

MAGYAR ÖTLETEK ÉS HAZAI MEGVALÓSÍTÁSUK

HETVENÖT ÉVES A GYULAI-HARTLY EFFEKTUS; ÖTVENÉVESEK GYULAI TŰKRISTÁLY-MÉRÉSEI

Hartmann Ervin

a fizikai tudomány doktora, MTA Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet
hartmann@szfki.hu

Két, első látásra teljesen különböző mérés, megvalósításuk között negyed század telt el, mégis összefüggnek egymással. Gyulai Zoltán és Hartly Domokos a később róluk elnevezett effektust hetvenöt éve, 1928-ban publikálták. Gyulai tükristályos mérései ötven évvel ezelőtt, 1953-ban kerültek közlésre. Könnyen megérthetjük mindkettő kiindulási pontját Gyulai és Hartly (1928a) cikkének bevezető részéből:

„A kösön keresztül vitt pontos mérések azt mutatták, hogy a kristályok sokkal kisebb megterhelésre elszakadnak, mint az elméleti számítások alapján várható volna. Miután a kristályok legtöbb más tulajdonságaiban is nagy individuális eltérések mutatkoztak, [Adolf] Smekal bizonyos szempontokat állított fel, melyek alapján mind e jelenségek érthetőbbek lesznek. Smekal elmélete szerint a kristályok, melyeket a Röntgen-felvételek alapján szabályos rácyszerkezetből állónak gondolunk, valójában olyanszerű szerkezettel bírnak, mint egy téglafal, mely szabályos merev alkatrészek egy lazább halmozásból áll... Ezen felfogás szerint a kristályokban vannak kisebb-nagyobb számban kristályalkatrészek – ionok vagy molekulák – melyeknek kötése lazább, mint egy szabályosan elhelyezett alkatrészé és így ez másképpen viselkedik, mint egy szabályos kötésű alkatrésztz. ...

A kísérletek alapgondolata tehát a következő volt: Ha kristályok különböző tulajdonságai – a mi esetünkben a kristályok elektromos vezetőképessége – tényleg összefüggenek a Smekal-féle laza szerkezettel, úgy a kristályok vezetőképességében változást kell észlelnünk, ha az észlelt kristályban a laza helyek számát mesterségesen növeljük. Miután Smekal a kristályok elektromos vezetőképességét laza kötésű ionoknak tulajdonítja, ennél fogva a vezetőképesség növekedését várhatjuk, ha mi a laza helyek számát mesterségesen növeljük. Kísérleteink ezen várakozásunkat... teljesen igazolták.”

Kristályhibák

Gyulai a laza ionokról (németül *Lockerionok*-ról, mai szóhasználatnál kristály hibahelyekről) először 1926 körül Göttingenben hallott, s rögtön felötlött benne a fenti ötlet. Göttingenben azonban, ahol 1925-1926-ban ösztöndíjasként tartózkodott, másfajta mérésekkel volt elfoglalva, például az alkalihalogénidek fotovezetésének kvantumszerűségét vizsgálta. Az ötlet megvalósításának lehetőségét csak Szegedre való hazatérte után tudta kipróbálni. Mintegy egyhavi fizetésének megfelelő összegért még Németországban vett egy érzékeny elektrométert. Ez volt a kísérlet alapja. Hartly Domokos, az alkalma-

zott fizikai tanszék tanársegéde, segítette a mérések elvégzésében. *„Először egy improvizált berendezésben megpróbáltuk, hogy van-e effektus. ... A nyomást az első kísérletekben egy satuban csináltuk ... Mikor kiderült, hogy van effektus, hozzákezdtünk egy nyomóberendezést építeni. Ezt az intézet mechanikusa – Jeney – végezte. Pfeiffer ajánlkozott, hogy a nyomóberendezést megépíti. Ezt nem lehetett visszautasítani, de neki egy (olyan) elgondolása volt, amit én nem tartottam helyesnek, de ő úgy akarta. Meg is épült, de nem volt jó. Erre ő megharagudott, és én átalakítottam az én eredeti elgondolásom szerint, megcsináltuk, és jól működött. A méréseket Hartly végezte, nagyon precízen.”* – írja visszaemlékezéseiben Gyulai (1966). Egy alkalommal azt is elmesélte, hogy a precíz mérések véghezvitelében Hartlyt zenei érzéke, jó ritmusérzéke is segítette. Az igen kis áramokat ugyanis az elektrométer feltöltődéséből határozták meg, és a feltöltődési időt metronómmal mérték. Gyulaiék cikkük lábjegyzetében azt írják: *„A nyomókészülék elkészítéséért e helyen is megegyszerűsítettük köszönetünket fejezzük ki dr. Pfeiffer Péter e. ny. r. tanár úrnak.”* Cikküket így fejezi be: *„A méréseket a Természet-tudományi Alap adományából beszerzett eszközzel végeztük. Szeged, a F. J. T. Egyetem kísérleti fizikai intézete, 1928. július.”*

