetelő oxidrétegben is lehet az ok.

Ebből a témából megmaradt, hogy amikor 1969-ben a KFKI-ban neutronszórással kezdtem foglalkozni, érdeklődésem központja továbbra is a mágneses szennyező atomok vizsgálata volt. A próbálkozások arra a következtetésre vezettek, hogy ilyen jelenségek egyértelmű neutronszórási vizsgálatához elengedhetetlen a neutronpolarizáció analízise. Ebben volt korábban egy komoly fejlesztés a KFKI-ban, de további eszközökre nem volt fedezet. Saját erőből való barkácsolás során a neutronspin Larmor-precesszió kísérleti megfigyelésére bukkantam, amit legkönnyebb úgy megérteni, hogy a neutron  $1/2$ -es spinjét, a szokásokkal ellentétben, mint egy klasszikus iránytűt írjuk le, amit a pontszerű klasszikus részecskének tekintett neutron cipel. Szerencsém volt, mert nem tudtam, hogy ugyanezt 1937-ben *Otto Frisch* már megfigyelte, ami utána a „kvantumdivatban” feledésbe merült. Így azon kezdtem gondolkodni, hogy ezt az „új” kísérleti furfangot mire lehet felhasználni és másnapra rájöttem a neutronspinecho (NSE) spektroszkópia elvére.

Mindez 1972-ben, két héttel a franciaországi neutronfellegvárban, az ILL-ben kezdődő egyéves vendégkutatói tartózkodásom előtt történt, ahová éppen a Kondo-effektus tanulmányozására hívtak meg. Így ott az NSE kísérleti kifejlesztésével foglalkoztam inkább. Mára az ILL-ben főleg *Faragó Béla* és *Falus Péter* által továbbfejlesztett módszer a többi neutronspektroszkópiai eljáráshoz viszonyítva 1000-szer nagyobb felbontást nyújt.

Mivel a polarizációs analízis miatt az NSE-hez sok neutron kell, a neutronnyalábok intenzitásának növelése lett az állandó mániám. Ezen a vonalon az úgynevezett szupertükrök felfedezése (1976, Budapest) körülbelül egy 10-es faktort hozott, a hosszú impulzusú neutronforrások kitalálása (1993, Berlin) egy további 20-as faktort, és a neutronforrásokban felszabadított gyors neutronok hatékonyabb moderátorok által való lelassítása (2013, Lund) egy további 5-ös faktort. Ez az összesen 3 nagyságrendnyi hatásfoknövelés ma a hatékonyabb csúcsberendezések, mint az ESS mellett lehetővé teszi azt is, hogy az egyetemi laboratóriumi méretű és költségű, úgyneve-



zett kompakt neutronforrásokat sok olyan, főleg alkalmazott kutatási feladatra használják, amire addig nem voltak alkalmasak.

Bár a zero feszültségű óriás-anomáliák úgy merültek feledésbe, hogy igazi eredetük ismeretlen maradt, a Frédi tanácsának köszönhető kezdeti út messzire vezetett.

*Mezei Ferenc*

MTA Wigner Kutatóközpont, Budapest és  
European Spallation Source (ESS), Lund

## A bölcsesség és a tudás világteremtő hatalma

Az ELTE Természettudományi Kara 1972-ben – hosszú évek tilalma után – újra engedélyezte, hogy Zawadowski Alfréd taníthasson. A szilárdtest-fizika „speci” első előadásán kétszer annyian jelentek meg, mint az évfolyam összlétszáma: jöttek hallgatók az alattunk lévő évfolyamokból csak úgy, mint az előttünk – akár négy-öt évvel – végző évfolyamokból is. Az előadás szünetében beszélgetve kezdtem megérteni évfolyamunk kivételes szerencsáját: az előttünk végzettek tudták, hogy miből maradtak ki, az utánunk következők (jogosan) féltek, hogy ez még egyszer nem fog megisméltődni. (Ez a félelem indokolatlannak bizonyult, Frédi a kurzust – *Sólyom Jenő*, *Fazekas Patrik*, *Tüttő Pista* és egy folyamatosan bővülő tanítványkör segítségével – évenként újra indította, „intézményesítette”).

Frédi négy féléven át, heti öt órában tanított fizikát, és ez mind terjedelmében, mind tartalmában túltett minden fizikakurzuson. Ötödév végén öten ültünk már csak a D épület kis termében szerda délután és szombat reggelenként. *Szőkefalvi-Nagy Ági*, *Mihály Laci*, *Hutiray Gyula*, *Szabó Gyuri* és én. Volt, aki a MÜFI-ben írta doktoriját, volt, aki a Kísérleti Fizika Tanszéken írt diplomamunka után ott akart maradni, volt, aki az Orvosi Egyetem Élettani Intézetébe készült, de egyikünk sem gondolt arra, hogy a KFKI-ba kerülhet. Frédi közbenjárásával mégis többen a KFKI-

ban találtuk magunkat. Ennek elintézéséhez Frédinek nem volt sem hatalma sem pozíciója – nem is volt rá szükség. Ő csak mindenkinek megmondta, hogy mi a legjobb megoldás, hogyan lehet segíteni az új kutatási területeket – nem csak nekünk, hanem *Pál Lénárdtól* kezdve *Mezei Ferin*, *Grüner Gyurkán*, *Jánossy András*on át mindenkinek. Ennyi elég is volt: mindenki hallgatott rá.

Ez csak nekünk volt a kezdet, és 40 év távlatából világos, hogy a történet nem volt egyedi. Frédi az életet, a fizikát, a fizika művelőit, az országot és mindent, ami körülvette úgy látta és formálta, ahogy csak kivételes emberek, elmék képesek. A cél a megértés, az természetes, hogy a megértéshez vezető munkát el kell végezni és a munkához a legjobb emberek és a környezet kell. Frédi fáradhatatlanul dolgozott ezen, ebben élt, teremtette saját igaz világát. Folyamatosan gondolkozott a fizikán, a környezeten, az embereken és osztotta meg velünk, amit gondolt és amit megértett. Így képződött, alakult, élt a Zawadowski-iskola határok nélkül, Magyarországon belül és kívül.

Rendszertől, pozíciótól, helyzettől, helytől, időtől függetlenül ugyanaz a bölcsesség és tudásvágy, emberség és életszeretet segítette, irányította mindazokat, akiket az a szerencse ért, hogy Frédi környezetébe kerültek az elmúlt 60 év során.

Nyolcvanadik születésnapod alkalmából köszönünk Frédi és köszönjük a világot, amit teremtettél.

*Holczér Károly*

University of California at Los Angeles, USA

## Mit tanultam Fréditől

Szilárdtest-fizikát természetesen nagyon sokan tanulunk Fréditől, részben a többször említett egyetemi előadásokon, részben pedig doktoranduszként a beszélgetések, szemináriumok során. Nekem abban a szerencsében volt részem, hogy rövid ideig Frédivel együtt dolgoztam és egy közös cikkünk is született a többször említett Kondo-effektusról. Mégis azt kell mondanom, hogy nem a fizika volt a legfontosabb, amit tőle tanultam.

Frédi saját példáján keresztül oktatott arra, hogy miként lehet – még nehéz körülmények között is – egy megalkuvás nélküli, elkötelezett életet élni. Az 1970-es években hiába oldódtak a politikai viszonyok, Frédi soha nem vállalt adminisztratív funkciót – feltételezem azért, mert a rendszerrel alapjaiban nem értett egyet. Hiába volt több lehetősége külföldön maradni, Frédi mindig visszajött Magyarországra – feltételezem azért, mert elkötelezett volt édesanyja és hazája iránt. Elkötelezetten dolgozott a tehetséges fiatalok felkutatásán és nevelésén – gondolom azért, mert szívén viselte a magyar fizika (és általában a magyar tudomány) jövőjét.

Aki tehetne, az hosszú távra tervező, stratégiai gondolkodásmódot is tanulhatott Fréditől. Erre egy különösen szép példa a BME-n létrehozott kutatócsoport, a Fizikai Intézet reformálása, a fizikaoktatás fellendí-

tése és a doktori iskola beindítása. Az 1990-es évek elején Frédi nagyon keményen dolgozott azon, hogy megszerezzen egy használt héliumtartályt a BME-n felállított He-cseppfolyósítóhoz, mert pontosan tudta, hogy cseppfolyós He nélkül a BME-n általa beindított kutatási területek hosszú távon elsorvadtak volna. Napjainkban, 25 évvel később, amikor a cseppfolyósító elérte hasznos élettartamának végét, sziklaszilárdan megalapozott kísérleti kutatás folyik a BME-n.

Frédi tudományos munkájának is szokatlanul hosszútávú hatása van. A *Fermi Liquid Theory of the Degenerate Anderson Model* című, 1978-ban írt cikkünket még most is idézik az irodalomban. Illusztrációként itt egy történet. Néhány éve a Stony Brook-i egyetem professzoraként azt a bizottságot vezettem, amelyik meghallgatta és kiválasztotta a legjobb jelöltet egy betöltendő professzori állásra. Az egyik fiatal kutató előadását hallgatva, meglepve láttam, hogy idézi ezt a munkát. Első gondolatom az volt, hogy ez egy olcsó trükk, biztosan tudja, hogy a hallgatóságban ott ül a szerző. Egy óvatosan fogalmazott kérdésemre adott válaszából kiderült, hogy szó sincs erről. Amikor tisztáztuk a helyzetet, az ő meglepetése az enyémnél is nagyobb volt: engem, mint kísérleti fizikust ismert, és fel sem tételezte, hogy évekkal ezelőtt egy absztrakt elméleti modellel foglalkoztam. Azt nem árultam el neki, hogy az én hozzájárulásom ehhez a műhöz mennyire kicsi volt és csak Frédi nagylelkűségének köszönhetően lettem szerző. Vagy talán nem nagylelkűség volt, hanem bátorítás, amire egy kezdő kutatónak igencsak szüksége volt.

*Mihály László*

State University of New York at Stony Brook, USA

## Mit köszönhetek Frédinek

Azt, hogy itt vagyok.

Az ember életpályáján vannak fordulópontok, amiket általában nem említi az életrajz, híres emberek esetében a Wikipédia, pedig tényleg sorsdöntőek. Nálam ez a szinguláris pillanat a szilárdtestfizika-vizsga volt Frédinél.

A dolog úgy kezdődött, hogy '77 őszén Frédi épp visszatért valahonnan, és meghirdette a speciális előadását. A megbeszélésre az évfolyamról, pedig jó évfolyam voltunk, nem ment el senki. A rákövetkező statisztikusfizika-órát *Kondor Imre* azzal kezdte, hogy homok került az óraműbe, ilyen buták nem lehetünk, hogy ezt kihagyjuk. Frédi világtekintély, és TŐLE megtanulhatjuk, hogy miért szép a szilárdtest-fizika. Tizedmagammal vettük a lapot, felhívtam Frédit a KFKI-ban, és elindult a kurzus. Lenyűgöző volt. Visszatekintve, bizonyos, hogy abban az időben nem volt, nem lehetett jobb előadás a világon ebből a tárgyból, különösen, ha egybefűzzük Sólyom Jenő szupravezetés specijével, ami Frédiét követte. Vonzó, modern, követhető, sallang nélküli előadások voltak, aminek sárguló jegyzetét még ma is őrzöm, még most is konzultálok, nem csak a tartalom, hanem a „hogyan” miatt is. Az,

hogy abból a társaságból ennyien a pályán maradtunk, nagy részben e kurzusnak köszönhető.

Visszahallottam *Tichy Gézá*tól, akinek Frédi elmesélte, hogy a vizsgám jól sikerült. Ezen felbátorodva, felmentem hozzá a KFKI-ba, és megkérdeztem, hogy nem tudna-e ajánlani diplomamunka témavezetőt. Elkérte az indexemet, elbeszélgettünk, kiment, öt perc múlva visszajött és azt mondta, hogy Grüner György. Neki köszönhetően egy olyan társaságba kerültem, amelyik egy életre meghatározó volt számomra. Gyurka összehozott egy csoportot, amelyik párját ritkította. Tagjai (Jánossy András, *Holczer Karcsi*, *Mihály Gyuri*, Mihály Laci, *Kamarás Kati*, Hutiray Gyula...) fiatalok, sportosak, sikeresek és a fizikán túl is érdekesek voltak. Megcáfolták azt a sablonos felfogást, miszerint a tudósok kövérkések, kopaszodók, erős dioptriával rendelkeznek és egyedül ebédelnek a kantinban. Hatalmas élmény volt velük dolgozni, akiknek fő „műszere” a kreativitás volt. Sokáig ebbe a csoportba szerettem volna visszakerülni. Nem sikerült. De nekik sem. Szétszéledtünk a világba.

Frédi nyomon követte pályám alakulását. Amikor később Mihály Lacinál Stony Brookban nagyon felfutott a kutatás, és nagy részben ennek a periódusnak



Frédivel lausanne-i irodámban a '90-es évek végén.

köszönhetően tíz év múlva katedrát kaptam Lausanneban, nagyon örült neki. Nekem pedig nagyon jó érzés, hogy tagja lehetek ennek a magyar tudományos közösségnek, amelyik itt megjelent e születésnapj ünnepségen, amit az ő neve fémjelez. Köszönöm Frédi!

*Forró László*

Lausanne-i Műszaki Egyetem, Svájc

## EGY DEMONSTRÁCIÓS KÍSÉRLET, AMELYBEN AZ ÁRAM EGYETLEN ATOMON KERESZTÜL FOLYIK

Sánta Botond, Magyarkuti András, Halbritter András  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Fizika Tanszék

*Jelen írással – 80. születésnapja alkalmából – Zawadowski Alfréd előtt tisztelgünk, akinek meghatározó szerepe volt a BME Fizikai Intézetben folyó kísérleti nanofizika tárgyú kutatások elindításában.*

Kevés olyan demonstrációs kísérlet ismert, amellyel egyetlen atom közvetlen hatása szemléltethető. Cikkünkben egy ilyen kísérletet ismertetünk, megmutatjuk, hogy egy feszültségforrásra kötött fémvezeték elszakításának utolsó pillanatában az áram egyetlen atomon keresztül folyik, és a vezetőképesség méréséből egyértelműen azonosítható az egyetlen atom átmérőjű nanovezeték kialakulása. Ezt a kísérletet kö-

zépiskolás diákok is kipróbálhatják a BME Fizika Tanszék által szervezett *Nobel-díjas kísérletek középiskolásoknak* szakkör keretében [1], illetve a kísérlet egyszerűsített változata kevés házi barkácsolással és egy megfelelő digitális oszcilloszkóppal is elvégezhető.

### Az atomi felbontású mikroszkópiáról

A kísérlet bemutatása előtt azonban tegyünk egy kis kitérőt az atomi felbontású mikroszkópia irányába.

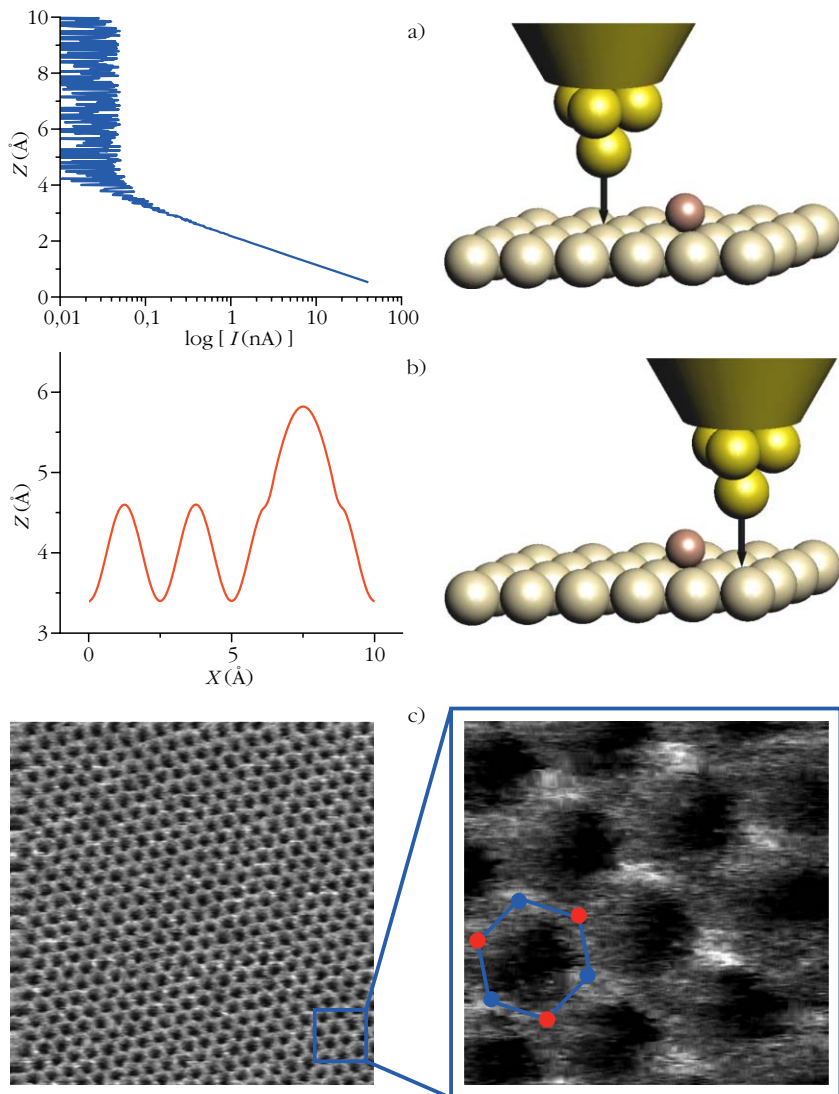
Már az ókori görögök is azt feltételezték, hogy az anyag atomokból épül fel. Ezt a hipotézist a 20. szá-



Sánta Botond 2016-ban végzett a BME fizikusképzésén. Jelenleg tudományos segédmunkatársként dolgozik a BME Fizika Tanszéken. A Nobel-díjas kísérletek középiskolásoknak szakkör egyik mérésvezetője, és az ott bemutatott demonstrációs célú pásztázó alagútmikroszkóp megalkotója. Kutatási területe atomi méretű memóriák vizsgálata.



Magyarkuti András 2013-ban végzett a BME fizikusképzésén, diplomamunkája keretében egy saját fejlesztésű kombinált pásztázó alagútmikroszkóp és atomerő-mikroszkóp berendezést épített. Jelenleg PhD hallgatóként dolgozik a BME Fizika Tanszéken. A Nobel-díjas kísérletek középiskolásoknak szakkör egyik mérésvezetője, a törökcontactus-mérést vezérlő program fejlesztője. Kutatási területe a molekuláris elektronika.



1. ábra. a) Egy hegyes fémtű és egy fémfelület közé feszültséget kapcsolunk, és – miközben a tűt közelítjük a felülethez – mérjük az áramot. Amíg a tű távol van a felülettől, az áram olyan kicsi, hogy az árammérőnkkel nem tudjuk felbontani. Ahogy a tű és a felület távolsága összemérhetővé válik két szomszédos atom távolságával, véges áramot kezdünk detektálni. Az áramot logaritmikus skálán ábrázoltuk, azaz egy osztás az áram tízszeres megváltozásának felel meg. A tű és a felület távolságát angström mértékegységben adtuk meg, ami  $10^{-10}$  méternek felel meg. b) Miközben a tűt a felülettel párhuzamosan állandó sebességgel mozgatjuk, a felületre merőleges irányban úgy pozicionáljuk, hogy az alagútáram, azaz a minta és a tű távolsága konstans maradjon (jobb oldal). A tű mozgása alapján a felület képét akár atomi felbontással rekonstruálhatjuk (bal oldal). c) Atom felbontású kép grafitminta felületről. Forrás: Magyarkuti András diplomamunka, BME Fizika Tanszék, 2013.

zad elején számos kísérlettel sikerült bizonyítani, azonban ahhoz, hogy képet tudjunk készíteni egy anyag felületén lévő atomokról egészen 1981-ig kel-



Halbritter András egyetemi tanár, az MTA doktora, a BME Fizika Tanszék tanszékvezetője. Mérnöktudományi diplomáját és PhD fokozatát 1999-ben és 2003-ban szerezte a BME Fizika Tanszéken. Kutatási területe az atomi és molekuláris nanoszerkezetek kísérleti vizsgálata. A Nobel-díjas kísérletek középiskolásoknak szakkör ötletgazdája és egyik mérésvezetője.

lett várni, amikor *Gerd Binnig* és *Heinrich Rohrer* megépítették az első pásztázó alagútmikroszkópot, amiért öt évvel később Nobel-díjjal jutalmazták őket.

