

# 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. SCHRIEFER, 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 Gézától*, 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.