Gyulai és Hartly ezzel az effektussal cáfolták Abram F. Joffé (fiatal korában az első fizikai Nobel-díjas Wilhelm Conrad Röntgen tanársegéde Münchenben) azon két évvel korábbi megállapítását, hogy a Smekal-féle laza ionok nem léteznek. Gyulai és Hartly cikkükben megadták Joffé téves következtetésének okát is: Joffé és Zechnowitzer (1926) kísérleteiket 530-597 °C-nál végezték, ahol a kősónak a vezetőképessége aránylag nagy, míg ők kísérleteiket sokkal alacsonyabb hőmérsékleten, 40-50 °C-nál hajtották végre, és érzékenyebb árammérő berendezésükkel pregnansabban észlelték azokat az

áramugrásokat, melyeknek korábban Jofféék nem tulajdonítottak jelentőséget.

Gyulai cikkük kéziratát elküldte Adolf Smekalnak, aki ekkor Bécsben volt magántanár, sőt egy hétre Bécsbe is utazott, hogy személyesen is megbeszélhesse az eredményeket. Smekal kérésére a kéziratot elküldte a hallei egyetem egyik professzorának is, mivel éppen napirenden volt Smekal Halléba való kinevezése, és Smekalnak fontos volt annak bizonyítása, hogy elgondolását kísérletileg igazolták. A kézirat nyomtatásban mind magyarul, mind németül még 1928-ban megjelent. Érdemes felfigyelni arra, hogy Gyulai dolgozatait általában mind magyar, mind a nemzetközi folyóiratban is megjelentette.

A nagy tekintélyű Joffé – 1926-29-ben és 1942-45-ben a Szovjetunió Tudományos Akadémiájának alelnöke – azonban nem adta fel ellenkezését Smekal elképzelésével szemben. Gyulai-Hartly effektusának létezését bár elismerte, sőt megerősítette, az effektus magyarzatát azonban másban (a tértöltés elmozdulásában) vélte megtalálni egy 1930-as cikkében, melyben Hevesy György (a későbbi Nobel-díjas) diffúziós vizsgálataira is utal.

Gyulai még ugyanabban az évben egy magyar nyelvű cikkének korrektúrájánál a következő megjegyzést tette: *„A. Joffé egy a Zeitschr. f. Physik 62. kötet 11. és 12. számában (abgeschlossen am 3. Juli 1930, 730 o.) megjelent dolgozatban a mi nyomási effektusunkat a laza ion elmélettel szemben a polarizáció eltűnésével magyarázza. E felfogás helyességének eldöntésére szerintem egyelőre bizonyos kísérletekre van szükség. Már most meg lehet jegyezni, hogy a Joffé által proponált magyarázattal nem lehet megmagyarázni az itt közölt eltérést az Ohm törvényétől, továbbá az ionok leoldási munkájának csökkenését, mely jelenségről nemsokára a Zeitschr. f. Physikben fogok beszámolni.”* A vizsgálatokhoz a Széchenyi Tudományos Társaságtól