Az alagútmikroszkóp működése az elektronok hullámtermészetének egy speciális következményén alapul, miszerint két egymáshoz közeli fémdarab között akkor is folyik áram, ha azok nem érnek össze. Ezt az áramot kvantummechanikai alagútáramnak hívják, amelynek érdekes tulajdonsága, hogy a két fém távolságától nagyon érzékenyen, exponenciálisan függ:

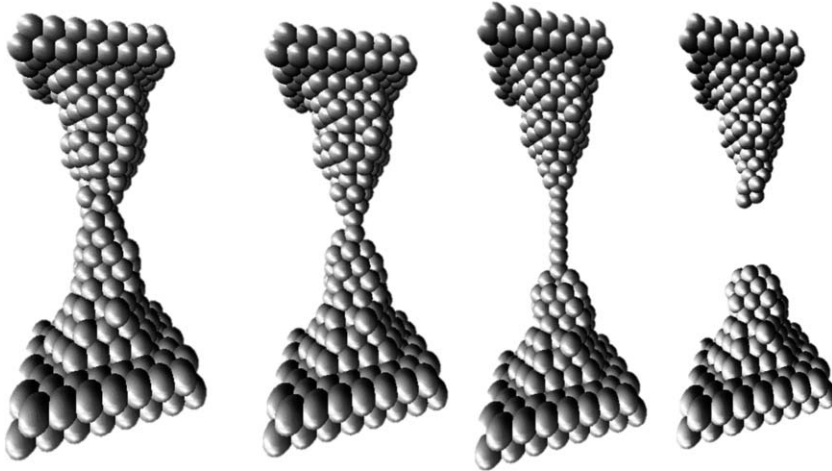
$$I \propto \exp\left(-2\pi\sqrt{8m\Phi}\frac{d}{b}\right), \quad (1)$$

ahol  $m$  az elektrontömeg,  $b$  a Planck-állandó,  $\Phi$  az adott fémre jellemző kilépési munka,  $d$  pedig a két fémelektroda közötti rés szélessége. A legtöbb fémre tipikusan jellemző 4-5 eV-os kilépési munkával számolva, ha csak egy fél atom-atom távolsággal csökkentjük a két fémelektroda közötti rés szélességét, akkor az áram mintegy tízszeresére nő. Ezt a viselkedést demonstrálja az 1.a ábra.

Egy nem túl hegyes tű (például egy ollóval elvágott fémszál) esetén is találunk a tű hegyén egy atomot, ami a többi atomnál egy kicsit közelebb van a felülethez. Az érzékeny távolságfüggés miatt az alagútáram jelentős része ezen egyetlen atomon keresztül folyik. Ezt kihasználva – a tű megfelelő mozgatásával – akár atomi felbontással is feltérképezhetjük a fémfelületet. A fémfelülettel párhuzamosan pásztázunk a tűvel, eközben egy szabályozó áramkört használva, a felületre merőleges

irányban úgy mozgatjuk a tűt, hogy a mért alagútáram mindig állandó legyen, azaz a minta felületéhez képest a tű közel azonos távolságban mozogjon (1.b ábra). Számítógéppel rögzítve a tű mozgását rekonstruálhatjuk a felület képét. Az 1.c ábra egy grafitfelület pásztázó alagútmikroszkóppal készített, atomi felbontású képét mutatja.

A pásztázó alagútmikroszkóp tűjét piezoelektromos kerámiák segítségével, akár atomi precizitással mozgathatjuk. Piezokerámiával a hétköznapi életben is találkozunk, például az öngyújtó egy piezoelektromos hasáb hirtelen megnyomásával hoz létre nagy feszültséget, és az így keletkező szikra gyújtja be a lángot. Piezoelektromos mozgatónál pont fordítva



2. *ábra.* Nanovezeték szakadása. A két oldal széthúzása közben a nanovezeték egyre vékonyodik, végül csak egyetlen atom köti össze a két elektródát. Az egyatomos kontaktus további széthúzás hatására elszakadhat, de bizonyos anyagokban (például aranyban) akár egyetlen atom átmérőjű, több atom hosszúságú atomlánc is kialakulhat.

járunk el, a piezoelektromos hasábra elektromos feszültséget kapcsolunk, és ennek hatására a hasáb egy kicsit megnyúlik.

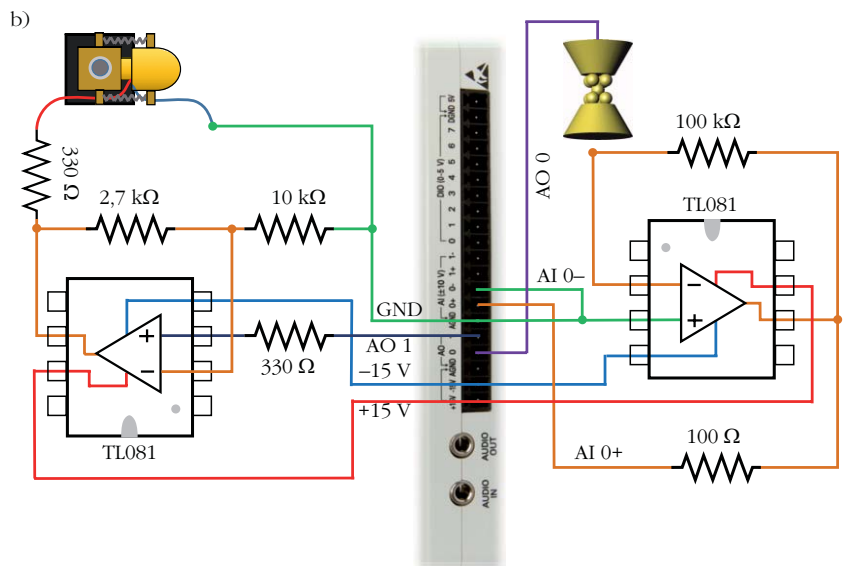
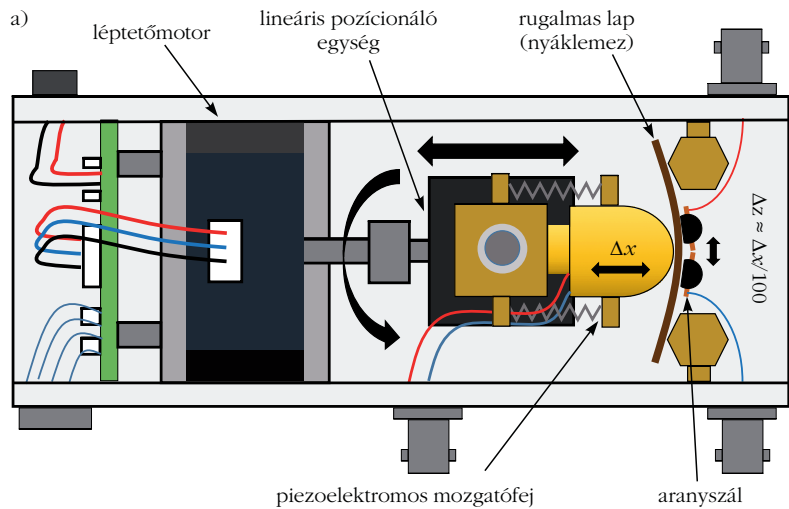
Egy pásztázó alagútmikroszkópot arra is használhatunk, hogy az elképzelt legvékonyabb nanovezetéket hozzuk létre. Ha a mikroszkóp tűjét a felületbe nyomjuk, majd elkezdjük visszahúzni, akkor egy nanovezetéket tudunk húzni a felület és a tű között. A széthúzás közben a nanovezeték egyre vékonyodik, majd a szétszakadás előtt már csak egyetlen atom köti össze a két oldalt (2. *ábra*). Ezzel vissza is kanyarodtunk a fémszál elszakítását bemutató kísérlethez.

## Mechanikusan szabályozható törőkontaktus-technika

Egy atomi méretű nanovezetéket nem csak pásztázó alagútmikroszkóppal hozhatunk létre. Rendelkezésre áll egy egyszerűbb, de mégis precízebb módszer, az úgynevezett mechanikusan szabályozható törőkontaktus-technika, amelynek elvét a 3.a *ábra* szemlélteti. Egy fémszálát ragasztóval vagy forrasztással két közeli ponton egy rugalmas lapkához rögzítünk. A két rögzítési pont között egy penge segítségével elvékonyítjuk a fémszálát. A rugalmas lapkát a két végénél megtámasztjuk, középen pedig egy léptetőmotorral forgatott tengely, illetve egy piezoelektromos mozgató segítségével

hajlítani kezdjük. A lapka hajlítása közben a fémszál elszakad. Ezzel az elrendezéssel a nanovezeték tengelyére merőleges irányban nem lehet pásztázni, de vizsgálhatjuk a kvantummechanikai alagútáramot, megmérhetjük egy egyetlen atom átmérőjű nanovezeték ellenállását, és kipróbálhatjuk az alagútmikroszkópnál használt szabályozástechnikát. Az elrendezés alagútmikroszkóphoz képesti előnye a kiemelkedő mechanikai stabilitás. Kiszámolható, hogy a piezoelektromos mozgató  $\Delta x$  elmozdulása nagyságrendileg  $\Delta x/100$  elmozdulást eredményez a vezeték két oldala között, így minden mechanikai rezgés vagy hőtágulásból adódó elmozdulás

3. *ábra.* a) Az atomi törőkontaktusos kísérleti berendezés vázlata (nem méretarányos). b) A mérésekhez használt National Instruments MyDAQ adatgyűjtőkártya és a hozzá kapcsolódó erősítő áramkörök kapcsolása.

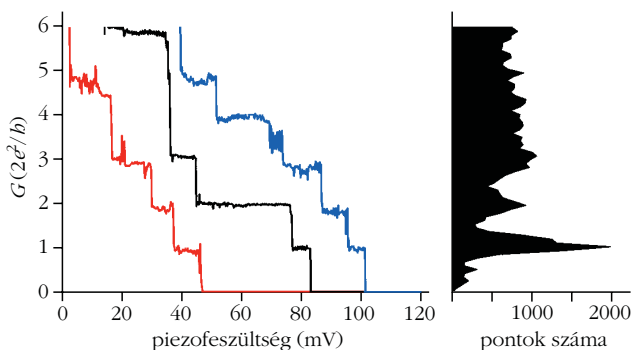


mintegy százas faktorial csökkenített mértékben jelenik meg a nanovezeték megnyúlásában. Ennek köszönhető, hogy egy viszonylag egyszerű berendezéssel olyan kísérleteket végezhetünk, amelyekben atomi méretskálájú nanoszerkezetek tulajdonságait vizsgálhatjuk. A mérési elrendezésben a léptetőmotor, a piezoelektromos mozgató és a rugalmas lapkára rögzített fémszál egy alumíniumkonzolba rögzítve található (3.a ábra). A rugalmas lapka egy 1×3,5 cm-es nyáklap, amelynek közepén egy lombfűrész segítségével keresztbe vágtuk a rézborítást. A két oldal közé egy 100 μm átmérőjű aranyszálat forrasztunk, amelyet a két rögzítési pont között közepén egy borotvapenge segítségével egy kicsit bevágunk. (Az oxidáció és egyéb szennyeződés elkerülése érdekében használunk aranyvezeték.) Ezután a mintát a hatszög keresztmetszetű tartók és a rugóval összehozott réz tokban található piezoelektromos mozgató közé helyezük.

A fémszál elszakítása először durva mozgatással történik: egy léptetőmotor forgómozgását egy lineáris pozicionáló segítségével a laprugó közepét nyomó hosszirányú elmozdulássá alakítjuk. Miután a fémszál elszakadását detektáljuk (mintegy 100 mV-os feszültség mellett zérusra csökken az áram a fémszál két oldala között), egy piezoelektromos mozgató segítségével finoman tudjuk hangolni a fémelektrodák közötti távolságot. Megfelelő motorpozíció mellett a piezoelektromos mozgatóra adott maximális feszültséggel a szál elszakad, minimális feszültség mellett pedig összeér a két oldal, így csupán a piezofeszültség hangolásával vizsgálható a szakadás folyamata.

A motor és a piezoelektromos mozgató vezérlését, illetve a vezetőképesség mérését egy *National Instruments MyDAQ* típusú, számítógéphez csatlakoztatott adatgyűjtőkártyával végezzük, saját fejlesztésű, *LabVIEW* környezetben írt program segítségével. A méréshez szükséges kiegészítő áramköröket egy próbapanelen állítjuk össze. A méréshez alapvetően két egyszerű áramkörre van szükség (3.b ábra): az egyik a fémszál vezetőképességét méri áramerősítő kapcsolatban, a másik pedig a mérőkártya kimenő feszültsé-

4. ábra. Bal oldal: atomi méretű aranyvezeték vezetőképességének lépcsőzetes változása a vezeték elszakadása közben, három különböző mérés folyamán. Jobb oldal: több ezer szakítási görbe alapján készített vezetőképesség-hisztogram. Az első,  $1 G_0$  vezetőképességnél található csúcs az egyatomos kontaktus vezetőképességét mutatja.



gének kieroősítésével vezérli a piezoelektromos mozgatót. A léptetőmotort a mérőkártya által kiadott pulzusokkal vezéreljük, egy pulzus felel meg egy lépésnek, a forgásirányt pedig a motorra adott digitális feszültségszint határozza meg.

## Vezetőképesség-lépcsők és -hisztogramok

A mérőrendszer megismerése után vizsgáljuk meg a mérési eredményeket! Ha csupán pár atom átmérőjű nanovezeték szakítása közben mérjük a vezetőképességet (azaz az ellenállás reciprokát), akkor a 4. ábra bal oldalán látható vezetőképesség-görbét kapjuk: a két oldal távolítása, azaz a piezofeszültség növelése közben a vezetőképesség nem folytonosan, hanem lépcsőzetesen csökken. Amikor lapos platót látunk, akkor a vezeték geometriája alig változik, az atomok csak rugalmasan távolodnak egymástól. Ugrásnál viszont az atomok hirtelen átrendeződnek, és az ugrás után már kevesebb atom köti össze a két oldalt. A szétszakadás előtti utolsó lépcsőnél az áram már csak egyetlen atomon keresztül folyik, majd az egyatomos kontaktus is szétszakad, és a vezetőképesség nullára (pontosabban az alagútáram által meghatározott kicsi értékre) csökken.

Egyetlen aranyatomon keresztül a vezetőképesség közel van egy univerzális állandóhoz, az úgynevezett vezetőképesség-quantumhoz, amelyet az elektron töltése és a Planck-állandó definiál:

$$G_0 = 2 \frac{e^2}{h}$$

Ez a vezetőképesség körülbelül 12,9 kΩ ellenállásnak felel meg, amelynek háttérben az áll, hogy az atomi méretű vezeték átmérője összemérhető az elektronok hullámhosszával, így a vezetési tulajdonságokat kvantummechanikai modellel kell leírni. Egyatomos átmérő esetén keresztirányban csak a legalacsonyabb energiájú állóhullámmódus a megengedett, azaz az áram csak egy móduson, másként szólva egyetlen vezetési csatornán keresztül folyik. Ha mindez még azzal is társul, hogy az atomi méretű nanovezetékbe bejutó elektronok szóródás nélkül átjutnak a kontaktuson (azaz az egyetlen nyitott vezetési csatorna transzmissziós valószínűsége 1), akkor egyszerű szilárdtestfizikai számolással megmutatható, hogy a nanovezeték vezetőképessége az univerzális  $G_0 (= 2 e^2/h)$  vezetőképesség-quantumnak felel meg [2].

Ha a szakítás után a két elektródát összenyomjuk, a szakítási felületen az atomok újra összekapcsolódnak, így a nanovezeték szakítását újra és újra megismételhetjük. Több ezer szakítás során felvett vezetőképesség-görbéből hisztogramot készíthetünk, amelyben csúcsok jelennek meg a gyakran előforduló atomi elrendeződések vezetőképesség-értékeinél. Az első csúcs az egyatomos kontaktus vezetőképességénél, azaz a vezetőképesség-quantumnál jelenik meg (4. ábra, jobb oldal).

## Atomláncok

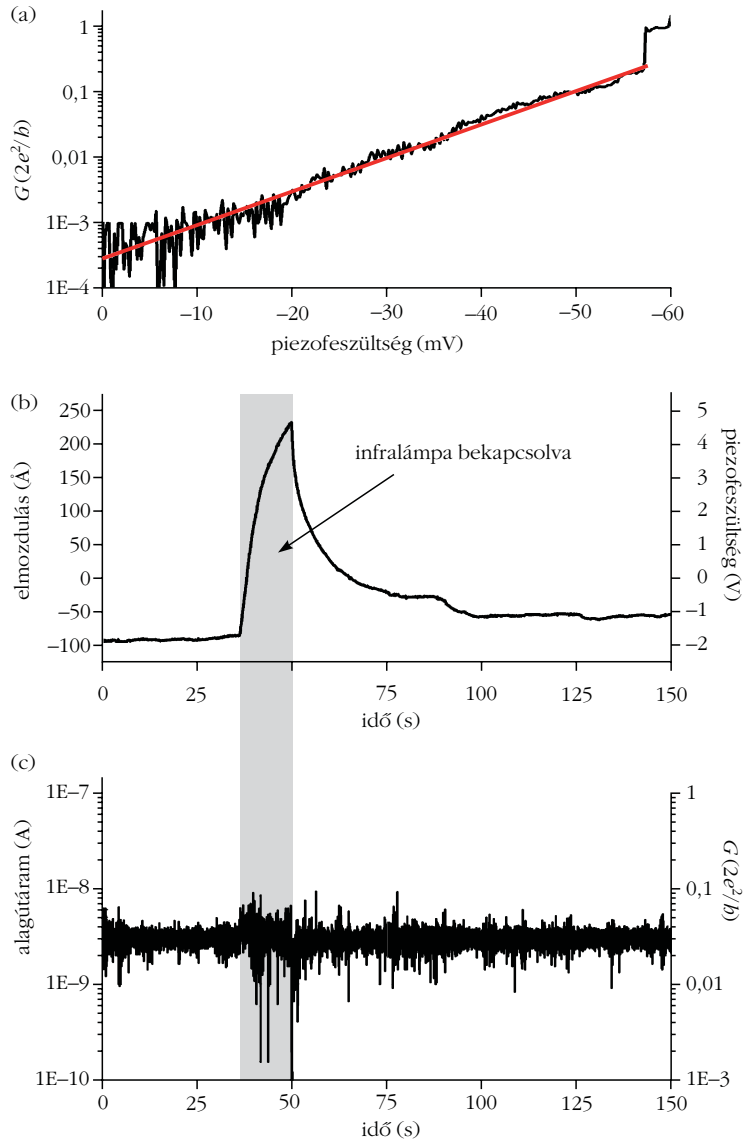
Arany nanovezetékeknel egy további érdekes jelenséggel is találkozunk. A szétszakadás előtti utolsó vezetőképesség-plató hosszát megmérve gyakran lényegesen nagyobb hosszt kapunk, mint amit egy atom méretéből várnánk. Megmutatható, hogy egy egyatomos aranykontaktus további széthúzása során az nem mindig szakad szét, hanem akár hét atomból álló atomi aranyláncot is húzhatunk (2. ábra).

Hétköznapi körülmények között egy 7 méter hosszú vezeték ellenállása pontosan hétszerese egy egyméteres vezetékdarabnak. Atom méretskálán viszont teljesen más viselkedést tapasztalunk. Egy hétatomos aranylánc ellenállása pontosan megegyezik a háromatomos láncéval vagy az egyatomos kontaktuséval, hiszen, ha az elektronok egyszer bejutnak a láncba, akkor már a lánc hosszától függetlenül ütközés nélkül átjutnak a túloldalra.

## Alagútáram mérése és a két elektróda távolságának rögzítése $10^{-10}$ m-es pontossággal

A törökontaktus-elrendezéssel a pásztázó alagútmikroszkóp működésének alapját képező kvantummechanikai alagútáramot is tanulmányozhatjuk. Ehhez a vezetőképességet a szétszakított vezeték összeérintése közben érdemes mérni, az 5.a ábrán bemutatott mérési eredmény szerint a fémes kontaktus kialakulása előtt az áram valóban a két elektróda távolságának exponenciális függvénye. Persze a mérésben az elektródák távolságát nem ismerjük, csak a piezoelektromos mozgatókra adott feszültséget, amelynek megváltozása arányos az elektródák elmozdulásával. Az (1) képlet segítségével viszont megbecsülhetjük az elektródák elmozdulását, hiszen a képlet szerint  $1 \text{ \AA}$  elmozdulás az alagútáram mintegy egy nagyságrendnyi változásának felel meg, azaz az 5.a ábrán a piezofeszültség mintegy 20 mV-nyi változása felel meg  $1 \text{ \AA}$  elmozdulásnak.

