

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 ^4He 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 Chaikinnal* 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 össztintézeti 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 fajhőanomália 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 rendszereket azóta részletesen megfigyeltek pontkonktaktusokban, illetve atomi konktaktusok 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 ilusztris 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 NbSe₃. *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.