nagyobb összeget (1500 pengőt) kap 1930 nyarán. Nem a korábbi kísérleteit ismételi meg jobb körülmények között, hanem ellenkező oldalról közelíti meg a problémát. Míg korábbi munkájában a kristályrács szerkezete rosszabb lett az egyoldalú nyomásnál, most por alakú NaCl-ból pasztillát préselt, és azt vizsgálta, hogy miképpen változott a pasztilla elektromos vezetőképessége az újrakristályosodás (rekristallizáció) folyamata alatt. *„Az egyoldalú nyomás a kristály belső szabályos elrendezését rontja, és a folyamat nem játszódhatik le ionlazítás nélkül. Amíg tehát a helyükből kimozdított ionok stabil helyet nyernek, intenzívebb részt vesznek az áramban, mint különben. A pasztillánál pedig mindenoldalú nyomás mellett a nyomás hatására ionok, melyek más ionokhoz elég közel jutnak, hirtelen megkötteknek, és kisebb mértékben vesznek részt az áramban. Precízebben mindkét esetben a mozgékony ionok számának és mozgékonyságának a szorzata szenved növekedést, illetve csökkenést.”* 1932 márciusára készzen van a kézirat, melynek végén a következő összefoglalást teszi: *„... meg kell különböztetnünk a kristályban egy kiegyensúlyozott stabil állapotot és egy labilis állapotot, mely labilis állapot külső mechanikai hatások tartalmára és azok utóhatásaként áll elő a kristály belsejében. E labilis állapotban a vezetőképesség értéke túlnyomó részben a külső hatásoknak köszönheti eredetét és a stabil érték több ezerszerese lehet. Hogy a stabil állapotban az ún. laza ionoknak van-e szerepe a vezetésben, vagy kizárólag rácсионok közvetítik az áramot, Joffé és Hevesy értelmében: ez a kérdés továbbra is fennáll.”*

Ugyanabban az évben, Leningrádban Joffé munkatársa, A. W. Stepanow¹ (1933) megépít egy, a Gyulaiékéval teljesen azonos mérőberendezést, és megállapítja, 30 és 170

¹ Az orosz név átírásában az eredeti közlemény volt irányadó.

°C közt a pasztikus deformációnak hatása a kristályban folyó áram erősségére ugyanolyan jellegű, mint Gyulai és Hartlynál volt.

A Rockefeller Alap és a Széchenyi Tudományos Társaság segítségével Gyulai tovább folytatja vizsgálatait. Az egykristály és a pasztilla viselkedése közti hasonlóságok és különbségek magyarázatát a kristályosodási folyamat molekuláris magyarázatában véli megtalálni. Ezzel indultak el Gyulai Zoltán kristálynövekedési vizsgálatai. Jelentős kollegiális segítséget kapott az induláshoz Orván Egontól, akit Geoffrey I. Taylorral és Polányi Mihállal együtt a diszlokációelmélet megalkotójának tekint a világirodalom. Gyulai visszaemlékezéseiben (1966) így ír erről: *„Hozzá fordultam tanácsért, és elmondtam neki a megfigyeléseimet a periodikus élnövekedésről. Ő rögtön felismerte ennek jelentőségét, adott nekem egy csomó különlenyomatot, és ebben megismerkedtem az akkor aktuális irodalommal.”*

Az elsőség kérdése is felmerül már 1935-ben. Erich Schmid és Walter Moritz Boas (1935) a kristályplaszticitásról írt könyvükben a nyomás-effektust Joffé és Zechnowitzer (1926) nevével kapcsolták össze. Gyulai egyik munkatársával közösen írt cikkében mindjárt reagált erre, kimutatva elsőbbségét. Az igazi elégtételt viszont csak tizenöt évvel később kapta meg. Frederick Seitz (1950), aki 1962–1969 között az USA Nemzeti Tudományos Akadémiájának elnöke volt, így írt a legelőkelőbb fizikai folyóiratban, a *Physical Review*-ban: *„This effect was observed initially by Gyulai and Hartly at 38°C. It was first questioned by Joffé, who believed that it was the result of a type of piezoelectric effect. However, it was then confirmed by Stepanow, one of Joffé's co-workers.”*²

² „Ezt az effektust legelőször Gyulai és Hartly figyelte meg 38 °C-on. Joffé először megkérdőjelezte, azt hívén, hogy egy piezoelektromos típusú effektus eredménye. Később azonban Joffé egyik munkatársa, Stepanow igazolta.”