Ha az alagútáram ilyen precízen mérhető, akkor érdemes kipróbálni a pásztázó alagútmikroszkópnál alkalmazott szabályozástechnikát is. Ennek lényege, hogy kijelöljük a két elektróda közötti nanorés szélességének  $d_{cél}$  célértékét, és ha a rés aktuális  $d$  szélessége eltér ettől, akkor a piezoelektromos mozgatóra adott feszültséget úgy változtatjuk, hogy visszaálljon a megcélzott szélesség. Persze a rés pontos szélességét nem tudjuk, így az azzal arányos, közvetlenül mérhető mennyiségre, a vezetőképesség loga-



5. ábra. a) Alagútáram mérése. A vezeték két oldalát a piezofeszültség csökkenésével összeérintjük. Az összeérintés előtt exponenciálisan nő a vezetőképesség: a piezofeszültség mintegy 20 mV-os változása eredményez egy nagyságrendnyi vezetőképesség-változást, ami az (1) képlet szerint  $\approx 1 \text{ \AA}$  elmozdulásnak felel meg. A görbe végén látható ugrás az egyatomos kontaktus kialakulását jelzi. b–c) Szabályozó áramkör segítségével stabilizáljuk a két elektróda közötti rés szélességét. Az idő függvényében mérjük az aktuális vezetőképességet (c) azaz, mennyire pontosan sikerül a  $G_{cél} = 0,03 G_0$  vezetőképességet beállítani. Párhuzamosan mérjük a piezofeszültséget is (b), azaz mennyit kell mozgatni az elektródákat a rés szélességének stabilan tartásához. A piezofeszültséget az (a) panelen ismertetett kalibráció alapján váltjuk át a bal oldali tengelyen feltüntetett elmozdulássá. A mérőrendszer infralámpával történő minimális szintű melegítése a hőtágulás miatt  $\sim 350 \text{ \AA}$  elmozdulást eredményez, amit a szabályozó áramkör tökéletesen kompenzál, azaz a rés szélessége  $10^{-10}$  m-nél kevesebbet változik.

ritmusára szabályozunk. Egy egyszerű algoritmus szerint a piezofeszültséget

$$\frac{dU}{dt} = P(\log(G) - \log(G_{cél}))$$

függvény szerint változtatjuk, azaz az aktuális érték minél jobban eltér a célba vett értéktől, annál gyorsabban haladunk a célérték felé. Megmutatható, hogy ilyen szabályozás mellett a rés szélessége könnyen oszcillálni kezd, így finomítani kell az algorit-



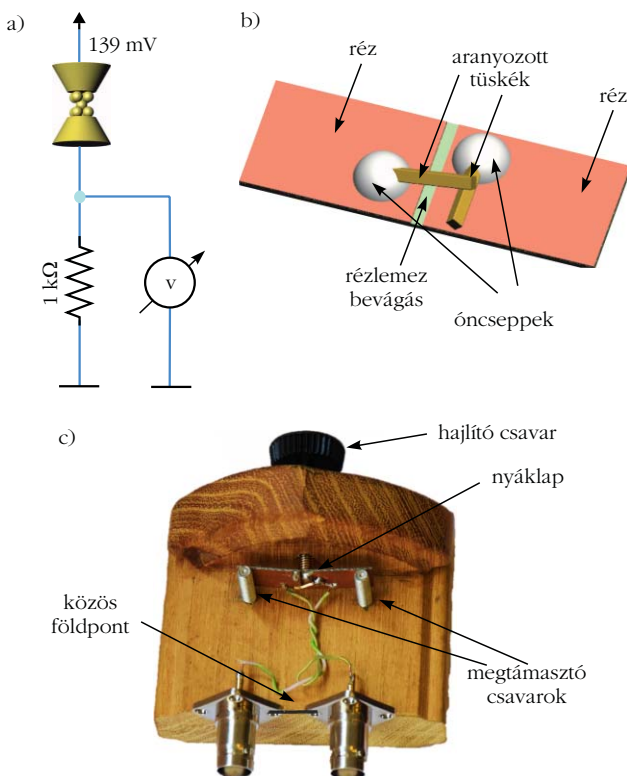
muson. Precízebb szabályozást érhetünk el, ha a fenti proporcionális tag mellett egy integrális tagot is bevezetünk, azaz

$$\frac{dU}{dt} = P(\log(G(\tau)) - \log(G_{cél})) + I \int_0^t \log(G(\tau)) - \log(G_{cél}) d\tau. \quad (2)$$

A  $P$  és az  $I$  együtthatók a szabályozó algoritmus hangolható paraméterei, ezek megfelelő beállításával optimalizálható a szabályozás.

A két elektróda közötti atomi szélességű rés stabilizálását a törőkontaktus-elrendezésben is megvalósíthatjuk a mérésvezérlő programba beépített szabályozó algoritmus segítségével. Egy ilyen mérést mutat az 5.b-c ábra, az alagúttartományba eső  $G_{cél} = 0,03 G_0$  célérték mellett. Az 5.c ábra a vezetőképesség időbeli változását mutatja. Látható, hogy a körülbelül 150 másodperces mérés alatt a vezetőképesség egy nagyságrendnél kevesebbet változik, azaz a két elektróda közötti rés szélességét 1 Å-nél pontosabban sikerült stabilizálni. Mindeközben megnézhetjük a piezofeszültség változását is (b), amit az (a) panelen bemutatott kalibráció alapján átválthatunk elmozdulássá. Látszik, hogy miközben az elektródák távolságát  $10^{-10}$  m-es pontossággal stabilizáljuk, ennél három nagyságrenddel nagyobb távolságskálán kell mozgatnunk

6. ábra. a) A vezetőképesség lépcsőzetes változása egy egyszerű kapcsolással és egy megfelelően gyors digitális oszcilloszkóppal is kimérhető. b) A laprugóra rögzített aranyszálat helyettesíthetjük két aranyozott tűskével. c) A hajlító eszköz egy kis házi barkácsolással is megvalósítható.

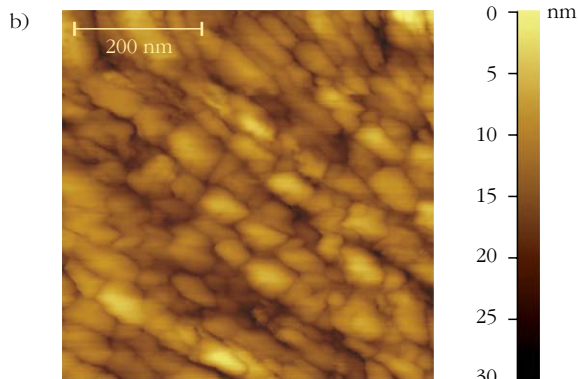
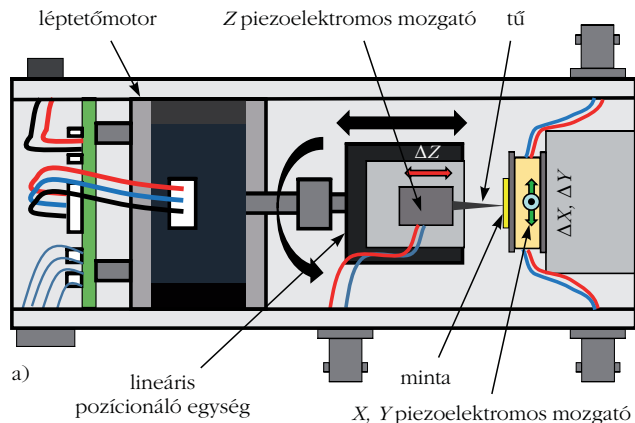


az elektródákat ahhoz, hogy a környezeti hatásokat kompenzáljuk. A (b) panelen az elektródák hirtelen eltávolodásakor a hőtágulás szerepét szimuláltuk: a mérőrendszert mintegy fél méter távolságból egy infralámpa segítségével melegítettük, amelynek hatására 350 Å elmozdulást tapasztaltunk. Később a lámpa kikapcsolása után a rendszer nagyjából az eredeti állapotba állt vissza. Összehasonlításként  $10^{-5} \text{ K}^{-1}$  nagyságú lineáris hőtágulási együtthatóval számolva egy 1 mm hosszúságú drótdarab hőmérsékletének egy fokos növekedése 100 Å nagyságrendű megnyúlásnak felel meg, ami két szomszédos atom távolságának mintegy ötvenszerese, azaz az atomok skáláján mérve valóban egészen csekély hőmérséklet-változás is drasztikus elmozdulást okoz. Ezt tapasztaljuk is a kísérlet közben, zárt ajtók és ablakok mellett lényegesen stabilabb a mérőrendszer, mint ha egy ablak kinyitásával huzatot csinálunk.

## A kísérlet egyszerűbb elvégzése

Az aranyvezeték szakításánál jelentkező lépcsőzetes vezetőképesség-változást a fent ismertetettnél sokkal egyszerűbb elrendezésben is lehet vizsgálni. A laprugó befogásához fából vagy fémből házilag is barkácsolhatunk egy eszközt. A laprugó megtámasztásához például használhatunk egy falapba rögzítve két menetes csavart, a hajlítóhoz pedig egy megfelelően rögzített csavaranyában tekerhető finom menetű csavart (6.c ábra). A léptetőmotor és a piezoelektromos mozgató kihagyható az elrendezésből, cserébe viszont szükség van egy megfelelően gyors (legalább 10 MHz-es sávszélességű) digitális oszcilloszkópra, amellyel a vezetőképesség változása közvetlenül a szétszakadás előtt felvehető. Ha nem akarunk áramerősítőt építeni, akkor a 6.a ábrán található egyszerű kapcsolást is alkalmazhatjuk. Egy 9 V-os elemből egy  $1 \text{ k}\Omega$ -os feszültségosztóként használt potméter segítségével 139 mV feszültséget állítunk elő. Erre a meghajtófeszültségre kötjük a fémzálat, illetve azzal sorba kötve egy  $1 \text{ k}\Omega$ -os ellenállást. Ez utóbbin az oszcilloszkóppal mérjük a feszültséget. A szakítás előtt a fémzál ellenállása kicsi ( $\ll 1 \text{ k}\Omega$ ), így a teljes meghajtó feszültség az  $1 \text{ k}\Omega$ -os ellenálláson esik. Az egyatomos kontaktus kialakulásakor a fémzál ellenállása mintegy  $12,9 \text{ k}\Omega$ , így az  $1 \text{ k}\Omega$ -os ellenálláson 10 mV feszültség esik. Az oszcilloszkópot például 30 mV-os csökkenő feszültségre triggerelve, single shot üzemmódot, és 5-10  $\mu\text{s}$ -os időalapot használva *elcsíphető* az a rövid időintervallum, amikor a páratomos kontaktus, illetve az azt jelző vezetőképesség-platók kialakulnak. Ha 10 mV feszültségnél markáns lépcsőt látunk, akkor a kísérlet sikerült.

Az aranyvezeték két aranyozott bevonatú, elektronikai áramköröknél használt tűskével helyettesíthető. Ezeket forrasztópáka segítségével a 6.b ábrának megfelelően egy nyáklemezre kell felforrasztani, amelynek részfelületét előzetesen kettévágtuk, hogy a két rész elektromosan ne legyen kontaktusban. Ez-



7. ábra. Demonstrációs célú pásztázó alagútmikroszkóp vázlata és a mikroszkóppal aranyfelületről felvett kép. Forrás: Sánta Botond diplomamunka, BME Fizika Tanszék, 2016.

után egy laposfogó segítségével összenyomjuk a két fémtüskét, hogy a nyáklemez hajlítatlan állapotában összeérjenek. A mintát a hajlító szerkezetbe helyezve és az mérőáramkört összeállítva megmérhetjük a vezetőképesség-lépcsőket. Ezzel az egyszerű elrendezéssel – természetesen – az alagútáram távolságfüggése és az alagútmikroszkópban használt szabályozás nem demonstrálható.

## Demonstrációs pásztázó alagútmikroszkóp egy hasonló elrendezésben

A Nobel-díjas kísérletek középiskolásoknak szakkör résztvevői a fent ismertetett kísérletek önálló elvégzése után egy demonstrációs célú pásztázó alagútmikroszkóppal is megismerkedhetnek. Az alagútmikrosz-

kóp nagyon hasonlít a törőkontaktus mérőeszközre: ugyanazt a fémházat, léptetőmotort és lineáris pozicionálót használjuk, csak a laprugó helyett egy  $X$  és  $Y$  irányban mozgatható fémminta és egy  $Z$  irányban mozgatható tű található benne (7.a ábra). A vezérlést a nyílt forráskódú *GXSM* (Gnome X Scanning Microscopy) szoftver valósítja meg a *SoftDb* cég erre a célra kifejlesztett vezérlőelektronikája segítségével (*SoftDb MK2-A810*). A 7.b ábra egy aranyfelület pásztázása közben felvett képet mutat, amelyen jól kivehetők az aranyfelületre jellemző néhányszor 10 nm átmérőjű szemcsék.

## Kitekintés

Atomi méretű nanovezetékek segítségével a jelenlegi félvezető tranzistoroknál lényegesen kisebb elektronikai építőelemek hozhatók létre. A BME Fizika Tanszék Nanoelektronika laboratóriumában [3] például olyan rendszereket tanulmányozunk, amelyekben pozitív feszültség hatására kialakul egy nanovezeték a két elektróda között, negatív feszültséggel viszont megszakíthatjuk ezt a vezetéket. Ez gyakorlatilag egy memóriaelem, amivel pár nanométeres skálán tárolhatunk információt. Ezen kívül az atomi méretű kontaktusokat arra is használhatjuk, hogy egyedi molekulák elektromos vezetési tulajdonságait tanulmányozzuk. Miután szétszakad a kontaktus, egy olyan keskeny nanorés jön létre, amihez a megfelelő kémiai csoportokkal rendelkező parányi molekulák kötődni szeretnek. Így a két elektróda között akár egy egyetlen molekulából álló hidat hozhatunk létre. Egyedi molekulából készített nanoáramkörök vizsgálatával a nanofizikán belül egy egész tudományterület, az úgynevezett molekuláris elektronika foglalkozik. A kutatások fő célja, hogy a jelenleg több százezer atomból álló tranzistorokat egyedi molekulákból felépülő elektronikai eszközök váltsák fel.

## Irodalom

1. Nobel-díjas kísérletek középiskolásoknak szakkör, Mérések atomi méretskálán. [http://felvi.phy.bme.hu/index.php/Kari\\_programok\\_kozepiskolasoknak](http://felvi.phy.bme.hu/index.php/Kari_programok_kozepiskolasoknak)
2. Fizipédia, Nanofizika tudásbázis, Transzport nanovezetékekben: Landauer-formula, vezetőképesség-kvantálás. [http://fizipedia.bme.hu/index.php/Nanofizika\\_tudasbazis](http://fizipedia.bme.hu/index.php/Nanofizika_tudasbazis)
3. BME Fizika Tanszék Nanoelektronika Kutatócsoport. <http://nanoelectronics.physics.bme.hu>



**SZÁMÍTUNK RÁD, LÉGY  
A FIZIKA BARÁTJA!**

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

# A PÖRGETTYŰ HISTÓRIÁJÁHOZ – 2. RÉSZ

Laczik Bálint

BME Gyártástudomány és -technológia Tanszék

Jean Bernard Leon Foucault (1819–1868) munkásságának legfontosabb eszközei a legendás inga (1851) és a Bohnenberger-féle giroszkóp továbbfejlesztett változata (1852). A Föld forgásának látványos, könnyen értelmezhető demonstrálása a párizsi Pantheonban felfüggesztett, 67 méter hosszú inga segítségével igen népszerű volt, a giroszkópos kísérletek lényegesen kisebb érdeklődést keltettek. A forgó tömeg hatásmechanizmusainak megismerése, a földrajzi navigációs, valamint a mozgó testek stabilizálására szolgáló eszközök fejlődése azonban éppenséggel a pörgettyű elméletének mélyreható vizsgálata nyomán indult meg.

A cikk első részében bemutatott 7. ábra szerinti kardánkeretben a saját tengelye körül gyors forgásba hozott pörgettyű három független, az egymásba ágyazott kardánkereteket összekapcsoló tengelyek körül fordulhat el. Az így kialakított mechanizmusban a pörgettyű tengelyének egy pontja fix helyzetű, a forgórész pedig három szabadságfokú mozgást végezhet. A kardánszerkezet egy vagy két szabadsági fokát megszüntetve (a megfelelő gyűrűket rögzítve) a forgórész tengelye jellegzetes földrajzi irányokba áll be.

A legegyszerűbb iránykitűző – és egyben szemléletes fizikai demonstrációs – eszközök a *deklinációs* és az *inklinációs* iránykitűző pörgettyűk<sup>12</sup> (10. ábra).

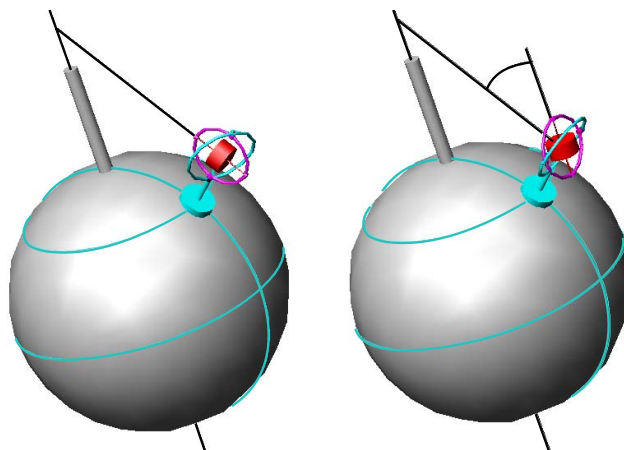
A deklinációs iránykitűző forgó részét hordozó kardángyűrű a függőleges tengely körül fordulhat el, a tárcsa tengelye a vízszintes síkban van. A felgyorsított és magára hagyott pörgettyű tengelye beáll a Föld forgástengelyét metsző irányba, azaz kijelöli az aktuális földrajzi ponthoz tartozó észak irányt.

Az inklinációs pörgettyűszerkezetben a forgórészt hordozó kardángyűrű tengelye vízszintesen, a keletnyugati irányban áll. A tárcsa felgyorsítása után a szabadon mozgó kardángyűrű mindaddig elfordul, amíg a forgórész tengelye a Föld forgástengelyével párhuzamos állásba nem kerül. Az északi irány és a pörgettyűtengely által bezárt szög a megfigyelési hely földrajzi szélességének értékét adja.

Az egy forgórészes eszközök a Földhöz képest nyugalmi helyzetben elvileg pontosan működnek.



Laczik Bálint okleveles gépészmérnök, okleveles matematikus szakmérnök, 1982 óta a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gyártástudomány és -technológia Tanszéke oktatója.



10. ábra. Deklinációs és inklinációs irányjelző pörgettyűk.

Hajón, repülőgépen a jármű Földhöz viszonyított mozgásának hatását különleges, több pörgettyűből álló rendszerek kompenzálják.

A 19. századi fizikai kutatások fontos területein, a termodinamikában és az elektromosságban a jelenségek csak bonyolult kísérleti eszközökkel állíthatók elő. A pörgettyűs effektusokat azonban egyszerű, köznapi tárgyakkal lehet bemutatni.<sup>13</sup> A korabeli, komoly szakmai publikációk mellett a tudományos ismeretterjesztés művelői színvonalas cikkek, könyvek, demonstrációs előadások sokaságában ismertették a forgó tömegekkel kapcsolatos bizarr jelenségeket.

A pörgettyű a hajdani karikatúrákon is felbukkant. A nemzetközi politikai viszályainak groteszk példázata a pipás, kalapos holland pörgettyűfigurát ostorral hajtó *Charlotte* walesi hercegnő,<sup>14</sup> lásd 11. ábra.

A 19-20. század fordulóján a legkülönfélébb pörgettyűs eszközök hatalmas sokasága született meg. Éppenséggel a divatba jött mechanikai hatással tréfálkozik egy német vicclap<sup>15</sup> rajzsorozata, lásd 12. ábraszorozatot. A leittasodott, tántorgó úriember büszke, stabil helyzetben folytathatja útját a nagy hirtelen megszerzett pörgettyűs egyensúlyozó kalap segítségével. A boltból távozó atyafi nyakában fityegő kulccsal felhúzott rugómotor a fejedőbe rejtett tárcsát forgatva bizvást az ingadozó emberiség jótékony segítségét lehetett volna. A frappáns ötlet találmányi bejelentését azonban a német szabadalmi hivatal – éppenséggel a vicclapban megjelent karikatúrára, mint korábban már ismert megoldásra hivatkozva – elutasította.

<sup>12</sup> A szerkezetek elterjedt, ám eléggé pontatlan megnevezése a pörgettyűs iránytű.

<sup>13</sup> Öveges professzor fizikát népszerűsítő munkásságának egyik titka a roppant egyszerű kísérleteiben rejlett.

<sup>14</sup> F. G. Stephens, M. D. George: *Catalogue of Political and Personal Satires in the Department of Prints and Drawings in the British Museum*. 11 vols, London, BMP, 1870–1954.

<sup>15</sup> *Lustige Blätter*, 1909. évf. 34. 9. o.



11. ábra. A pörgettyű, mint politikai él.

A járművek stabilizálásra szerkesztett pörgettyűs szerkezetek valamelyest több dicsőséget hoztak feltalálóiknak. A francia *Louis Brennan* és az orosz *Peter Schilowsky* ötleteiket szabadalmaztatták, polgári és katonai szakértők előtt számos, sikeres bemutatót tartottak. Furcsa járműveik gyorsabbak és fordulékonyabbak voltak négykerekeű kortársaiknál, az egyetlen sínből álló pálya építése és fenntartása is nyilván kisebb költséget igényelt, mint a szokványos vágányoké. A különleges masinák azonban nem győzték meg a stabilizáló pörgettyűk esetleges hibája miatt aggodalmaskodókat, az egy nyomon közlekedő autók és vonatok forgalomba sohasem kerültek (13–15. ábrák).

A pörgettyű egyik<sup>16</sup> legfontosabb alkalmazási területe a navigációs technika. A 19. század második felétől az imperialista nagyhatalmak egyre nagyobb hadihajókkal készültek a majdani tengeri csatákra. Az egyre vastagabb páncélatok irdatlan mennyiségű vasanyaga miatt a klaszikus iránytű alig, sőt legtöbbször egyáltalán nem működött. A víz alá merült tengeralattjáró zárt acél testének belsejében pedig teljességgel használhatatlanná vált a mágneses kompasz, de tökéletesen megfeleltek a pörgettyűs szerkezetek.

Az 1850-es évektől a torpedók, majd a merev vázú léghajók, később a repülőgépek fedélzeti navigációs eszközeiben, műszereiben fontos szerepet kaptak a pörgettyűk.

<sup>16</sup> A másik, ehelyütt nem tárgyalt fontos terület a lövedékek és rakéták forgással megvalósuló stabilizációja.

<sup>17</sup> A torpedógyár kiállításának honlapja: <http://www.muzej-rijeka.hr/torpedo/en/index.html>

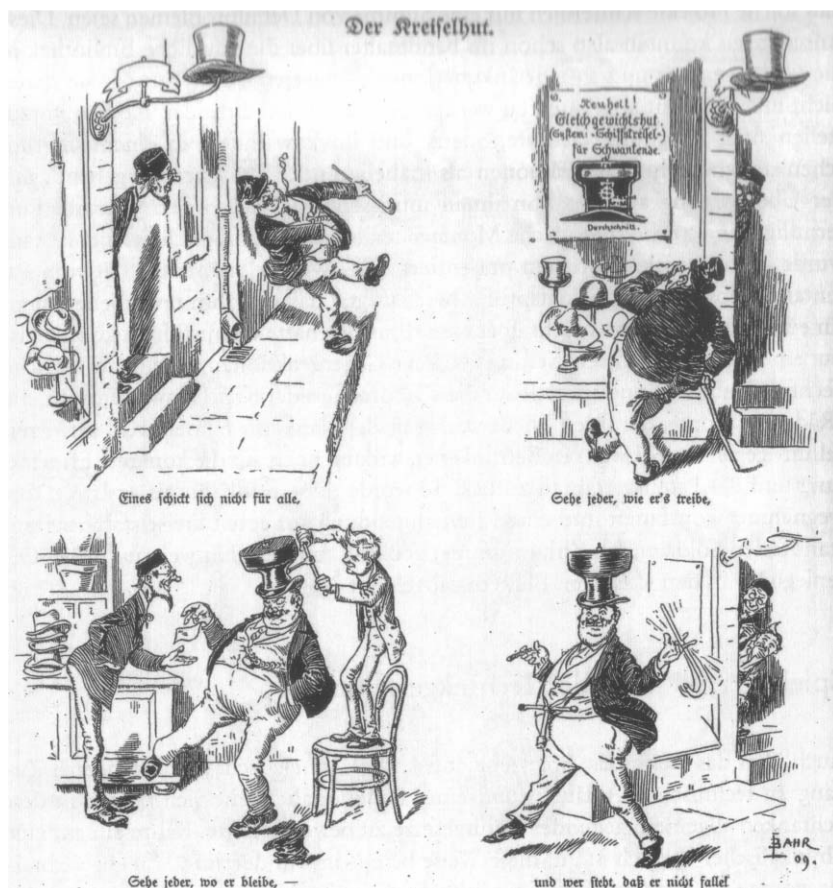
<sup>18</sup> A függőleges beépítésű motor alatt és fölött a közös tengelyen lévő tárcsák egyetlen forgórészt alkotnak.

A Rijekában 1854 óta egy évszázadon át működött torpedógyárban készült szerkezetek sokaságát mutatja be az üzem helyén látogatható múzeum.<sup>17</sup> A robbanó szerkezetek belsejébe épített, a torpedó iránytartását segítő, és a robbanás során megsemmisülő pörgettyűk a kiállítás különleges érdekességű darabjai.

A navigációs műszerek fejlesztésének egyik kiemelkedő személyisége *Hermann Anschütz-Kämpfe* (1872–1931) volt. A kezdetben orvosi, majd ezt félbehagyva művészettörténeti tanulmányokat folytató, az utóbbi tárgykörben doktori fokozatot is szerzett, sokoldalúan tehetséges ifjú érdeklődését különösen felkeltette a 19-20. századforduló nagy kihívása, az Északi sark meghódítása. Anschütz-Kämpfe a befagyott tenger jege alatt hajózva remélte a nagy cél elérését.

A tenger alatti navigáció problémája vezetett a pörgettyűs hajókompasz stabilan működő szerkezetének megvalósításához. Az első műszerben egyetlen<sup>18</sup> pörgettyű (16. ábra), az első szabadalmi bejelentést gyorsan követő, tökéletesített változatokban már több forgórész is működött. A nagy német kikötővárosban, Kielben 1905-ben alapított, és mindmáig navigációs műszereket gyártó vállalat – az Anschütz & Co. GmbH – termékei gyorsan megjelentek a kereskedelmi (17. ábra), hadi és az akkoriban virágkorukat élő léghajók fedélzetén.

12. ábra. A pörgettyűs kalap.

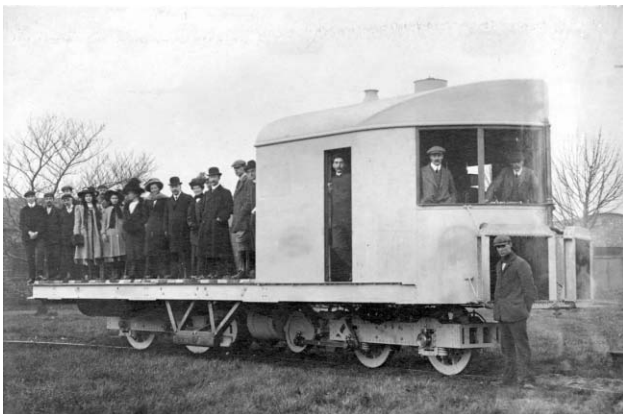




13. ábra. Schilowsky pörgettyűvel stabilizált járműve (1914).



14. ábra. Brennan drótkötélen mozgó, pörgettyűvel stabilizált járműmodellje (1905).



15. ábra. Brennan pörgettyűvel stabilizált egysínű vasútnak bemutatója (1910).

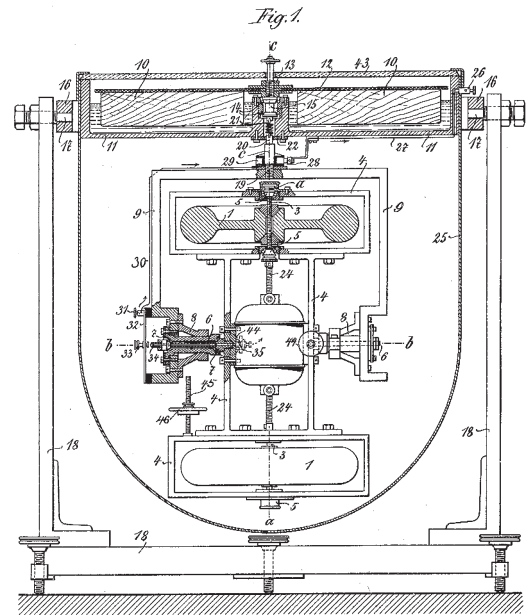
A neten könnyen elérhető a cég honlapja.<sup>19</sup> A hajók legmodernebb műholdas és radaros navigációs, valamint automatikus irányító eszközeiben megtalálható Anschütz-Kämpfe legsikeresebb találmánya, a kétpörgettyűs szférikus irányadó (18. ábra).

Anschütz-Kämpfe és Albert Einstein kapcsolata annak svájci szabadalmi hivatalnok korában kezdődött.

Edison mellett a második, legeredményesebb amerikai feltaláló, Elmer Ambrose Sperry (1860–1930)

<sup>19</sup> <http://www.raytheon-anschuetz.com>

<sup>20</sup> <http://www.sperrymarine.com>



Witnesses:  
Robert Coet.  
P. M. Patterson

Inventor:  
Hermann Anschütz-Kämpfe  
By His Attorney,  
J. W. Richards

16. ábra. Anschütz-Kämpfe egyik korai szabadalmának rajza.

1910-ben alapította a szárazföldi, vízi és légi navigációs eszközökkel foglalkozó vállalatát.<sup>20</sup>

Anschütz-Kämpfe egyik pörgettyűs irányító találmányi bejelentését Einstein 1914-ben vizsgálta. Sperry megtámadta német kollégája és riválisa szabadalmi elsőbbségét, a per az európai feltaláló győzelmével zárult. Anschütz-Kämpfe és Albert Einstein igen szívélyes kapcsolata ezzel kezdődött és élethossziglan folytatódott (19. ábra). A műszerek fejlesztésében később Einstein komoly szakmai segítséget is nyújtott barátjának.

Sperry cége az első világháborútól kezdődően az USA hadiiparának egyik kiemelten fontos vállalata lett. Különösen nagy fejlesztések történtek a második

17. ábra. Pörgettyűs Anschütz-Kämpfe műszerek (bal oldalon és középen), egy régi hajó parancsnoki hídján.



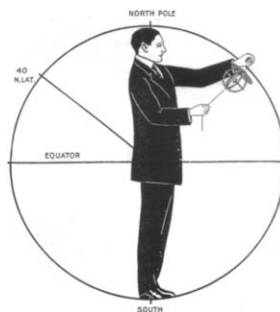


18. ábra. Két pörgettyűt tartalmazó gömbi irányadó az Anschütz-Kämpfe cég egy modern termékében.

világháború alatt. A legkülönbélebb katonai műszerek sokaságát dolgozták ki és gyártották tömegesen. A jól ismert, híres-hírhedt B-17 repülő erődök és a B-24 Liberátor bombázók fedélzeti műszerei mellett különösen érdekesek voltak a modern számítástechnika előzményének számító célberendezések, a légvédelmi ágyúk irányítását szolgáló elektromechanikus analóg löelemképzők. A pörgettyű indításának egy ötletes módját szemlélteti a 20. ábra. A tárcsa hornyába felcsévélte acélhuzal végét az indítóállványhoz rögzítve, a kilőtt rakéta „berántással” gyorsította fel a műszer forgórészét.

Verne kevéssé ismert, *Világfelfordulás* című regényében a Hold-utazással csődöt vallott tűzterek egy új, még különösebb kísérletre készülnek. Klubjuk hagyományainak megfelelően, egy hatalmas ágyú lövésének reakció hatásával remélik a Föld ferde<sup>21</sup> forgástengelyét bolygónk keringési síkjához merőlegesre állítani. Az új helyzetben komoly éghajlati változások jönnének létre, például megszűnne az évszakok változása, és a sarkok felmelegedésével, majd a sarki jégek olvadásával (legalábbis a Gun Klub vezetőinek reménye szerint) hatalmas ásványlelőhelyek válnának kitermelhetővé.

<sup>21</sup> Az ekliptikával 67,5 fokos szöveget bezáró.



19. ábra. Sperry cégének illusztrációja a giro-kompass működéséhez (balra), valamint egy ritka mozzanat: Albert Einstein és Hermann Anschütz-Kämpfe jókedvűen indulnak az ebédért (jobbra).

A regénybeli kísérlet mindenki szerencséjére kudarcot vall, és újabb kísérletről sem tudni.

A jelen összeállítás záró gondolatoként álljon itt a szerző egy, a pörgettyűmozgással kapcsolatos, a regény első elolvasása óta nyugtalanító, megválaszolatlan kérdése: *Elvileg lehetséges-e egyetlen ágyúlövés reakcióhatásával glóbuszunk tengelyét a keringés síkjára stabilan merőlegessé állítani?*

20. ábra. 9M14 Maljutka távirányítású páncéltörő rakéta pörgettyűje az 1980-as évekből.



Szerkesztőség: 1092 Budapest, Ráday utca 18. földszint III., Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Telefon/fax: (1) 201-8682

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

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

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

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

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

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

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

# AZ INTEL MADÁRTÁVLATBÓL

– Andy Grove / Gróf András halála kapcsán

Gyulai József  
MTA MFA és BME

Soha nem tudhatjuk meg, hogy a világ által igazolt sikerességet érezhette-e *Andy Grove* a végső pillanataiban, de örülnénk, ha így lett volna. Noha aligha hihető, hogy egy olyan aktív mérnök, mint ő, a „befejezettséget” érezhette volna – biztosan voltak tervei, megkezdett lezáratlan munkái, de látnia kellett, hogy egy félszázados cég máig az innováció élén halad. Az őt tisztelők azonban feltétlenül a sikeres és befejezetten-lezárt életművet látják.

A világsajtó vezető helyeit megtöltő nekrológok is ezt sugallják. E cikk írója reméli, hogy a *Fizikai Szemle* olvasói találkoztak ezekkel az írásokkal és megismerték a mikroelektronika, számítástechnika talán legismertebb márkája, az Intel Corporation egyik fő alapítója, hosszan vezérigazgatója nevét, főbb tetteit. Tudják, hogy Gróf András-ként 1936-ban Budapesten született és a forradalom napjaiban választott új hazát – *Leslie Vadasszal*, a cég kereskedelmi vezérével, aki tavaly járt itthon és tartott előadást...

Hadd legyen ez az írás másminylen. Legyen ez egy madártávlatból készült, de személyes kép az Intelről, főleg első éveiről. Kép, amely mélyen tiszteli a csapat minden tagjának kiválóságát és különösképpen a most eltávozott, hosszú időn át vezér *Andy Grove* emlékét.

A madártávlat azt jelenti, hogy – hadd folytassam első személyben – különlegesen szerencsés csillagzatom először 1969-ben juttatott a Caltech Villamosmérnöki Karára postdocnak, egy különleges professzor, *J. W. Mayer* mellé, és ezzel a nem sokkal korábban megalakult Intel közelébe. Közelébe? Igen, mert az Intel által elhagyott „fészek”, a Fairchild Corporation fejlesztő laborja volt az, amely ellátott bennünket élvonalbeli anyagtudományos feladatokkal egy korábbi Caltech-PhD, *Val Rodriguez* közvetítésé-

vel. Akkor még nem lehetett tudni, hogy az Intel kiválása az anyacég e területről való teljes kiszorulását hozza magával.

Az első „intelesek” közül *Bruce Deal* és *Andy Grove* nevével találkoztam először, amikor megismertem a szilícium felületén atomosan rendezett  $\text{SiO}_2$  réteg növekedésének általuk megalkotott elméletét, amelynek kidolgozásában *Grove*, mint kitűnő vegyészmérnök mutatkozott be. Ezt a tudást könyvbe, tanulmányokba foglalták – és a téma akkor még rejtett tudásanyagával, és a technológiai higiéne korábban ismeretlen szintjének megvalósításával elsőként tudtak ipari minőségben és reprodukálhatóan úgynevezett „komplementer tranzisztorpárokat”, azaz a Boole-algebra egy elemét megvalósító invertereket gyártani a MOS (Metal-Oxide-Semiconductor) eljárással gyártott chipeken...

A technológiai higiéne révén sikerült ugyanis megakadályozniuk, hogy a csökemencék samottjából a szennyezések, például az alkáli atomok bejussanak a kvarccsövek belsejében tudatosan oxidálódó szilíciumszeletek-

re és a folyamat kézben tartásával elérjék, hogy csak a tranzisztorműködéshez kritikusan pontos töltésmennyiség juthasson a Si-SiO<sub>2</sub> határretegbe. Emellett azt is el tudták érni, hogy a keletkező határretegben akár egyetlen rácsállandónyi lépcsők (!) is csak elvétve – ezer, később tízezer atomonként egy-egy – keletkezhessenek hibaként.

Hogy miként jöhetett létre az Intel, arról engem is oktattak a fairchildos barátaim. Így: minden anyacég, ez esetben a Fairchild, antagonisztikus ellentétben van az innovatív, netán kiválni szándékozó munkatársaival. Az anyacég ugyanis szűk, de mély tudású munkatársakat igényel, míg a kiváláson is gondolkodók számára vitális kérdés, hogy – mondhatjuk így is – titkolják el az újító ötletüket és egyidejűleg „kikémkedjék” a tervezett piaci termék teljes technológiáját. Mert a cégalapítástól az első termék piacra dobásáig már nincs kutatás. És mindezt tökéletes titoktartással kell elvégezni. Ez nem könnyű: voltak azokban az években olyan szakmai barátaim, akikről túl korán derült ki az efféle szándék – és egy reggel a jegyzeteikért se mehettek be – éppen a Hughes Aircrafthoz. Ha az önállóságra törők eljutottak a kellő ismeretekhez, akkor kell megkeresniük az anyacég bankjával konkurens pénzintézetet és meggyőzni őket az ötlet-



*Gyulai József* akadémikus az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézete (MFA) nyugalmazott igazgatója. Éveket töltött amerikai, francia, német és japán egyetemeken. Emeritus professzor az MFA-ban és a BME-n. Vezetőségi tagja volt az Európai Anyagtudományi Társaságnak, elnökhelyettese az IUPAP-nak és az Európai Fizikai Társaságnak. Elnöke, majd tiszteletbeli elnöke az Eötvös Társulatnak. Kitüntetései: Akadémiai Díj, Munka Érdemrend, Széchenyi- és Prima Díj, Eötvös Érem.

ről. Ez az, ami az Intel életre hívó csapatnak, Robert Noyce-nak, Gordon Moore-nak, Andy Grove-nak, Leslie Vadasznak, Bruce Dealnek és másoknak, példaszertő tökéletességgel sikerült.

Mi, a Mayer-csapat, később az NSF által finanszírozott Caltech (Mayer) – KFKI (Gyulai) kutatócsoport csapata nem az oxid minőségével foglalkozott, hanem belekésedett a félvezetők adalékolására alkalmasnak látszó, nem is új – Shockley már 1957-ben szabadalmaztatta! – eljárással, az úgynevezett ionimplantációval, amely akár izotóptisztaságban lő be annyi iont és oda a szükséges adalékból (főleg bórt, foszfort, arzént), amennyire szükség van. Én „intellest” először (sajnos, a nevét nem jegyeztem fel) az első Ionimplantációs konferencián, 1970-ben, Kaliforniában vitáztam az implantációs eljárás perspektívájáról. Megértettem, hogy az Intel annyira bízott a technológiai higiénét, a szeletek körüli tér gázkörnyezetét atomisztikusan tisztán tartó eljárásukban, amellyel megoldották, hogy szabályozottan tudjanak például bóratomokat bejuttatni az oxid és a szilícium határfelületébe, hogy nem érdekelte őket az új, ismeretlen eljárás, egy „fizikusi” játék, amelyhez még iparidegen részecskegyorsító masinák is kellenének a gyárban. Olyannyira így volt, hogy a kolléga azt mondta nekem, hogy az implantáció legfeljebb arra lesz jó, hogy a tranzisztorok között a szilíciumot amorfizálva, megakadályozza a tranzisztorok nemkívánatos „beszélgetését”. Már itthon voltam a KFKI-ban létrehozott csapatunkban, 1975-ben, amikor a calteches implantációs témában doktorált munkatársunkat, R. D. Pashley-t alkalmazta az Intel. Ez lehetett az a fordulópon, amikor rájöttek, hogy ionokat reprodukálhatóan lőni sokkal biztonságosabb. Szerencsénkre, nem ők jöttek rá arra a „preamorfizáció” néven ismertté és világszerte alkalmazottá vált trükkünkre, amely „technológiává” változtatta a fizikusjátékot, az ionimplantációt. Olyannyira, hogy például a mai Intel a processzortechnológiájában 23 implantációs lépést alkalmaz. A preamorfizáció képes volt kiküszöbölni azt a kristályosságából eredő gondot, hogy az ionok nem-reprodukálható mélységekbe hatolnak be a kristályatomok oszlopai által definiált „csatornába” mielőtt lefékeződnének. A preamorfizáció ezt oldja meg: előbb Si-ionokkal amorffá bombázzuk a Si felszínét, és ebbe a rétegbe lőjük be a kívánt adalékot, amely ekkor számíthatóan, Gauss-eloszlás szerint fékeződik le, majd egy alacsony hőmérsékletű hőkezeléssel tesszük „rendbe” a kristályrácsot – ezzel még a nemkívánatos adalékdifúziót is minimalizáljuk. Nos, Richard Pashley „bevált” a cégnél: ő találta fel később a flash memóriát, a pendrive lényegi elemét, és nemrégén vezérigazgató-helyettesként ment nyugdíjba.

Volt még pont, ahol az Intellel párhuzamosan okozott a Mayer-Gyulai-csapat paradigmaváltást – ezúttal a szilíciumkristály-iparban, 1975-ben. Kezdetekkor ugyanis a gyárak alapvetően (111) kristályorientációban növesztették a félvezetőgyárak számára az alapanyagot. Az Intel eredménye volt akkortájt, hogy a Si-SiO<sub>2</sub> határreteg atomos rendeződése sokkalta jobb



Az Intel alapításának 10. évfordulóján Andy Grove, a társalapító Robert Noyce és Gordon Moore. Grove az egyik korai mikroprocesszor rajzán ül. Az Intel első mikroprocesszora az 1971-ben kiadott, 4 bites 4004-es volt. Ez volt a második teljes, egy lapkára épített CPU (ezt megelőzte a Texas Instruments TMS 1000-es mikrovezérlője), azonban a 4004-es volt az első kereskedelmi forgalomba került mikroprocesszor. Itt már a 10 mikrométeres szilíciumkapus PMOS technológiát alkalmazták, és 29 000 számítást volt képes elvégezni egy másodperc alatt. A 4004-es áramkörre 2300 tranzisztorból épül fel, és a következő évben az első 8 bites mikroprocesszor követte, a 3300 tranzisztoros 8008-as (és a 4040, az átdolgozott 4004-es). Az Intel negyedik mikroprocesszora, a 8080 indította el a mikroszámítógépek forradalmát. ([https://hu.wikipedia.org/wiki/Intel\\_4004](https://hu.wikipedia.org/wiki/Intel_4004))

lehet egy (100) felületen. Ehhez csatlakozott a Mayer-Gyulai-csapat eredménye, miszerint az ionimplantáció okozta rácskárosodás is tökéletesebben gyógyul az (100) felületű szilíciumon. Ez az eredményünk is hozzájárult ahhoz, hogy az ionimplantáció szempontjai, az oxidnövesztéshez hasonló súllyal szóljanak bele a fejlesztésekbe, ez esetben a kristálygyártásba. Büszkeség töltött el minket is, amikor évek múlva láttuk, hogy a teljes szilíciumipar dominánsan átállt az ilyen orientációjú alapanyag növesztésére.