Az ötvenes évek a Gyulai-Hartly effektus reneszánszát hozták. Olyan patinás egyetemeken, mint az amerikai Yale foglalkoztak behatóan vele. Az ötvenes évek végén Gyulai körül ismét kialakult egy főleg fiatalokból álló kutatói gárda. Többen itthon is elkezdtek foglalkozni a nyomás-effektussal. Még közel két évtizeddel Gyulai halála után is született kandidátusi disszertáció, mely a nyomás-effektussal kapcsolatos (Tóth, 1986). Benne megtalálható a hivatkozási helyek nagy része. A világirodalom mind a mai napig nem felejtett el hivatkozni a Gyulai-Hartly effektusra (Golovin et al., 2002).

1955-ben Joffé meghívta Gyulait Leningrádba egy kongresszusra. Gyulai itt találkozott először Stepanow professzorral. A találkozáson igen örült annak, hogy láthatta, hogy Stepanow mérési görbéi megegyeztek az övéivel. Tehát huszonkét évnek kellett eltelténi ahhoz, hogy ez megtörténhessen, mivel Stepanow mérési görbéi hajdanában egy szovjet folyóiratban jelentek meg. Stepanow (1968), aki akkor már a SzuTA levelező tagja a közben Jofféról elnevezett leningrádi intézetben, mély részvétét fejezi ki Gyulai halálakor. Megjegyzendő, hogy a Joffé Intézetet ma a 2000-ben Nobel-díjat kapott Zsosz I. Alfjorov vezeti.

Tükrisztályok

Most visszatérünk az ezen cikk elején található első idézet első sorára: „A kőson keresztül pontos mérések azt mutatták, hogy a kristályok sokkal kisebb megerhelésre elszakadnak, mint az elméleti számítások alapján várható volna.” A mérések Joffé és petrográdi (mai elnevezéssel szentpétervári, korábbi elnevezéssel leningrádi) munkatársainak mérései voltak, amelyek kimutatták, hogy a NaCl kristályok szakítási szilárdsága $0,45 \text{ kp/mm}^2$ ($4,4 \times 10^6 \text{ N/m}^2$), míg az elméleti érték 200 kp/mm^2 ($1,96 \times 10^9 \text{ N/m}^2$). Az előbbieken láttuk, hogy a Gyulai-Hartly effektus részletes vizsgálata Gyulait a kris-

tálynövekedés felé irányította. A negyvenes évek elején megfigyelte, hogy speciális esetekben a kőso vékony túalakban is kikristályosodik. Kéziratát a kolozsvári egyetemen 1944 májusában fejezte be, de a háború miatt a cikk csak 1948-ban jelent meg.

Közben Gyulai a Budapesti Műegyetemre kerül. Itt az „*az ötletem jött, hogy lemérem a tükrisztályok szakító szilárdságát*”. Feltételezte ugyanis, hogy a speciális körülmények között nőtt tükrisztályok nagyon szabályos belső szerkezettel bírnak. „*A szakítási méréseket egy igen egyszerű berendezéssel mértük le. Tulajdonképpen egy gyakor nok kislány végezte a méréseket, de a berendezést én próbáltam ki. Ez a kislány igen megbízhatóan végezte a méréseket.*” Mintegy száz tükrisztály szakítási szilárdságát mérték meg. A legtöbb tükrisztály $10\text{-}20 \text{ kp/mm}^2$ ($9,8 \times 10^7 - 1,96 \times 10^8 \text{ N/m}^2$) szakítószilárdságot mutatott, ami jelentékenyen nagyobb, mint a makrokristályoknál kapott érték. A vékonyabb kristályok nagyobb értéket mutattak. A tükrisztályok szakítószilárdságának vastagságfüggését Gyulai (1954a) mutatta ki először a világon. „*Bár méréseink a nem egészen megbízható vastagság meghatározások miatt csupán közelítések, bizonyosra vehető, hogy a NaCl tükrisztályok reális szilárdsága sokkal nagyobb, mint a makrokristályoké és remélhető, hogy ilyen tükrisztályokkal elérhetővé válik a NaCl szilárdságának elméletileg számított értéke.*” – számol be vizsgálatairól az I. Magyar Fizikus Kongresszuson 1953. augusztus 28-án. Gyulai (1954b) cikkét a következő év májusában németül is leközi, újabb megfigyelésekkel kiegészítve. Rövidesen munkatársai a vastagság- meghatározásokat is teljesen pontosá tették (Gyulai et al., 1961). Gyulai megállapításainak helyességét a későbbiekben a különböző anyagok tucatjain mutatták ki (Berezskova, 1969). A tükrisztályok technikai alkalmazása is megkezdődött (Levitt, 1971). A szálerősített kompozit anyagokat ma is

használják, mint erről egy internetes kereséssel bárki meggyőződhet.