Az ELFT nevében, a rendszerváltás táján hívtam Andy Grove-ot hazalátogatásra, amit finoman, de visszautasított. Megértettem, mert nem bízhatott kellően a következmény nélküli vendégbarátságban.

Sokat köszönhet a világ neki és a többieknek, az Intelnek, de a Bell laboratóriumnak, az IBM-nek, meg a megerősödő japán és távol-keleti gyáraknak – épp tavaly „ünnepeztük” az ötvenéves Moore-törvényt, amely – valójában gazdasági törvényként – közvetíti a piac elvárásait az ipar felé...

Andy Grove, nyugodj békében! Művedben tovább élsz...



# A SZEGEDI FIZIKUSOK DOYENJE

Dombi József professzorral Papp Katalin beszélget

– Országos és megyei napilapok, patinás női betilap, sőt még egy bulvár is hírül adta, hogy 96 évesen oktat a Szegedi Tudományegyetemen Dombi József professzor, címzetes egyetemi tanár. Mi a titka e csodának? Abban a szerencsében van részem, hogy beszélgethetek vele életéről, pályájáról.

Hogyan került Tanár úr a messzi Zalából a szegedi Eötvös Kollégiumba?

– A zalaegerszegi gimnáziumban ifjúsági könyvtáros voltam. Július elején be kellett mennem az iskolába átadni a könyvtárat. Vártam a tanár úrra, lődörögtem a gimnázium üres folyosóin. Elkezdtem olvasni az igazgatói iroda melletti hirdetőtáblán: a szegedi Eötvös Kollégium felvételt hirdet matematika-fizika szakos egyetemistáknak, havi 30 pengő ösztöndíjat ad, ehhez kellett hozzátenni 26 pengőt. A kollégiumban ezért koszt, kvártély járt. Hazamentem, megkérdeztem a szüleimet: tudnak-e ennyit áldozni rám? Akkor apám nyugdíja 130 pengő volt. Ők vállalták, így hát jelentkeztem.

– Milyen volt a felvételi vizsga?

– 1938. július 2-án kellett megjelennem az Eötvös Kollégiumban elbeszélgetésre. Életemben először akkor jöttem Szegedre. Náray Szabó Zoltán volt ott akkor az igazgató. Először egy óráig fizikából vizsgáztam, utána matematikából Kalmár László (később akadémikus, a szegedi Kibernetikai Laboratórium alapítója és vezetője) feleltetett, ő is egy óráig. Megkérdezték, beiratkoztam-e az egyetemre? Válaszoltam, hogy nem. Hát akkor...? Hazajöttem, egy barátom, a sőtöri kanász fia, aki akkor már bölcsészhallgató volt Szegeden, segített beiratkozni a Ferenc József Tudományegyetemre.

– Milyen volt azt élet a legendás Eötvös Kollégiumban?

– Mi a kollégiumban egy család voltunk. Egyedül én voltam elsőéves akkor. Mindjárt megkaptam a rangomat: gólya, nem Dombi József voltam. Meg kellett tanulnom a gólya-tízparancsolatot. Szigorú rangsor volt, az első éves: gólya, a másodikéves: főgólya, a harmadéves: tanár úr, a negyedéves: főtanáár úr, az ötödéves: vezértanáár úr. „Gólya, eredj le a Hajós cukrászdába, hozzál 7 krémet!” De ha Kalmár László tanár úr kiadott a húsvéti szünetre 100 integrálpéldát kidolgo-

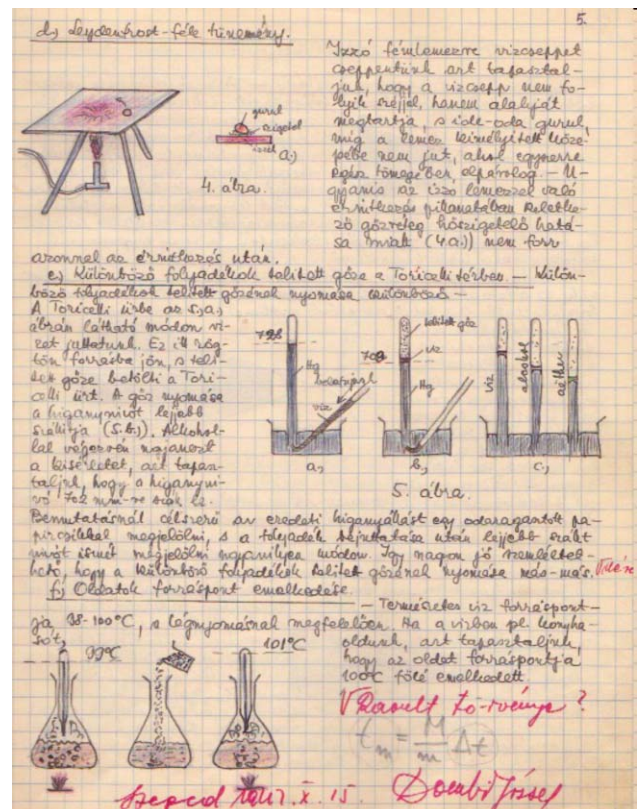
zásra, és megakadtam, akkor este 11 órakor bekopogtam Kónya Albert szobájába, aki akkor negyedéves volt. Már aludt, de megkérdezte: ki az? Te vagy, gólya? Mi bajod van? Elmondtam, ő felkelt és elmagyarázta. A szegedi Eötvös Kollégiumban matematika-, fizika-, kémia-, földrajzszakos hallgatók voltak. Az egyetemen 27 óránk volt egy héten. Az egyetemi órákon túl voltak a kollégiumi órák: matematika-, fizika- és nyelvórák. Mikor máskor? Este 8–10 között, mert akkor ért rá mindenki. Birtuk!

– Hogyan kezdődött oktatói pályafutása?

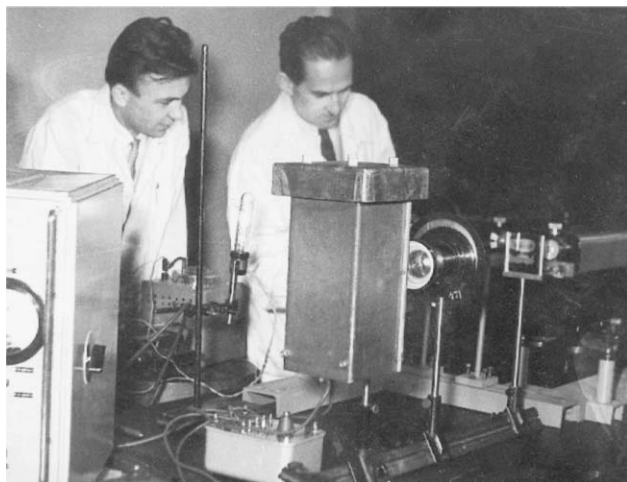
– Másodéves voltam, amikor a Mechanika kollokviumom után Gombás Pál megkérdezte tőlem, van-e kedvem bejárni az intézetbe? Hát volt. Ő végül element Kolozsvárra, hívott engem is, de az Eötvös-kollégium miatt nem mentem. Félév múlva, 1941. február 1-jén díjtalan gyakornok lettem a Kísérleti Fizikai Intézetben. Gyakorlatokat vezettem, például a Bevezetés az előadási kísérletezésbe. Harminc hallgatónak egyedül vezettem a gyakorlatot, 21 évesen, szombaton 11–13-ig.

Fröblich Pál professzor vizsgáin is segédkeztem. Feladatomból volt, hogy a várakozó hallgatókat ötösével kísérem föl a Könyvtárba, ahol a felkészülés történt.

Részlet Szalay László (később a Biofizikai Tanszék vezetője) Bevezetés az előadási kísérletezésbe kurzusához készített jegyzőkönyvből az oktató, Dombi József megjegyzéseivel, 1942-ből.



Papp Katalin a Szegedi Tudományegyetem címzetes egyetemi tanára, a neveléstudomány kandidátusa. Kémia-fizika szakos középiskolai tanárként végzett a József Attila Tudományegyetemen. 1971–2010 az SZTE Kísérleti Fizikai Tanszékén dolgozott. Kezdetben a lézer-szilárdtest kölcsönhatással, majd tantárgy-pedagógiai kutatásokkal foglalkozott, közleményeinek száma több mint 100. Jelenleg a kisgyermekek természettudományos nevelésének kérdéseit kutatja, eredményeit a napi gyakorlatban is alkalmazza.



Dombi József (jobbra) a Kísérleti Fizikai Intézetben, az ötvenes években.

A vizsgákon is részt vettem, a jegyeket közösen állapítottuk meg. Egyszer Fröhlich professzort telefonhoz hívták és átadta a vizsgáztatást nekem. A vizsgázó *Haimann Ottó* – később az Eötvös-egyetem oktatója, hosszú éveken át a *Fizikai Szemle* nyelvi segítőtje, most 95 éves! – kémia-fizika szakos kiváló hallgató volt. Jelest adtam neki. Azután jöttek a további órák, laboratóriumi gyakorlatok, számolási gyakorlatok. Az első önálló előadást 1950-ben, az akkor induló biológus szak hallgatóinak tartottam. És folytatódott: fizika matematika-ábrázoló geometria szakos hallgatóknak, alapozó fizika vegyész hallgatóknak, alkalmazott fizika vegyész hallgatóknak, fizika gyógyszerész hallgatóknak. 1970–1985 között tartottam a Kísérleti fizika II. alapkollégiumot (Elektromosság-mágnesség, Fizikai optika, Atomfizika) fizikus, matematika-fizika szakos hallgatóknak.

– *Hogyan kapcsolódott be a tudományos munkába?*

– Kezdetben még díjtalan gyakornokként Fröhlich Pál kutatásaiban segítkeztem. Akkoriban ő a zselatinfoszforok optikai tulajdonságait, a fluoreszcencia – foszforencia jelenségeit vizsgálta. Ehhez olyan mintákat kellett előállítanunk, amelyek Petri-csészébe öntött higany felületén vékony zselatinfoszfor-lapocskák sokaságát kívánta. Külön lemezöntő helyiségben dolgoztunk, a higanygőz-koncentrációt nem mértük....

– *Tanár úr kérem, mi az a „Domboszkóp”?*

– *Budó Ágoston* professzor irányításával 1950-től a molekulárisfluoreszcencia-kutatások kerültek a vizsgálatok középpontjába. Az oldatok lumineszcencia emissziós spektrumainak hőmérsékletfüggését, koncentrációfüggését vizsgáltam. *Ketskemény István*, *Horvai Rezső*, *Gáti László*, *Szalay László* és további kollégákkal együtt spektrométereket és lumineszcencia-polarizációt mérő fotoelektromos készülékeket építettünk meg, ezek közül az egyik volt a „Domboszkóp”.

Az akkori mérés technikára az volt a jellemző, hogy a mérésekhez legalább 4 főre volt szükség: egyik kolléga változtatta a hullámhosszat, a másik kezelte a stabilizátort, a harmadik a távcsöves tükrös-galvanométerrel leolvasta a fotóáramot, a negyedik írta a mé-

resi eredményeket. És ezután következett az értékelés: a számolás, a grafikus integrálás. Igazi teammunka volt, sokszor éjszakába nyúló. Budó professzor egyetemi tekintélyének köszönhetően a „hivatalos” ünnepeken, amikor nem volt szabad dolgozni, még az irodai írógépeket is begyűjtötték, mi engedélyt kaptunk az egyetemi épületben a kutató munkára.

– *Kedves Tanár úr! A városban járva, de bárhol az országban, kutatók, oktatók, középiskolai tanárok között, a nevét említve, mindenütt tisztelet és szeretet veszi körül. Hogyan vívta ki ezt a szakmai és emberi megbecsülést?*

– Mindig szerettem tanítani, és ezt nyilván érezték tanítványaim is. A szigorú szakmai követelményeim mellett igyekeztem akár a középiskolásoknak, akár a hallgatóknak a szorosán vett tananyagot kívül tőb- bet, mást is adni. Például a hangrögzítés témájú előadás nagy részét a zene töltötte ki, az ősemberek vadászmondókaiktól egészen Beethovenig, de Lucienne Boyer-t is muzsikáltam nekik. A vizsgákon gyakran előkerült az irodalom, a történelem például a hallgató középiskolája névadó személye kapcsán. Sokáig jártam tudományos konferenciákra, középiskolai tanári ankétokra, ahol lehetőségem volt találkozni volt tanítványaimmal, így a kapcsolat szinte folyamatos. Néhány éve egy volt hallgatóm hívására egy több napos tanulmányi versenyre is elmentem zsűrizni a Dunántúlra.

– *Az ELFT is fontos közösség az életében? Találtam egy Megbívót 1969-ből, amelyen az MTESZ Műszaki bónap keretében A lézersugárzás és alkalmazásai címmel, az előadó Dombi József.*

– 1949-ben létrehozták az Eötvös Loránd Fizikai Társulatot Budapesten, szegedi csoportja 1950-ben alakult meg, ennek alapító tagja voltam. Akkoriban városi szinten az MTESZ-szel közösen szerveztük a rendezvényeket. Előadói ülések, tanártovábbképzések, kísérleti bemutatók és tudományos konferenciák egyaránt belefértek a programba. A hetvenes években részt vettem a *Szegedi Lumineszcencia Konferenciák* sorozatának elindításában 1976, 1979, 1982, 1985. Előadóként, közreműködőként vettem részt szegedi

Rácz Béla, Dombi József, szovjet vendég, Ketskemény István és még egy szovjet vendég a hetvenes években.





Tanár úr idén április 16-án, a Bor Pál-verseny díjátadóján.

*Fizikus Vándorgyűléseken* (1959, 1973, 1983), tanári ankétokon, a szegedi ötvenedikén az Ankét ezüstözött emlékérmét kaptam.

– *Tanár Úr oktatói pályáját végigkísérték a kísérleti eszközök. Említene néhányat, amely a hallgatók számára emlékezetesek lehetnek?*

– A sok közül talán a hőtan előadáshoz készített eszközt említeném. Ez a mechanikai munka hővé alakulását hivatott szemléltetni: egy bambuszcsőbe söréteket raktunk, sokszori forgatás után az egyik végén kialakított nyíláson a hőmérséklet-változást lehet vele kimutatni. Ma már ezt digitális hőmérővel mérik, és úgy hallom még ma is bemutatják, a segítő demonstrátor „nagy öröme” (100-szor kell forgatni!).

– *Tanár Úr! Az én kiskunhalasi általános iskolám 50 éves osztálytalálkozóján Herke Ilona fizikatanárnőm érdeklődött, hogy van Tanár Úr?*

– Ja igen, emlékszem, szakérettségiként tanítottam talán 1949-ben, egyes lány volt, ő volt a szertáros.

– *A beszélgetésünk idején éppen az ELFT Csongrád megyei Csoportjának szervezésében zajló Bor Pál tanulmányi versenyen adja át a díjakat a diákoknak. Milyen kapcsolata volt a verseny névadójával?*

– *Bor Palkó* (a JGYTF Fizika tanszékén, az akkori legendás szegedi tehetséggondozó „műhely” vezéralakja) jó barátom volt. A háborús időszakban hozzá-mehéztem holmijaimat biciklivel Szegedről Orosházára. És évtizedeken át tarokkos társam volt!

– *Mindenki csodálja Tanár Úr fizikai és szellemi fittségét. Mi a titka?*

– Szerencsés gének? Vagy talán a tarokk? (Ezt a kártyajátékot az Eötvös-kollégiumban kötelező volt megtanulni, és azóta is játszom.) Mint tudjuk „... a tarokk az egy figyelős játék”!

## A FIZIKA TANÍTÁSA

# TUNGSRAM-LÁMPÁK VIZSGÁLATA

Csatári László

Szent József Gimnázium, Szakközépiskola  
és Kollégium, Debrecen

Három, különböző, nagy teljesítményű lámpa által biztosított fény mérése, megfigyelése, értékelése, optimális kihasználása és a fény fizikájának a megértésére irányuló pályázatot írt ki a Tungstram Schréder. A lámpákat *A fizika mindenkié* 2015. április 18-i országos rendezvény kapcsán vizsgáltuk.

A fényforrások LED-es lámpatestek, nátrium-lámpák és kompakt fénycsövek voltak (1. ábra és a többi

is az első, belső, színes borítón található). A nátrium-lámpa OPALO-1 nevű lámpatestbe épített, 70 W teljesítményű izzót tartalmazott. A kompakt fénycsöves ALTRA21 típusú lámpatestbe épített, 36 wattos, míg a LED-es fényforrás VOLTANA1 típusú lámpatestbe épített, 29 watt teljesítményű fényforrást tartalmazott. Az elvégzett mérésekkel a hétköznapi tapasztalatokat kívántuk igazolni.

## Bekapcsolási idő mérése

A közvilágítás – sárga színű – nátrium-lámpái bekapcsolás után fokozatosan érik el a legnagyobb fényerejüket. Mi a helyzet a többi fényforrás esetében? Következő mérésünkben ezt vizsgáljuk.

TSL235 fény-frekvencia átalakító, ARDUINO alapú mérőrendszer és LabVIEW nyelven írt kiértékelő program segítségével felvettük a lámpák fényerő-idő karakter



Csatári László 1995-ben fizika – ábrázoló geometria, 1998-ban informatika szakos tanári diplomát szerzett a Kossuth Lajos Tudományegyetemen. A debreceni Szent József Gimnázium, Szakközépiskola és Kollégiumban tanít. Rendszeres résztvevője a fizikatanári ankétoknak, ezeken több alkalommal tartott műhelyfoglalkozást. Legfontosabb kitüntetései: Színpadon a Természettudomány (2014 – fődíj), Öveges József-díj (2014), Ericsson-díj (2015).

terisztikáját. A szenzor az adatlapja – <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tsl235.pdf> – szerint a fényerővel egyenes arányban álló frekvenciát állít elő. Mi ezt mérjük, tehát a függőleges tengely fényerősséggel arányos adatokat tartalmaz, a vízszintes skála pedig a mérések sorszámát, azaz az időt mutatja. A lámpáktól fél méter távolságra helyeztük el az érzékelőt és árnyékolással biztosítottuk, hogy arra csak a lámpák fénye jusson. A méréssorozat 0,5 másodperces időközönként történt, a kapott grafikonok a 2. *ábrán* láthatók.

Méréseinkből megállapítható, hogy a kompakt fénycső és a LED a bekapcsolást követően szinte azonnal eléri maximális fényerősségét, míg a nátrium-lámpa bemelegedéséhez időre van szükség, továbbá mindhárom lámpa fényereje ebből a távolságból azonos.

## Lámpák színvisszaadása

A nátrium-lámpa szemmel láthatóan sárga fényt bocsát ki. Előszereettel használják közvilágításra, hiszen kis fogyasztás mellett (70 W) nagy fényerőt produkál. De gondoljunk egy kivilágított utcán elkövetett bűncselekményre. Hogyan írják le az elkövetők ruháját a szemtanúk? Vajon hogyan néznek ki a különböző színű tárgyak a lámpákkal megvilágítva? Erre kerestünk választ a következő mérésünknel.

Színes papírlapokat világitottunk meg a lámpákkal (3. *ábra*) és fényképezéssel dokumentáltunk. Figyelembe kellett venni, hogy a fényképezőgép minden kép készítése előtt fehéregyensúlyt állít, így az azonos körülmények érdekében a lámpák egyszerre világitottak, és árnyékolással (a csomagoló doboz oldalával) biztosítottuk, hogy a lámpák fénye a papírlapok megvilágítása közben ne keveredjen. Összehasonlításképp képszerkesztő programmal a fényképen található, egymásnak megfelelő színű lapokból kivágott négyzeteket egymás alá rendeztük. A sorrend fentről lefelé haladva: LED-es, Na-, fénycsöves lámpa (3. *ábra*). Az alsó sorba beadtuk a napfényenél készített referenciafényképről is odamásoltuk a megfelelő színeket.

Megállapítható, hogy a nátrium-lámpa színvisszaadása a legrosszabb. A színek jelentősen módosulnak zöld és kék papírlap esetén. A természetes fényviszonyokhoz legjobban a LED-es lámpa fénye hasonlít.

## Spektrális vizsgálat

Vajon milyen a fényforrások fényének spektrális eloszlása? Ehhez a vizsgálathoz saját spektroszkópot készítettünk DVD-lemezből és ráhelyezhető kartonlapból. Mindenki látta már, hogy a CD- és DVD-lemezek megfelelő szögben tartva szivárványszínben tündökölnék. Ezek a lemezek a gyártás során olyan „spirális adatszerkezetet” (pit-land) kapnak, ahol a spirálok közötti távolság CD esetén 1,6  $\mu\text{m}$ , DVD esetén 740 nm. Ez az az „optikai rács”, ami a fehér fényt színeire bontja. A jelenséget részletesebben megvizsgálva azt tapasztalhatjuk, hogy a lemez síkjával körülbelül 20-

25 fokkal beérkező fehér fényt a CD és a DVD a lemez síkjával körülbelül 50 fokkal bezárt irányban bontja színeire. Az adatokat kihasználva sötét kartonból tortaszelet formájú árnyékolót készítettünk, amin az irányoknak megfelelő egy-egy rés szolgált a fény behatolására és a színek észlelésére (5. *ábra*). A színeire bontott fénynyalábra mobiltelefonnal nyugodtan bele is fotózhatunk! Méréseinket mi is így dokumentáltuk.

Az egyes lámpák spektrumát a 6. *ábra* képei mutatják. A lámpák sorrendje balról: LED-es, Na, kompakt fénycsöves és végül referenciaként a természetes napfény. Vizsgálataink alátámasztják a színes mérésnél kapott eredményt: a legjobb színvisszaadást a LED-es fényforrás esetén kaptuk, hiszen ennek spektruma jól közelíti a természetes fényét. A nátrium-lámpa esetén csak kevés színt tartalmaz a spektrum, így a színvisszaadás sem lehet tökéletes.

## Megvilágítási terület meghatározása

A modern világítótesteknél fontos, hogy a fény a megfelelő helyre kerüljön. Egy magasan elhelyezett lámpa nem csak az utat világítja meg, de a házak falát is, sőt az ablakon is bevilágítva vagy az ég felé sugározva fényszennyezést okoz. A régebbi típusoknál a fénycsőva irányítását tükrökkel oldották meg, míg a LED-es lámpa esetén lencserendszert alkalmaznak.

Mérésünkben az adott lámpák által megvilágított terület fényerősség-eloszlását térképeztük fel. A mérést úgy végeztük, hogy a függőlegesen felállított lámpák fényét fehér felületre irányítottuk, majd a felületen 5×5 cm-es raszterekben lemértük a fényerőt. Erre a célra szintén a TSL235 fény-frekvencia átalakítóval felépített áramkört használtuk. A kapott értékeket táblázatkezelő programba betöltve készültek el a 3D (felület) grafikonok.

Méréseinkből kiderül, hogy mindegyik lámpa erősebben egy jól meghatározott téglalap alakú területen világítja meg a felületet. Ez a nátrium-lámpánál a legnagyobb (7. *ábra*, középen), a fénycsöves lámpánál már kisebb (7. *ábra*, jobbra), az irányított fényű LED-es világítótestnél a legkisebb (7. *ábra*, balra). Vagyis a megvilágított területre eső fényerő itt a legkedvezőbb.

## Összefoglalás

A világítótestek hétköznapunk részeivé váltak. Természetesnek vesszük, ha naplemente után nem kell a sötét utcákon botorkálni. Fontos, hogy a megvilágítás a gazdaságossági célon túl minél észszerűbb legyen. A megfelelő terület megvilágítása, a jó színvisszaadás a korszerű fényforrások segítségével ma már megoldható. Azt, hogy mennyire jók a fényforrások, akár otthoni kísérletekkel, mérésekkel is tudjuk igazolni. Ebben szerettünk volna segítségét adni.

# DIGITÁLIS PLANETÁRIUMOK SZEREPE A KÖZÉPISKOLAI OKTATÁSBAN

Dömény Anita – Ciszterci Rend Nagy Lajos Gimnáziuma  
Gyenyizse Péter – PTE TTK Földrajzi Intézet

A csillagos égbolt látványa évezredek óta elbűvöli az embereket, de korábban nemcsak a szépsége volt fontos, hanem a tájékozódásban és időszámításban betöltött szerepe is. Az elmúlt évszázadban az emberek egyre inkább elszakadtak a természettől, így a csillagos ég látványától is. Ma már karóráról, telefonról olvassuk le az időt, GPS mutatja meg a tájékozódáshoz szükséges irányokat. A fiatalok általában a Napon és Holdon kívül más égitestet nem ismernek fel az égbolton, és azok látszó, illetve valódi mozgásaival sincsenek tisztában. Ez a „tapasztalatlanság” megnehezíti a földrajzi és fizikai jelenségek oktatását.

Részben e szemléleti, oktatási probléma megoldása, nagyobb részt viszont a szórakoztatás vágya vezetett a planetáriumok kidolgozásához és az első planetáriumi vetítógép bemutatásához 1923-ban a németországi Jéna városában. Hazánkba viszonylag később érkezett meg a mindig is drágának számító technika. 1961 és 1968 között a budapesti Vidám Parkban, átmeneti épületben üzemelt egy Zeiss iskolaplanetáriumi vetítő. Ez kapott végleges elhelyezést az 1975-ben megnyílt TIT Mecseki Természettudományi Stúdió és



1. ábra. Analóg és digitális planetáriumi vetítógépek a pécsi Zsolnay Kulturális Negyed Planetáriumában.



Planetáriumban Pécsen. Ez az intézmény volt Magyarország első kőből épített, fix elhelyezésű planetárium, ahol egy hat méter átmérőjű kupolán jelent meg a csillagos égbolt. 1977-ben Budapesten hazánk egyetlen nagyplanetárium, 1984-ben Kecskeméten újabb analóg kisplanetárium nyílt meg. Az elmúlt másfél évtizedben azonban a digitális vetítőberendezések (projektorok) felbontása és fényereje is elérte azt a szintet, hogy egy új, számítógépes szoftverekre alapozott planetáriumi vetítési technika is megjelent hazánkban, ezek a digitális planetáriumok (1. ábra).

## Planetárium, oktatás, Z-generáció

A planetárium oktatási és ismeretterjesztő feladatát ma sem lehet jobban megfogalmazni, mint azt *Schalk Gyula* tette az 1977-ben megjelent *Planetárium és csillagászat* című könyvében [1]: „A planetárium feladata éppen az, hogy állandó és folyamatos informátor legyen. Ne múzeum, hanem élő intézmény, amely a legújabb eseményeket tükrözi és a legaktuálisabb kérdésekre reagál. Összekötő híd a kutató csillagász és a nagyközönség között. Mert a planetárium szakmai, tartalmi töltését a kutató csillagászat klasszikus és modern eredményei adják. Ezért is alkalmas az iskolatípusok minden fokán a csillagászat, az égimechanika, a csillagászati földrajz és a navigáció, de az irodalom, a költészet, a történelem, a muzsika és a képzőművészet megjelenítésére is, továbbá minden tárgykörök természettudományos kapcsolatainak elemző feltárására.”

A szemlélet azóta sem változott, csak a technikai lehetőségek – a számítástechnika fejlődésével és széles körű elterjedésével – bővültek. Ma már sok ingyen letölthető és persze jóval több megvásárolható



Dömény Anita 2011-ben geográfus mester fokozatú oklevelet szerzett a Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Karán. 2014-ben ugyanitt földrajz-fizika szakos tanárként végzett. Jelenleg a pécsi Ciszterci Rend Nagy Lajos Gimnáziumában tanít földrajzot, s emellett a Nyugat-magyarországi Egyetem Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskolájának másodéves hallgatója. Kutatási témája a fényszennyezés mérése és modellezése.



Gyenyizse Péter földrajztanár, geoinformatikus. 1995 óta a PTE TTK Földrajzi Intézetében csillagászati földrajzi és térinformatikai tárgyakat oktat, a pécsi Zsolnay Kulturális Negyed planetáriumának előadója. Középiskolás kora óta foglalkozik csillagászati ismeretterjesztéssel, szakkörököt, távcsöves bemutatókat szervez. Több száz ismeretterjesztő előadást tartott, több tucatnyi csillagászati ismeretterjesztő cikke jelent meg. Hálzemoptikás digitális planetáriumokra készít műsorokat, filmeket.

csillagtérkép- és planetárium-szoftver segíti az égbolt megismerését, akár sík képernyőn, akár kupolára vetítve. Ha végigbongésszük egy ilyen program(csoomag) lehetőségeit, akkor azt látjuk, hogy alkalmas mindazon alapvető funkciók bemutatására, amit egy hagyományos, analóg planetárium tud nyújtani, azaz: megjeleníti a csillagokat, csillagképeket és a Naprendszer égitesteit; kivethető az égi koordináta-rendszerek legfontosabb elemei; továbbá beállítható az égbolt tetszőleges időpontra és megfigyelési helyre, valamint bemutatható az égbolt napi és éves mozgása is.

Miben tudnak többet a digitális planetáriumok, mint hagyományos társaik? A megjelenítésben, a szemléltetésben és a fejleszthetőségben! Például az Andromeda-galaxis nemcsak egy kis folt a kupolán, hanem egy virtuális távcsővel ki is nagyíthatjuk a kupolán a szoftverbe integrált fényképét. A digitális planetárium megtéveszti érzékszerveinket, így gömbnek érzékeljük a fejünk felett forgó Földet, miközben annak legfontosabb mozgásairól hallgatjuk a magyarázatot. Képzeltetlenei űrhajóba ülve közel repülhetünk a forgó Jupiterhez és megszemlélhetjük a Galilei-holdak által létrehozott nap- és holdfogyatkozásokat. Speciális, kupolára szerkesztett filmek segítségével részesei lehetünk a holdraszállásnak, vagy *Darwin* utazásainak. A programozásban és az animáció készítésben jártas oktatók, előadók akár saját igényeikre is szabhatják a szoftverek és a vetítőgép által nyújtott lehetőségeket (2. ábra).

A mai általános és középiskolák korú gyermekek már a Z-generációhoz tartoznak. Életük összefonódik az internettel és az okostelefonokkal. Információ-özönben élnek, néhány percenként új témát igényelnek, ezért őket nehéz rávenni, hogy a tananyag egy részével hosszabban is foglalkozzanak. Ezen gyermekek figyelmének lekötése, tanórai motiválása más módszerek és nagyobb energiát kíván a pedagógusoktól. A Z-generációs gyermekek figyelmé elsősorban a vizuális élményeken keresztül ragadható meg, ezért (is) kiváló eszköz a digitális planetárium több csillagászati és földrajzi tananyag oktatásához.

## Konferencia csillagászati ismeretterjesztők és tanárok számára

2015. november 30-án negyedik alkalommal szervezte meg az MTA Pécsi Akadémiai Bizottságának Csillagászati és Űrkutatási Munkabizottsága, valamint a Zsolnay Kulturális Negyed Planetárium a *Planetáriumok és bemutató csillagvizsgálók szerepe az oktatásban* workshopot a pécsi Zsolnay Negyedben. Ennek célja, hogy lehetőséget adjon az érintett egyesületeknek, szervezeteknek, vállalkozásoknak és természettudományokat oktató tanároknak arra, hogy bemutathassák a planetáriumuk, illetve bemutató csillagvizsgálójuk oktatási eszközeit, módszereit, valamint ismertessék a csillagászati oktatással kapcsolatos tapasztalataikat.

A rendezvénynek különös aktualitást adott, hogy 40 éve, 1975. november 30-án indult meg a pécsi planetárium élet hazánk első fix planetáriumában. A rendezvény nyitó eseményeként a planetárium előterében kiállításra került Magyarország első planetárium vetítőgépe mint műszaki-történelmi emlék.

Ezen a workshopon ismertette a tevékenységét több csillagvizsgáló és kisplanetárium (Alsómocsolád, Debrecen, Nagykanizsa), illetve bemutatásra kerültek új digitális műsorok is (*Gyenyisz Péter, Hegedűs Tibor, Kolláth Zoltán*). Több oktatásmódszertani előadás is elhangzott, például *Szűcs László* (Kecskeméti Planetárium) a látvány és a tartalom egyensúlyáról beszélt a tudományos ismeretterjesztésben. *Nuspl János* (MTA CSFK) a planetáriumok és bemutató csillagvizsgálók virtuális kulturális térbe integrálásával kapcsolatos tapasztalatait osztotta meg a hallgatósággal. *Forgács Balázs* (Utazó Planetárium) részletesen ismertette az általános és középiskolákban szerzett tapasztalataikat. Eszerint a diákok szeretik a „pörgős”, látványos műsorokat. Az így átadott érdekes jelenségeket megjegyzik, de az adatokat nem, hacsak nem valami meghökkentő dologról van szó. Az előadásokba beilleszthető néhány „lassabb” rész is, amikor mélyebb magyarázatokra is sor kerülhet. Érdekességként kiemelte, a tanárok általában azt kérik, hogy a műsor ne legyen túl szak-

2. ábra. Néhány példa a digitális planetáriumokban bemutatható objektumokra. Balra: csillagképek figurális ábrázolása és a koordináta-rendszerek vonalai (Stellarium szoftver); középen: a Jupiter és Io holdja (Nightshade szoftver); jobbra: a Lófej-köd és környéke (World Wide Telescope szoftver).



mai, ezzel szemben a diákok sokszor mélyebb tartalomra vágyanak. *Dömény Anita* fizika-földrajz szakos középiskolai tanár (Ciszterci Rend Nagy Lajos Gimnáziuma, Pécs) részletes elemzést végzett a digitális planetáriumok középiskolai földrajz és fizika tananyaghoz való kapcsolhatóságáról, illetve kérdőíves felmérést arról, hogyan vélekednek a diákok a planetáriumban hallottakról. Alább ezt részletesen ismertetjük.

## A planetárium kapcsolódása a középiskolai földrajz- és fizikaórák témáihoz

Földrajzóra keretében planetáriumi látogatásra a 9. osztályos első tananyag, a *Föld kozmikus környezete* kínál lehetőséget. E témakör során a diákok a csillagos égbolt jelenségeiről, a Naprendszer tagjairól, az űrkutatásról és a földi térben és időben való tájékozódásról szereznek információkat. Mindezek egyszerű kiegészítője a planetáriumi előadás, ami az égitestek szemléltetése mellett a csillagászatban használatos gömbi koordináta-rendszer egyes elemeinek (például égi egyenlítő, horizont, ekliptika, tavaszpont) megértését is elősegíti.

Az emelt szintű földrajzérettségire való felkészülést is kiegészítheti a planetáriumi látogatás. A diáknak az emelt szintű érettségien csillagászat témában – többek között – példák alátámasztva értelmeznie kell a csillagképek látszólagosságát, a Hold felszíni hőmérsékletének és légkörhiányának kapcsolatát, magyaráznia kell a törpebolygók és üstökösök kialakulását, valamint mozgásuk jellemzőit.

A fizika tantárgy tanítása során is több alkalom kínálkozik planetáriumi látogatásra. A gimnáziumi fizika kerettanterv „A” változata szerint a csillagászati témakör először 9. osztályban kerül elő. A planetáriumi vetítés ekkor az Univerzum tér- és időméreteinek összevetését, valamint a GPS és Nap segítségével történő helyzetmeghatározás megértését segítheti elő. E tanterv szerint a diákok 11. osztályban négy csillagászati témával találkozhatnak. A Naprendszerről való ismeretszerzés közben megtanulják a különbséget a holdfázisok és a holdfogyatkozás kialakulása között, megértik a bolygók fizikai viszonyait, légköre és felszíne közötti kapcsolatot. A planetáriumok számára új és talán kihasználatlan lehetőségként kínálkozik, hogy a kerettanterv szerint a diákoknak tudniuk kell kritikai elemzést adni az űrben játszódó fantasztikus filmek fizikai tartalmáról. A csillagokról szóló leckében a csillagok méretviszonyainak és energiatermelésének megértése mellett a diákok előtti feladatként áll „a világunkban zajló folyamatos változás gondolatának elfogadása a csillagok fejlődésének kapcsán”, valamint a „földi anyag és a csillagkeletkezési folyamat közötti kapcsolat átélése”. Az űrkutatás alapvető eszközeinek, fő törekvéseinek áttekintése és az emberiség fejlődésében betöltött szerepe mellett a diákoknak tudniuk kell érvelni a magasabb rendű értelem egyedi mivolta mellett és ellen, valamint mérlegelniük kell a Föld elhagyásának lehetőségét, és át kell látniuk az emberiség kényszerét és felelősségét ezzel

kapcsolatban. Az Univerzum szerkezetéről és keletkezéséről szóló tananyagrészen a diákoknak olyan fogalmi kapcsolatokat kell megérteniük, mint a tágulás és a kezdet, a tér és idő, vagy az önmagában nem létező és a mindennapi életben használt idő.

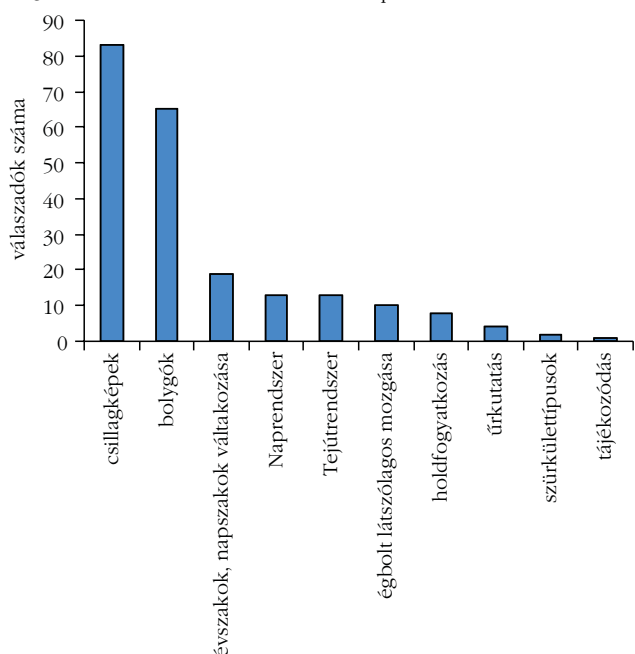
A gimnáziumi fizika kerettanterv „B” változata szerint a diákoknak csillagászat témakörben 9. osztályban a Kepler-törvényeket és a gravitációs erőtvényt, valamint 11. osztályban az általános leíró csillagászat alapjait (égitestek, Naprendszer, csillagrendszerek, a táguló Univerzum stb.) kell megtanulniuk [2].

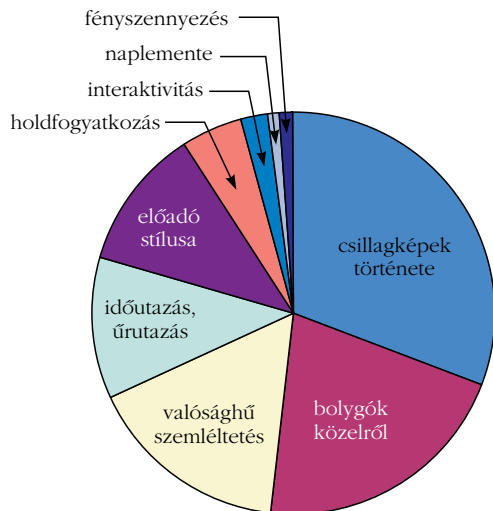
## Tanulói tapasztalatok a földrajzórai planetáriumi látogatásról

A pécsi Ciszterci Rend Nagy Lajos Gimnáziumában hagyományak számít a tanórai keretekben történő planetáriumlátogatás. Az előadás és vetítés során a gyerekek megismerhetik és valóságosan megtapasztalhatják a nappalból éjszakába való átmenet jellemzőit, az aktuális éjszakai égbolton látható jelenségeket különböző földrajzi hosszúságokon, a tájékozódáshoz szükséges alapvető információkat, az égitestek látszó járását és azok mozgásának jellemzőit, Naprendszerünk tagjainak főbb tulajdonságait, valamint galaxisunk alapvető jellemzőit. A földrajzórai planetáriumi látogatás eredményességét és tapasztalatait az iskolában tanuló, az adott tanévben planetáriumi látogatáson részt vevő 9. évfolyamos diákok körében vizsgáltuk. A hat kérdésből álló kérdőívet 109 diák töltötte ki.

Az első kérdéssel azt kívántuk felmérni, hogy mire emlékeznek a diákok két hónap távlatából a planetáriumi előadás során elhangzott információk közül (3. ábra). A megkérdezettek leginkább a csillagképekről és a bolygókról elhangzott információkra emlékez-

3. ábra. Mire emlékeznek a diákok a planetáriumi előadásból?





4. ábra. Mi tetszett legjobban a diákoknak a planetáriumi előadásban?

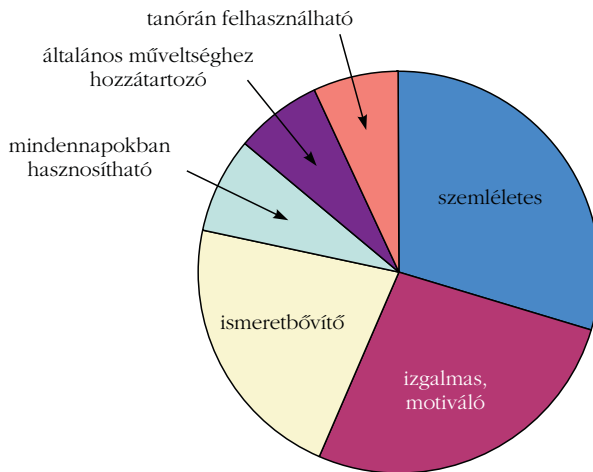
nek, a különböző mozgásokat (például a Nap és az égbolt látszó mozgása) csupán a diákok 15-20%-a tudta felidézni.

A második kérdéssel a diákok preferenciáját mértük fel: meg kellett nevezniük, hogy mi tetszett nekik legjobban az előadásban (4. ábra). A diákok nagyjából fele leginkább a csillagképekről szóló történeteket és a bolygók közelről történő megismerését élvezte. 15%-uk a valóságghű szemléltetést, 10%-uk az időbeli és térbeli utazást, valamint az előadó érthető és egyben szórakoztató stílusát emelte ki.

A harmadik és negyedik kérdés a látogatás hasznosságáról alkotott tanulói véleményt mérte. Arra a kérdésre, hogy visszaemlékezett-e tanulás közben vagy dolgozatírásnál a planetáriumban hallottakra és látottakra, a diákok körülbelül 70%-a igennel felelt.