Életutak

Gyulai Zoltán 1887. december 16-án Pipén, egy székely tanító családjában született.³ Tizenegyen voltak testvérek. Az egyetemet Kolozsváron végezte, ahol többek között Tangl Károly, Farkas Gyula, Fejér Lipót voltak tanárai. Egy féléven át báró Eötvös Loránd előadásait is hallgatta Budapesten. Első munkája 1912-ben jelent meg mind németül a *Physikalische Zeitschrift*-ben, mind magyarul a *Mathematikai és Fizikai Lapok*-ban. A első világháború erősen beleszólt életébe. Hétévi hadifogság után, 1922-ban került a közben Szegedre költözött egyetemére.

1924 szeptemberében tanulmányi szabadságot kapott, és teljes két éven át Robert Pohl professzor mellett Göttingenben dolgozott. Pohl előadásain kívül a Nobel-díjas James Franck és az 1954-ben szintén Nobel-díjat kapott Max Born kollokviumaira is eljárt. A kollokviumok tárgya fontos új dolgozatok megbeszélése volt. Mivel Göttingenben jelszó volt, hogy a legnagyobb élő matematikust, David Hilbertet mindenkinek meg kell hallgatnia, Gyulai is elment és meghallgatta. Ott volt a Pohl-lakás teraszán is, ahol egy kedélyes esti poharazás közben felvetődött a *Festkörperphysik* (szilárdtestfizika) elnevezés az új tudományág megjelölésére. Addig Pohl kristályhibákkal kapcsolatos munkáját egyes göttingeni atomfizikusok élcelődve „piszkos fizikának” nevezték.⁴ Manapság a szilárdtestfizikával intézetek és egyetemi tanszékek százai foglalkoznak. Gyulairól jó vélemény alakult ki Göttingenben. Az 1943-ban Nobel-díjas lett Hevesy György (1927) így ír levelében Ortway Rudolfnak: Pohl „igen melegen nyilatkozik Gyulai tudományos és egyéb tulajdonságai felett, amit jól

esik hallgatni.” A Magyar Tudománymentő Bizottságtól Gyulai az első két félévben 2-2 millió koronát kapott. Hogy mennyi pénz volt ez akkoriban, arra Gyulai visszaemlékezéseiben találunk utalást: „Az egyetemi menzán kosztoltam, ami igen gyenge volt.” (Olyannyira, hogy Gyulai rossz állapota Pohl-nak is feltűnt, és az első cikk elkészülte után 150 márkát utal ki számára, amiből egy hamburgi kirándulásra is futotta.) A második évben már jobb a helyzete; 10 millió koronát kap félévenként.

Gyulait az MTA 1932-ben levelező tagnak választja. („Engem nem nagyon izgattott, de sejtettem, hogy bejövök, mert szerény ismeretlenségben éltem, politikával nem foglalkoztam, és ellenségeim nem voltak.”) 1935-ben Debrecenbe, 1940-ben Kolozsvárra, 1947-ben a Budapesti Műszaki Egyetemre nevezik ki egyetemi tanárnak. 1954-ben az MTA rendes tagja.

1962-ben a Göttingeni Tudományos Akadémia levelező tagjául választja. Mint egyetemi tanár 1962-ben nyugdíjba ment, de a körülötte kialakult Kristálynövekedési Kutatócsoportban élete végéig, 1968. július 13-án bekövetkezett haláláig dolgozott.

Hartly Domokos 1895. január 15-én született Marosvásárhelyen.⁵ Édesapja itt volt igazgató-tanító. Érettségi után a Kolozsvári Tudományegyetem mérnöki karára iratkozott be. Mikor megtudta, hogy a Kolozsvári Egyetem Szegedre költözik, azonnal kérte repatriálását. Mind matematikai, mind fizikai területen feltűnt tehetsége. Haar Alfréd matematikaprofesszor hívta, hogy legyen mellette tanársegéd, „de ezt nem fogadta el, mert Pfeiffer Péter fizika professzor mellett benn is lakhatott az intézetben, és ez pénzügyileg neki sokat jelentett”, írja róla visszaemlékezéseiben Gyulai). Szó volt egy amerikai tanulmányútról is, de ezt sem fogadta el. A harmincas évek elején a hatvani Bajza

³ Gyulai Zoltán életrajzához lásd Gyulai (1966).