A diákok körülbelül negyedének megítélése szerint a planetáriumi látogatás azért hasznos, mert szemléletes, negyede szerint azért, mert izgalmas és motiváló, 20%-uk szerint azért, mert új, kiegészítő információkat szerezhetnek. Kiseb arányban vannak azok, akik szerint a planetáriumban szerzett információk a mindennapokban használhatók, az alapműveltségbe illeszthetők, illetve tanórákon felhasználhatók (5. ábra). Két diák úgy gondolja, hogy a planetárium a városi gyerekeknek hasznos, mert így ők is láthatják a fényszennyezéstől mentes égbolt jelenségeit.

A hatodik kérdése adott válaszokból kiderült, hogy a 109 diák közül – a tanórai planetáriumi látogatás óta – heten voltak a Zsolnay Kulturális Negyedben vala-



5. ábra. Miért volt hasznos a planetáriumi látogatás?

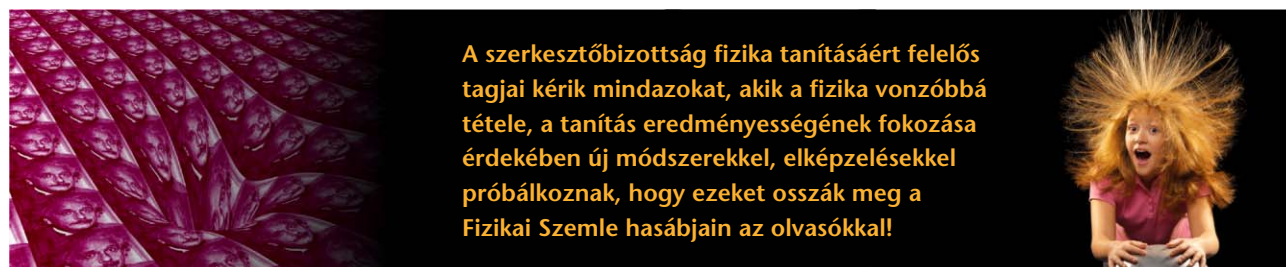
milyen tudományos-ismeretterjesztő programon, többségük ismét planetáriumban, néhányan pedig más ismeretterjesztő előadáson. A planetáriumi látogatás hatására a diákok 20%-a szívesen elmenne földrajzóra keretében éjszakai csillagnézésre vagy távcsöves bemutatóra, néhány gyerek csillagászati előadásra, fotókiállításra vagy ismételten planetáriumba.

## Záró gondolatok

Hova lehet vinni planetárium látogatásra az érdeklődő általános és középiskolás osztályokat? Hazánkban jelenleg három analóg planetárium (Budapest, Kecskemét, Eger) és mintegy tucatnyi digitális planetárium működik, de az utóbbiak száma évről évre nő. Ma ilyen berendezésekkel találkozunk Budapesten (ELTE TTK), Pécsen (Zsolnay Kulturális Negyed), Bakonybélben (Pannon Csillagda), Szombathelyen (NyME TTK), Mosonmagyaróváron (FUTURA), a Zselici Csillagparkban, Debrecenben (Agora) és Alsómocsoládon is. A fix planetáriumokon kívül több „utazó” planetárium is járja az országot. Ha ezek elérhetetlennek tűnnek, akkor minden tanárkollégának ajánljuk az internetről ingyenesen letölthető szoftverek (például a Stellarium) használatát a tanórákon, amelyekkel a planetáriumi élmény részben pótolható.

## Irodalom

- Schalk Gyula: *Planetárium és csillagászat*. Gondolat Kiadó, Budapest (1977) 13.
- [http://kerettanterv.ofi.hu/03\\_melleklet\\_9-12/index\\_4\\_gimn.html](http://kerettanterv.ofi.hu/03_melleklet_9-12/index_4_gimn.html)



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



# ELLENÁLLÁSOKBÓL VAGY KONDENZÁTOROKBÓL ÁLLÓ HÍDKAPCSOLÁS EREDŐJE

Légrádi Imre  
Sopron

Az 1. és 2. ábrán látható hídkapcsolások  $A$  és  $B$  pontjai között érvényesülő ellenállásérték  $R_{AB}$ , illetve kapacitásérték  $C_{AB}$  a szokásos számítások végrehajtásával egyetlen képlet formájában is megkapható. Ezt a nagyon egyszerű megjelenésű végképleteket mutatjuk be az alábbiakban.

(A mellékelt ábrákon is látható görbe nyilak a képletek levezetéséhez használható feszültségösszegzés sorrendjét irányítják.)

Az 1. ábra ellenállásokból álló hídja esetén a következő összefüggések írhatók fel.

A bal oldali hurokban

$$I_1 R_1 + I_3 R_3 + I_5 R_5 = 0,$$

a jobb oldali hurokban

$$-I_3 R_3 + I_2 R_2 + I_4 R_4 = 0.$$

A  $C$  csomópontban

$$I_1 - I_2 - I_5 = 0,$$

a  $D$  csomópontban

$$I_5 + I_4 - I_3 = 0,$$

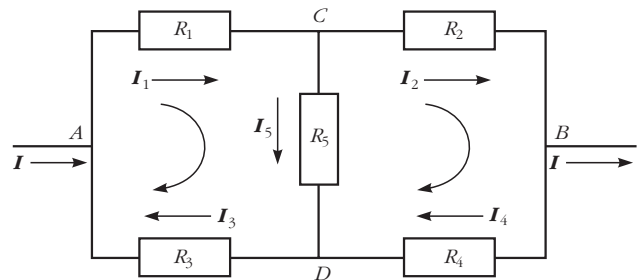
a  $B$  csomópontban

$$I_2 - I - I_4 = 0.$$

Az  $A$  pontban befolyó és a  $B$  pontban kifolyó áram  $I$  erősségét, mint paramétert kezeljük, így a fenti öt, egymástól független egyenlet elegendő az öt ismeretlen áramerősség meghatározásához.

Egy lehetséges lépéssorozat a következő: a  $C$  valamint a  $B$  csomóponti egyenletek összeadásával kapjuk, hogy

$$I_1 = I + I_4 + I_5,$$



1. ábra. Ellenállásokból álló hídkapcsolás.

a  $D$  csomóponti egyenletből pedig

$$I_3 = I_4 + I_5.$$

Ezeket felhasználva, az egyenletrendszerből a következő két ágbeli áramerősséghez jutunk:

$$I_4 = -\frac{R_1 R_5 + R_2 (R_1 + R_3 + R_5)}{R_5 (R_1 + R_3) + (R_2 + R_4) (R_1 + R_3 + R_5)} I,$$

$$I_5 = \frac{R_2 R_3 - R_1 R_4}{R_5 (R_1 + R_3) + (R_2 + R_4) (R_1 + R_3 + R_5)} I.$$

Ezek visszahelyettesítésével eljutunk a keresett  $R_{AB}$  eredő ellenállást megadó összefüggéshez, amely alakilag még bonyolult. Szerencsére, türelmet igénylő, de egyszerű további alakítással végül is szerény külsejű törtet kapunk az eredő számára hídkapcsolásunk esetén.

$$R_{AB} = \frac{R^{(3)}}{R^{(2)}}, \text{ ahol}$$

$$R^{(3)} = R_1 R_2 R_3 + R_1 R_2 R_4 + R_1 R_3 R_4 + R_1 R_3 R_5 +$$

$$+ R_1 R_4 R_5 + R_2 R_3 R_4 + R_2 R_3 R_5 + R_2 R_4 R_5 \text{ és}$$

$$R^{(2)} = R_1 R_2 + R_1 R_4 + R_1 R_5 + R_2 R_3 +$$

$$+ R_2 R_5 + R_3 R_4 + R_3 R_5 + R_4 R_5.$$

A kondenzátorokból álló híd (2. ábra) esetén, ha az  $A$  és  $B$  pontokban a hidat egy megfelelő forrásfeszültségű áramforrásra kapcsoljuk, akkor az öt kondenzátor együttese  $Q$  nagyságú elektromos töltést fogad be és egyetlen kondenzátornak tekinthető, amelynek kapacitását  $C_{AB}$ -vel jelöljük. A 2. ábra szerinti  $C_1, C_2, C_3, C_4$  és  $C_5$  kapacitásértékű kondenzátorokban a feltöltődés után  $Q_1, Q_2, \dots, Q_5$  nagyságú elektromos töltés alakul ki, és feszültségeik

$$\frac{Q_1}{C_1}, \frac{Q_2}{C_2}, \dots, \frac{Q_5}{C_5}$$



Légrádi Imre a soproni Széchenyi István Gimnázium nyugalmazott fizika-matematika szakos tanára, a város díszpolgára. Tanári munkájának elismeréseként számos kitüntetést, köztük Rátz Tanár Úr Életműdíjat kapott.

értékűek lesznek, az ábrán jelzett polaritással. A teljes hídkapcsolás eredő  $C_{AB}$  kapacitása és a benne tárolódó  $Q$  töltés

$$U_{AB} = \frac{Q}{C_{AB}}$$

kapocsfeszültséget határoz meg.

A  $C_{AB}$  kapacitásérték meghatározásához mindenképp először meg kell határoznunk az egyes kondenzátorok  $Q_1, Q_2, \dots, Q_5$  nagyságú töltéseit, pontosabban azt, hogy ezek mekkora részét képezik a kapcsolásba bevitt teljes  $Q$  töltésnek.

A kapcsolás két háromszögében, a bejelölt irányban haladva, összegezzük a feszültségeket, illetve a töltés eloszlását az egyes elágazási pontokban:

$$\frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_5}{C_5} - \frac{Q_3}{C_3} = 0,$$

$$\frac{Q_2}{C_2} - \frac{Q_4}{C_4} - \frac{Q_5}{C_5} = 0,$$

$$Q_1 + Q_3 = Q,$$

$$Q_2 + Q_4 = Q,$$

$$Q_1 = Q_2 + Q_5.$$

Ezekből  $Q_1$ -re és  $Q_5$ -re a következő egyenletrendszert írhatjuk fel:

$$\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_3}\right)Q_1 + \frac{1}{C_5}Q_5 = \frac{1}{C_3}Q,$$

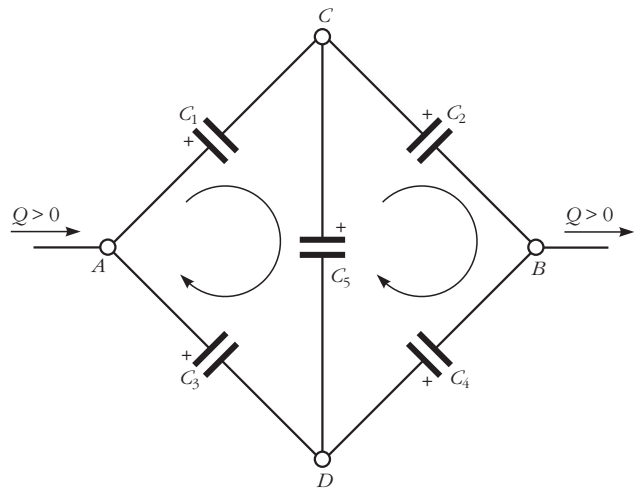
$$\left(\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_4}\right)Q_1 - \left(\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5}\right)Q_5 = \frac{1}{C_4}Q.$$

Ennek megoldásai az alábbiak:

$$Q_1 = \frac{\frac{1}{C_4 C_5} + \frac{1}{C_3} \left(\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5}\right)}{\frac{1}{C_5} \left(\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_4}\right) + \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_3}\right) \left(\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5}\right)} Q,$$

illetve

$$Q_5 = \frac{\frac{1}{C_2 C_3} - \frac{1}{C_1 C_4}}{\frac{1}{C_5} \left(\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_4}\right) + \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_3}\right) \left(\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5}\right)} Q.$$



2. ábra. Hídkapcsolás kondenzátorokból.

Hídkapcsolásunk  $A-B$  pontjai között jelentkező eredő kapacitását keresve, szükség van az  $U_{AB}$  feszültségre, amelyet például a felső ág két kondenzátorának soros kapcsolásából kaphatunk meg:

$$U_{AB} = U_1 + U_2 = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2}.$$

Itt  $Q_2 = Q_1 - Q_5$  felhasználásával hozzájutunk  $U_{AB}$ -hez, illetve a keresett  $C_{AB} = Q/U_{AB}$  kapacitásértékhez. Az ebben szereplő „szörnyű” törtalakzatokat közös nevezőre hozással, megfelelő bővítéssel azután a következő „szelíd” alakra hozhatjuk:

$$C_{AB} = \frac{C^{(3)}}{C^{(2)}}, \text{ ahol}$$

$$C^{(3)} = C_1 C_2 C_3 + C_1 C_2 C_4 + C_1 C_2 C_5 + C_1 C_3 C_4 + C_1 C_4 C_5 + C_2 C_3 C_4 + C_2 C_3 C_5 + C_3 C_4 C_5 \text{ és}$$

$$C^{(2)} = C_1 C_3 + C_1 C_4 + C_1 C_5 + C_2 C_3 + C_2 C_4 + C_2 C_5 + C_3 C_5 + C_4 C_5.$$

A fenti képletekkel könnyen kiszámítható eredő értékek – természetesen – nem csupán önmagukért valók. A gyakorlatban a kapcsolás egyes ágaiban folyó áramok erősségét, illetve az egyes kondenzátorok feszültségét, töltését kell meghatároznunk. Ezekben az esetekben is előnyös, hogy először ki tudjuk számítani a teljes híd eredő ellenállását, illetve kapacitását, mert ezzel könnyíteni lehet az említett részadatok kiszámítását.



**Az Eötvös Társulat  
főnt van a **facebook**-on!**



<https://www.facebook.com/pages/Eötvös-Loránd-Fizikai-Társulat/434140519998696?fref=ts>

# Kovács László: GYÖRGYI GÉZA

## – EGY KIVÉTELES ELMÉLETI FIZIKUSI ÉLETPÁLYA

Magyar Tudománytörténeti és Egészségtudományi Intézet Budapest, 2016

„Learattuk itt a termést rég;  
Mikor lesz ott aratás elég?  
Arató katonák! Mikor lesz elég?”

Ezt írta 1914 őszén *Békássy Ferenc*, alig néhány héttel azután, hogy az utolsó lehetséges alkalommal hazajött Cambridge-ből, ahol 1911-től a King's College történettudomány-szakos hallgatója volt. Az angolul és magyarul egyaránt verselő fiatalember Anglia eleven szellemi életének akkori formálói közé tartozott. Tagja volt a Cambridge Egyetem legkiválóbb diákjait tömörítő zártkörű irodalmi klubnak, az Apostolok Társaságának (amely társaságnak éppúgy húsz évesen lett tagja, mint annak idején *J. C. Maxwell*). *Babits*, *Kosztolányi*, *Tóth Árpád* elismeréssel szóltak a 22 éves költő és gondolkodó teljesítményéről.

Békássy Ferenc hazajött, hogy fegyverrel is védelmezze hazáját, és 1915 nyarán, 22 évesen elesett a bukovinai harcokban, A nagy életmű ígéret maradt, további alakulása megjósolhatatlan. Azt viszont megtehetjük, hogy a magyar költészet nagyjainak művei közül gondolatban elhagyjuk mindazt, ami 22 éves koruk után keletkezett. Könnyen elvégezhető feladat, és érdekes eredményre vezet. *Kölcsey Himnusz*a, *Vörösmarty Szózata* nélkül lennének és a *Nemzeti dal* sem született volna meg. A művészet, a tudomány bármely területén vizsgálhatnánk az alkotó életkorának szerepét, de sehol nem olyan áttekinthetően, mint a költészetben.

A magyar fizikusok közül *Zemplén Győző* volt az, aki Békássyhoz hasonlóan visszatarthatatlanul került a tűzvonalba és esett el 1916-ban. Igaz, 36 éves volt, de feltehetően eredményeinek, alkotó munkájának kezdetén. Ugyancsak harmincas évei közepén halt meg *Schmid Rezső* és *Gerő Loránd*, akiknek molekula-spektroszkópiai munkássága a sikeresnek indult, de félbemaradt életmű szomorú példája.

*Györgyi Géza* a járványos gyermekbénulás következtében került súlyos állapotba harminc éves korában. Hatalmas akaraterővel elérte, hogy bottal, mankóval járni tudott, és alkotó fizikus maradhatott. A küzdelem a betegséggel 43 éves korában öngyilkossággal ért véget. E bonyolult életnek és a belőle született műnek a bemutatására vállalkozott *Kovács László*.

A könyv első fele Györgyi Géza életét és munkásságát tekinti át, nagyon jó felépítésben. Először megismerkedünk a korszakkal, egy katolikus orvos család mindennapjaival a 20. század harmincas-negyvenes éveiben. Ebben a fejezetben 1948-ig alakul a család-

történet, Géza érettségijének évéig, noha mindeddig csak feltételezzük, hogy iskolába is jár, erről ugyanis alig esik szó. A következő 25 oldal viszont az iskolákról szól, döntő súllyal a Budai Ciszterci Szent Imre Gimnáziumról és az ott eltöltött nyolc évről. Jól sikerült fejezet ez, az 1941 és 1949 közötti túlságosan is változatos időszakról és benne egy nagy hatókörű budai gimnázium összefogott, de láttató ábrázolásával. Az önképzőkörben, cserkészletben, de még a színjátszó körben is aktív Géza jól érzi magát ebben az iskolában. Mindenek előtt a kiváló felkészültségű, nevelésnek élő tanárok miatt. Külön érdekesség, hogy a vallástant *Zemplén György*, a fizikus Zemplén Győző fia tanította. Géza megtalálta helyét a szerzetesek gimnáziumában, de az államosított iskolában is beválasztották társai a Diákszövetség vezetőségébe régi osztálytársaival, barátaival együtt, akiknek neve máig ismerősen cseng: *Abody Béla*, *Latinovits Zoltán* és *Vajda Miklós*.

*Szegő Károly* sorait olvashatjuk a fejezet végén: „Györgyi Géza gimnáziumi tanulmányait a budai Ciszterci Gimnáziumban kezdte meg, ahol beleszeretett a humán tudományokba. Valószínűleg karrierje ebbe az irányba vitte volna, ha nem úgy adódik, hogy a gimnázium utolsó két évében *Kunfalvi Rezső* lett a fizikatanára, aki más pályára állította. Györgyi Géza, megtartva szeretetét a humán tudományok iránt, a fizikára adta a fejét.”

Szorosan kapcsolódnak az iskolai évekkal foglalkozó fejezethez a visszaemlékezések. Egyre nehezebb visszaemlékezőket találni, de a szerzőnek sikerült fontos tanúkra bukkanni. Így lesz az iskolaévekkel foglalkozó rész a leggazdagabb, itt kerül Györgyi Géza alakja a legközelebb az olvasóhoz. A kézirat előkészítése során szerzett információk, a jól felépített interjúk eredményesnek bizonyultak.

Hasonlóképpen építkezik az egyetemi évekről szóló fejezet. Az egyetemi tanulmányok azonban egyirányúak, az egymást követő szemeszterek kevésbé romantikusak, mint a gimnáziumi évek, az egyetemi hallgató nem kerül annyira közel az olvasóhoz, mint a gimnazista. Továbbá az ötvenes évek egyeteme nem őrzött meg hallgatóiról a leckekönyvön kívül egyéb adatokat, emlékeket (ami az éberség akkori fokán nagy szerencse volt, de megnehezítette a dokumentáláshoz szokott szerző dolgát).

Ahogy az egyetemi tanulmányok a diplomához közelednek, úgy kap teret a kutató elfoglaltsága, ami az olvasó erőpróbája. Hiába a szerző minden igyekezete, az energia-impulzus tenzor vagy a csoportelmélet ne-

hezen emészthető része az elmondottaknak. Persze a szakma mindenütt a szakmabeliek ügye, de általában nem annyira áthidalhatatlanul, mint az elméleti fizikában (a matematikáról pedig szó se essék!).

A könyv életrajzi része mindinkább összeolvad a tudományos munka bemutatásával. Még van egy sok képpel illusztrált rövid fejezet a házasságról és 1956-ról, majd a továbbiakat a tudományos témák és eredmények egymásutánja állítja elénk. 13 oldalt kap az energia-impulzus tenzor. Az *Elméleti magfizika* könyvről bebizonyosodik, hogy a diszciplína lényegét foglalta össze, évekre szólóan jól használhatóan. A fénykvantumok statisztikája ígéretes, de ideológiai gyanakvások miatt nem folytatható kísérlet a fotonokkal számolásra.

Óvatos csoportelméleti alapozás után kerül sor Györgyi Géza és a csoportelmélet kapcsolatára, majd alkalmazásként a Kepler-probléma tárgyalására. Természetesen kapcsolódik ehhez Györgyi legfontosabb eredményeinek felsorolása, annak pontos megfogalmazása az akadémiai doktori fokozat elnyerésére benyújtott értekezés téziseiben. És ha már elérkeztünk a tudományos teljesítmény összefoglalásához, természetesen, hogy a külföldi tanulmányutak, konferenciák, a tudományos közéleti tevékenység is sorra kerülnek. A tudományos pályaképhez hozzátartozik az egyetemi doktorátus, a kandidátusi és az akadémiai doktori fokozat megszerzésének története, amely történet elsősorban a korszakot jellemzi. Az egyetemi oktatásban betöltött szerepe viszont Györgyi Géza személyiségének meghatározó tulajdonságaival függ össze – a dolgok minél mélyebb megértésére törekvéssel és az empátiával. Ezekből következtek a világszerte megfogalmazott és a hallgatóság igényeire érzékenyen figyelő előadásai, jegyzetei.