⁴ Lásd az 1977-ben Nobel-díjat kapott Sir Nevill Francis Mott (1980) cikkének 229. oldalát.

⁵ Hartly Domokos életrajzához lásd Hartly Domokosné (1960).

Gimnáziumban kapott tanári állást. Észak-Erdély visszacsatolásakor a szatmárnémeti állami gimnázium igazgatója lett. 1949-ben a hatvani gimnázium igazgatója. Két év múlva az egri Pedagógiai Főiskola matematikai tanszékére nevezték ki. 1958-ban nyugdíjba ment. Sokat betegeskedett. 1962 augusztusában halt meg.

A tudománypolitika szerepe

A múlt év novemberében jelent meg e folyóirat hasábjain Palló Gábor (2002) tollából a magyar tudományirányítás 1920-30-as történetéből egy igen alapos tanulmány. Jelen cikk, úgy gondolom, sokban alátámasztja az ott leírtakat. A nemzetközi kapcsolatok támogatása elősegítette, hogy Gyulai Zoltán az akkori idők egyik tudományos centrumába kerüljön. Az újra mindig fogékony Gyulai felfigyelt az új tendenciákra, és ötletgazdagságával hozzá tudott járulni a kristályhibák fogalmának kialakulásához. Miután Gyulai Zoltán két év kivételével mindig itthon dolgozott, a sikerhez szükség volt arra is, hogy itthon is meglegyenek az eszközfeltételek. Az itthoni mérések elvégzéséhez először a Természettudományi Alap adománya segítette. A későbbiekben a Széchenyi Tudományos Társaságtól kap nagyobb összeget. Ehhez járul még hozzá a Rockefeller Alap. 1939-től kezdve Gyulai cikkeiben az MTA-nak is többször köszönetet mond. Gyulai Zoltán példája igazolja Pallónak azon megállapítását is, hogy az egykori ösztöndíjasokból „tetszik, nem tetszik, az ötvenes évek akadémiai elitje lett. . .” Igaza van Palló Gábornak abban is, hogy „Magyarországon az 1940-es évek végén a német mintát fölváltotta a szovjet minta, de ezt a modellt olyan tudósok működtették illetve olyanok dolgoztak benne, akik a német minta szerinti környezetben nevelkedtek.” A fentiekből, Joffé esetében láthattuk, hogy ez egyes szovjet fizikusok esetében is igaz. A múlt század közepén a Nyugattal történő kapcsolat-

tartás igen megnehezült. Jól demonstrálja ezt a tény az az apróság is, hogy Seitz (1950) cikkéhez a Szegeden végzett kísérletekben használt kristályok tisztaságáról nem közvetlenül Gyulaitól vagy Hartlytól kapott kiegészítő adatokat, hanem Pohltól Göttingenből. Az MTA anyagi támogatása (például a tükristályok szakításánál használt mikromanipulátorokat egy akadémiai álláson lévő mechanikus készítette) azonban lehetővé tette, hogy Gyulai azokban az években is világraszóló eredményt érjen el. Maga Gyulai csak évek múlva értesült új sikeréről. Visszaemlékezéseiben így ír: „59-ben volt egy Symposiumunk Balatonfüreden a (kelet)német Phys. Gesellschafttal közösen. Igen jól sikerült. Itt több orosz volt, a csoportot [Leonid] Beljajew vezette, és amint engem meglátott, odajött hozzám és elmondta, hogy egy évvel korábban egy kongresszuson Amerikában volt, aminek tárgya 2/3 részben a tükristályok voltak. Tőle tudtam meg, hogy a tükristály vizsgálatok milyen divatosak, és kiterjednek minden anyagra, elsősorban fémekre. Beljajew elmondta, hogy most már az oroszok is elhatározták, hogy tükristályokkal fognak foglalkozni. Később ennek a kongresszusnak kiadványát egy nagy kötetben megkaptuk és a kérdés egészében feltárult előttünk. Én már nem olvastam sokat, de a munkatársak sokat olvasnak, és nekem referálnak. – A tükristályokkal nagy szerencsém volt. Ilyen előzmények voltak, amelyek oda vezettek, hogy az Akadémia egy kis kutató csoportot szervezett az intézet kötelékében. Ez a csoport megmaradt akkor is, amikor nyugalomba mentem és igen jó munkatársak fejlődtek ki benne.”