Az életmű összeállt Kovács László könyvében, miközben Györgyi Géza életének utolsó 13 évéről nem esett szó. Pontosabban itt-ott egy-egy bejegyzés utalt a betegsége és ígérte a bővebb beszámolót. Ha utána gondolunk, ez nem történhetett másképp, hiszen a mindennapi élet és a napi munka kapcsolata lényegesen megváltozott, miközben a könyveken, a fordításokon, a tudományos közleményeken ez a változás nem hagyhatott nyomot. A Heine–Medin-kór harminc éves embert támadott meg, és a gondos kezelés, az erős akarátú együttműködés ellenére az állandósult állapotban járni csak mankó és bot együttes használatával sikerült. A könyv tucatnyi oldalt fordít e helyzet ábrázolására, a család, a barátok, a munkatársak együttműködésének bemutatására. A gimnáziumi évek elemzése után most másodszer érezhetjük azt, hogy közel kerültünk Györgyi Géza mindennapjaihoz, ám ez most nem az öröm forrása. A közelkép kialakítása érdekében a fiatalabb olvasónak utána kell

néznie, hogy mit jelentett egy Velorex használata, de a végső autós megoldásnak bizonyult Fiat 125 birtokában is állandóan tapasztalni kellett a függést a környezettől. Ezt a függést különösen rosszul viselte. A szerző nem bonyolódik találgatásokba az öngyilkosság okáról – lemond a végső indíték kiderítéséről, inkább rögzíti a feloldhatatlan ellentmondást: „Az élet minden területén állandó tökéletességre való törekvés és betegségével való folyamatos küzdelem felőrölték, végül súlyos lelki krízishez vezettek.”

A végső búcsú leírásával az életrajz befejeződött, ám oldalszám szerint a könyv felénél vagyunk. Igen, mert műfaját tekintve szuper monográfiáról van szó. Azért szuper, mert egy monográfiától nem várható el, hogy eredeti részleteket tartalmazzon könyvekből vagy egy szerzőpár teljes levelezését.

A könyv végén van egy 17 oldalas életmű-bibliográfia. De a szerző azt szeretné, ha a lexikális adatok mögött látnánk a hogyanit is. Györgyi fordításai közül igen sok jelent meg a *Magyar Fizikai Folyóiratban*, olyanok is, ahol a fordító nevét nem tüntették fel. Kovács László gondosságát dicsérem, hogy stílusjegyek, valamint a Wigner–Györgyi-levelezés alapján több esetben bizonyítani tudja a fordító személyét.

Györgyi imponáló tudománytörténeti ismereteibe is betekintést nyerhetünk cikkei révén. Kiemelkedő fontosságú esemény volt, amikor a

*Fizikai Szemle* olvasóinak bemutatta *Ortvay Rudolf* levelezését, legnagyobb terjedelemben *Wigner Jenővel* és *Neumann Jánossal*. A levelezés közreadását megelőzte egy kiterjedt levélváltás Wigner és Györgyi között. Az 1963-ban kezdődött levelezésből sokat megtudhatunk a Wigner-munkákat is hibátlanul és leleményesen fordító Györgyi érdeklődéséről, terveiről. Ezek a levelek a könyvben részben a fizikátörténeti munkák között találhatóak, a többi pedig függetlenként.

A levelezés egészének közlése irányítja arra figyelmünket, hogy jó az, ha valami maradéktalanul megjelenhet. Ezt érezzük a Györgyi Géza írásából válogató fejezetben, a *Jegyzetek a tudományos múlt értékeinek megbecsülése* olvasása közben is, a mondanivaló teljes birtoklásának öröme.

Sor kerül Györgyi Géza díjaira, a róla szóló megemlékezésekre és egy második generációs jelenségre, a Györgyi Géza-díjra, befejezésül pedig néhány róla szóló írásra.

Végeredményben van egy – Györgyi Géza életének, munkásságának számos területéről beszámoló – monográfiánk. Ha valamire kíváncsiak vagyunk, hamar választ kapunk az áttekinthető felépítésnek köszönhetően. És van ezen belül egy remek arányérzékkel megírt tudományos életrajz, amely nem kreál elméleteket a lehetőségekről, hanem leírja a megvalósultakat.

*Füstöss László*

## KITÜNTETÉSEK

Március 15-e alkalmából

*Buka Ágnes Anna*, a fizikai tudomány doktora, a Magyar Tudományos Akadémia Wigner Fizikai Kutatóközpontjának főigazgató-helyettese, a Szilárdtestfizikai és Optikai Intézet igazgatója, tudományos tanácsadó a magyar szilárdtest-fizikai kutatásokat meghatározó tudományos pályája, a tudománymenedzsment terén elért maradandó eredményei, valamint a fiatal tudósok utánpótlásának kinevelése érdekében végzett, odaadó oktatói és intézetvezetői munkája elismeréseként a Magyar Érdemrend Tisztikeresztje polgári tagozatát kapta.

*Fülöp Zolt*, a Magyar Tudományos Akadémia doktora, a Magyar Tudományos Akadémia Atommagkutató Intézete tudományos tanácsadója, volt igazgatója a nukleáris asztrofizika területén nemzetközi szinten is nagyra becsült kutatási eredményei, valamint a tudományos ismeretterjesztés és a természettudományos oktatás népszerűsítését szolgáló, sokrétű tudományos szervező tevékenysége elismeréseként a Magyar Érdemrend Tisztikeresztje polgári tagozatát kitüntetésben részesült.

*Kövér Akos*, az MTA doktora, az MTA Atommagkutató Intézete Atomfizikai Főosztályának vezetője, kutató professor emeritusa kiemelkedő, nemzetközileg is nagyra becsült atomfizikai kutatásai, a világ több nagy szinkrotronja mellett használt spektrométerek tervezésében játszott meghatározó szerepe, valamint a fiatal tudósok nevelése és a magyar atomfizika nemzetközi kapcsolatainak erősítése terén végzett elsőrendű munkája elismeréseként a Magyar Érdemrend Tisztikeresztje polgári tagozatát kapta.

*Radnóczy György*, az MTA doktora, az MTA Energiatudományi Kutatóközpontjának tudományos tanácsadója a nemzetközi szinten is nagyra értékelt, főként a szilárdtest-fizika és a transzmissziós elektronmikroszkópia területén kimagasló, több jelentős európai uniós kutatás-fejlesztési projektet is eredményező tudományos munkájáért a Magyar Érdemrend Tisztikeresztje polgári tagozata kitüntetésben részesült.

*Tóth Attila Lajos*, az MTA Energiatudományi Kutatóközpontja Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézete tudományos főmunkatársa a Magyar Arany Érdemkereszt polgári tagozata kitüntetését kapta a pász-

tázó elektronmikroszkópia első számú hazai szaktekintélyeként végzett kiváló szakmai munkája, a módszer metodikájának és alkalmazásainak fejlesztésével kapcsolatos kutatásai elismeréseként.

A kitüntetetteknek ezúton is gratulálunk!

## Hevesi Endre-díj

A hagyományokhoz híven az idén is átadták a *Hevesi Endréné Kalmár Magda* által alapított Hevesi Endre-díjakat. Ebben azok az újságírók – indokolt esetben újságírói munkát végző szakemberek is – részesülhetnek, akik az előző évben a tudomány és a technika új lehetőségeinek, eredményeinek népszerű ismertetése érdekében a legtöbbet tették, illetve a legérdekesebb és közérthető magyarsággal fogalmazott cikkeket írták.



Az idei Hevesi Endre-díjasok: Hanula Zsolt tudományos újságíró (*Index*), Füstöss László fizikus (*Fizikai Szemle*) és Horváth András csillagász, a TIT Budapesti Planetárium volt igazgatója.

Az alapítvány kuratóriuma 2016-ban az egyik Életműdíjat *Füstöss Lászlónak* – aki az elmúlt nyolc évben szerkesztette a *Fizikai Szemlét* – ítélte oda.

Az ünnepélyes díjátadásra 2016. április 29-én, pénteken a Magyar Újságírók Országos Szövetsége Tánacsics termében került sor.

Gratulálunk és köszönjük, hogy öregbítette folyóiratunk hírnevét.

## VAN ÚJ A FÖLD FELETT

Keresd a [fizikaiszemle.hu](http://fizikaiszemle.hu) mellékletek menüpontjában!

Nézz meg!  
Töltsd le!  
Mutasd meg másoknak!  
Tanítsd meg diákjaidnak!

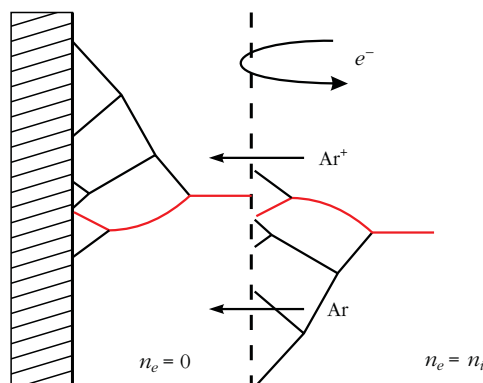


# EURÓPAI ÉRDEKESSÉGEK A *EUROPHYSICS NEWS* VÁLOGATÁSÁBAN (2015. szeptember–december)

## Új plazmadiagnosztikai módszer<sup>1</sup>

T. Trottenberg, T. Richter, H. Kersten: Measurement of the force exerted on the surface of an object immersed in a plasma. *Eur. Phys. J. D* 69 (2015) 91.

Lehetnek-e még titkai az energiatakarékos izzólámpa naponta sokszor ismétlődő bekapcsolásának? E lámpatípus érdekessége a fizikusok számára abban



A lámpaburkolat szélére érkező impulzusáram vázlatos ábrázolása.

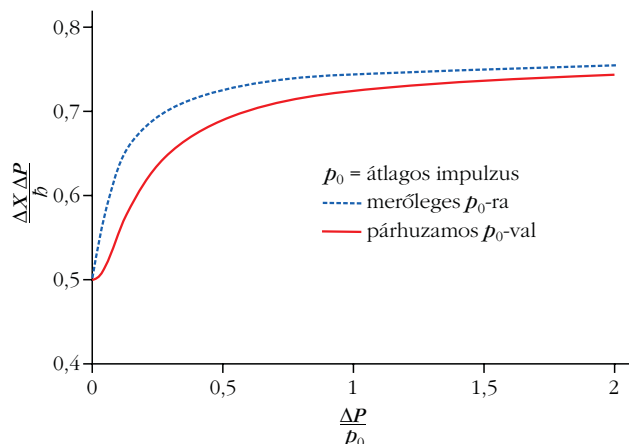
rejlük, hogy alacsony hőmérsékletű plazmát tartalmaz, azaz töltött ionok és elektronok keverékéből áll. A szerzők eljárást dolgoztak ki a plazmarészecskék által a lámpa belső falára gyakorolt nyomás növekedésének megmérése érdekében az izzó bekapcsolásakor. A méréssel szerzett információ fontos a plazma és a fal közötti kölcsönhatások megértésében, amelyet felületkezelésnél, vékonyréteges napelemek és mikrocsipek gyártásánál hasznosíthatnak. Ígéretes újfajta plazmadiagnosztikai eljárás dolgozható ki, amellyel a szokásos, elektromosan töltött mintákkal nem észlelhető hatások is tanulmányozhatók.

## Egy-foton tulajdonságok és a bizonytalansági reláció preparálása

G. Guarnieri, M. Motta, L. Lanz: Single-photon observables and preparation uncertainty relations. *J. Phys. A: Math. Theor.* 48 (2015) 265302.

A fotonok nagy pontosságú egyenkénti manipulációja iránti igények megnövekedésével a megfigyelhető mennyiségek kísérlethez igazodó, növekvő pontosságú leírására is szükség van. A szerzők az összes mérhető egy-fotonos mennyiséget a Pozitív Operátorértékű Mérések (POVM) kategóriájába sorolják, amellyel a rendelkezésre álló információval összeférhető valószínűségi eloszlások megszerkeszthetők.

<sup>1</sup> A július–augusztusi számban található.



A bizonytalansági reláció felnövekedése körkülárisan polarizált Gauss-állapotokra az impulzus irány szerinti szórásának kiterjedésével. A  $(\Delta P > 0)$  paraxiális határesetben  $1/2$  adódik.

A longitudinális (avagy zérus helicitású) fotonállapotok elnyomása a kiterjesztett Hilbert-térből a fizikai térbe történő vetítés megvalósulásaként értékelhető. A fizikai állapotok a Poincaré-csoport irreducibilis 1-spinű, nulla tömegű reprezentációi.

A POVM-ek természetes módon kaphatók meg, amennyiben a projekcióértékű mérések (PVM) a kiterjesztett Hilbert-téren definiált operátorokkal társíthatók. Ilyen operátorokat a tömeges 1-spinű részecskék relativisztikus leírását a fotonokhoz illetve nyerhetünk. Az eredmények azt mutatják, hogy az impulzussal és a helicitással társított PVM-ek nem változnak az illesztés során. Viszont a helyzet és a spin operátorai POVM-ekké alakulnak, ami eredendő elmosódottságukat tükrözi. A helyzet és az impulzus valószínűségi relációját, továbbá a spin valószínűségi eloszlását a szerzők a fizikailag fontos állapotok széles osztályán határozták meg, amellyel új, számszerűen jellemezhető és kísérletileg mérhető eredményeket kaptak.

## A szigetelő anyagok fejlesztése a keresztező szálak nedvesítésének szintjén

A. Sauret, F. Boulogne, B. Soh, E. Dressaire, H. A. Stone: Wetting morphologies on randomly oriented fibers. *Eur. Phys. J. E* 38 (2015) 62.

A folyadékok szálnedvesítési tulajdonságainak tanulmányozása révén a kutatók az üvegyapot tulajdonságainak javításában hasznosítható információkra jutnak.

A homokvárac látványos példáját adják annak, hogyan változtatja meg egy kevés folyadék hozzáadása a szemcsés anyagok tulajdonságait. Azonban a szálakból álló közegben véletlenszerűen orientált szálak nedvesedése továbbra is rejtélyes. Az üvegya-

potot alkalmazó építőipar számára releváns jelenség jobban megérthető két párhuzamos szál közé fogott csepp alakváltozásának vizsgálatából indulva. Vagy megmarad cseppformájának vagy hosszú, vékony folyadékoszlopként szétterül a szálak között. A szerzők azt bizonyították, hogy a szétfolyást három kulcsparaméter szabályozza: a szálak közé fogott folyadék mennyisége, a szálak irányítása és minimális távolságuk. A közelmúltban publikált megállapításaikat teljes mértékben kísérleti vizsgálataikból vonták le.

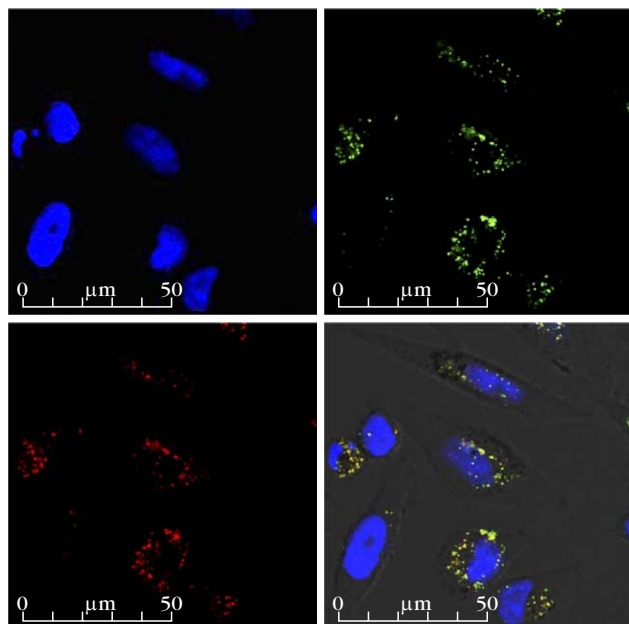
## Arany-gyémánt mikroeszköz hiperlokális rákkezésre

P.-Ch. Tsai, O. Y. Chen, Y.-K. Tzeng, Y. Y. Hui, J. Y. Guo, Ch.-Ch. Wu, M.-Sh. Chang, H.-Ch. Chang: Gold/diamond nanohybrids for quantum sensing applications. *EPJ Quantum Technology* 2(2015) 19.

Arany nanorudakat távvezérelt nanofűtésre lehet használni, amely során a megfelelő mennyiségű hő adják le a rákos sejtek kezeléséhez. A leadott hőmennyiséget a gyémánt nanokristályok hőmérsékleti szenzorként szabályozzák.

A kezelés szempontjából a biológiai molekulák pontos célbavétele nagy kihívást jelent a rákos sejtek változatos mérete okán. A szerzők javított módszere már korábban használt termikus rákterápiás technikákat kombinál. Megjavították a nanométeres skálán történő fűtés és hőmérséklet-érzékelés módját. Kémiai módszert ajánlanak az arany nanorudak hozzáragasztására a gyémánt nanokristályok felszínéhez, amellyel egy új biokompatibilis nanoeszközt állítottak elő. Ezzel lehetőség van az arany nanorudakra irányított közeli infravörös tartományban sugárzó lézerrel nagyon erő-

Konfokális fluoreszcencia-mikroszkópiával és acidotrop próbarészecskékkel végzett lokalizációs vizsgálatok kimutatták az élő HeLa sejtek lizoszómájába befogott részecskéket.

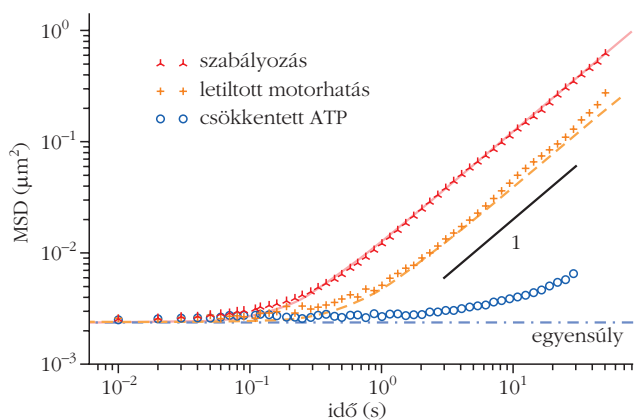


sen lokalizált hőleadásra. Egyidejűleg a gyémánt nanokristályokkal pontosan mérhető a hőmérséklet. A módszer újdonságát az adja, hogy bebizonyítja a gyémánt nanokristályokkal történő nagy felbontású és hiperérzékeny hőmérsékletmérés lehetőségét. A 10 és 100 nanométer közötti felbontóképesség révén a rákos sejteknek történt hőleadás mennyiségét folyamatosan követni, monitorozni tudják.

## Aktív meghajtású ingadozások élő sejtekben

E. Fodor, M. Guo, N. S. Gov, P. Visco, D. A. Weitz, F. van Wijland: Activity-driven fluctuations in living cells. *Eur. Phys. Lett.* 110(2015) 48005.

Az élő sejt állapota az állandó ATP bevitelből származó energiaáram hatására távol kerül az egyensúlyi állapottól. A sejtet alkotó anyag dinamikáját egyszerűen hajtják az egyensúlyi termikus ingadozások és a molekuláris motorok által generált aktív sztochasztikus erők.



A jelzőanyag négyzetes eltávolodása (MSD) élő anyagban.

Az eredendően nemegyensúlyi ingadozásoknak a tisztán termikus hatásoktól való elválasztására jelző részecskéket vittek csökkentett ATP-jű sejtekbe. A fluktuáció-disszipáció tétel (FDT) ellenőrzése során ezek a sejtek egyensúlyi viselkedésű referenciaként szolgálnak, amelyekben a jelző részecskéket a citoplazmát átszövő rugalmas citosontváz-háló lényegében helyhez köti. Ezzel szemben hosszú időskálán nyilvánvaló az FDT sérülése a kezeletlen sejtekben, vagy olyanokban, ahol a motorikus hatást szelektíven letiltották. A jelző részecskék helyzet-ingadozásaiból levonva a termikus járulékot, az aktív erőhatás spektrumát lehet elemezni. Végül a jelző részecskék elmozdulásában az irányított motorikus hatásra nem-Gauss-i „farok” megjelenése is kimutatható.

A megfigyelt ingadozásokat elméletileg olyan dinamikai modellel értelmezzük, amelyben a bezáró harmonikus potenciálból motorikus hatásra véletlenszerűen fellépő kitérések is bekövetkezhetnek. A modell révén számszerűsíthetők az aktív erőket jellemző időskálák és a létrejövő fluktuációk révén a rendszerbe betáplált energia mennyisége.

# 2016



Magyar Fizikus Vándorgyűlés

## Jövők és a fizika jövője

2016. augusztus 24–27.

Szeged, Biológiai Kutatóközpont

Plenáris előadások témáiból:

Az Extrem Light Infrastructure tudományos programja • Mágneses nanoszerkezetek vizsgálata elektronholográfiával • Paritássértés grafénben • A vasnál nehezebb elemek keletkezésének vizsgálata stabil és radioaktív nyalábokkal • A kvark-gluon plazma az elméleti fizikában • Maláriakutatás: szilárdtest-fizika vagy biofizika? • A statisztikus fizika alkalmazásai csoportos mozgás, döntések és hierarchikus hálózatok esetén • Gravitációshullám-asztrofizika – egy új korszak kezdete • Az optikai manipuláció lehetőségeinek kiterjesztése speciális alakú testek alkalmazásával

[http://titan.physx.u-szeged.hu/fizikus\\_vandorgyules\\_2016/](http://titan.physx.u-szeged.hu/fizikus_vandorgyules_2016/)



**Regisztrálj még ma!**