Végül szeretnék köszönetet mondani az OTKA-nak (T 035044) a támogatásért, az MTA Kézirattára, a BME Levéltára, az ELTE Levéltára munkatársainak segítségükért, és mindazoknak, akik tanácsaikkal támogattak.

Kulcsszavak: *Gyulai-Hartly-effektus, tükristályok, kristályhibák, tudománytörténet,*

nemzetközi kapcsolatok, Gyulai Zoltán, Hartly Domokos

IRODALOM

- Berezskova, Galina V. (1969): *Nyitevidnue kristalli*. Izdatelstvo Nauka, Moszkva
- Golovin, Yurii I. – Tyurin, Aleksander I. – Farber, Boris Y. (2002): Investigation of Time-Dependent Characteristics of Materials and Micromechanism of Plastic Deformation on a Submicron Scale by a New Pulse Indentation Technique. *Journal of Materials Science*. **37**, 895-904
- Gyulai Zoltán – Hartly Domokos (1928a): Kősókristályok elektromos vezetőképessége egyoldalú nyomás alatt. *Mathematikai és Fizikai Lapok*. **35**, 214-226
- Gyulai Zoltán – Hartly Domokos (1928b): Elektrische Leitfähigkeit verformter Steinsalzkristalle. *Zeitschrift für Physik*. **51**, 378-387
- Gyulai Zoltán – (1954a): Adalékok a kristálynövekedés mechanizmusához. *Magyar Fizikai Folyóirat*. **2**, 371-392
- Gyulai Zoltán – (1954b): Festigkeits- und Plastizitätseigenschaften von NaCl-Nadelkristallen. *Zeitschrift für Physik*. **138**, 317-321
- Gyulai Zoltán – Hartmann Ervin – Jeszenszky Béla (1961): Zerreiβfestigkeitsmessungen an NaCl-Nadelkristallen (Whiskern). *Physica Status Solidi*. **1**, 726-729
- Gyulai Zoltán (1966): *Gyulai Zoltán emlékezései*. Sokszorosította Gyulai Ferenc. Gävle (Svédország) 1998
- Hartly Domokosné (1960): *Hartly Domokos. A hatvani gimnázium öregdiákjainak második aranykönyve*. Hatvan
- Hevesy György (1927): Levél Ortway Rudolffhoz. MTA Kéziratár K 785/12
- Joffé, Abram – Zechnowitzer, E. (1926): Die elektrische Leitfähigkeit im Einkristall und in Kristallaggregaten. *Zeitschrift für Physik*. **35**, 446-448
- Joffé, Abram (1930): Ist die elektrische Leitfähigkeit durch die Unregelmäßigkeiten des Kristallbaues beeinflusst? *Zeitschrift für Physik*. **62**, 730-745
- Levitt, Albert P. (ed.) (1970): *Whisker Technology*. Wiley-Interscience, New York
- Mott, Nevill F. (1980): A szilárdtestfizika kezdeteiről. in: Bodó Barna (vál.) *Mit tettem mint fizikus?* Kriterion, Bukarest, 1985
- Palló Gábor (2002): Német tudományos modell Magyarországon: Klebelsberg tudományos rendszere. *Magyar Tudomány*. **47**, **11**, 1462-1473
- Seitz, Frederick (1950): Influence of Plastic Flow on the Electrical and Photographic Properties of The Alkali Halide Crystals. *Physical Review*. **80**, 239-243
- Schmid, Erich – Boas, Walter Moritz (1935): *Kristallplastizität*. Springer, Berlin. 269.
- Stepanow, Aleksandr W. (1933): Über den Mechanismus der plastischen Deformation. *Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion*. **4**. 609-627.
- Stepanow, Aleksandr W. (1968) levele Hartmann Ervinhez
- Tóth, András (1986): Mozgó diszlokációk és ponthibák kölcsönhatása egyszerű ionkristályokban I-II. *Magyar Fizikai Folyóirat*. **34**, 465-574

