

D á n i e l J ó z s e f

A SZEGEDI KISÉRLETI FIZIKAI KUTATÁS FÉL ÉVSZÁZADA

DOKTORI ÉRTEKEZÉS
Szeged, 1982.

B 2322



TARTALOMJEGYZÉK

Bevezető.....	1 old.
Egyetemalapítás Szegeden.....	3 old.
A kísérleti fizikai kutatás szervezeti keretei	7 old.
Gyulai Zoltánnak és munkatársainak kutatásai...	8 old.
Fröhlich Pálnak és munkatársainak kutatásai....	36 old.
Bay Zoltánnak és munkatársainak kutatásai.....	56 old.
Budó Ágoston Szegeden kifejtett munkássága; a "Szegedi Iskola" kialakulása.....	72 old.
Összefoglalás.....	89 old.
A hivatkozásokban szereplő irodalom jegyzéke...	99 old.
Felhasznált egyéb irodalom jegyzéke.....	103 old.

B e v e z e t ő

A tudománytörténetet átszövik a szellemi kölcsönhatások, ezért rendkívül nehéz egy fejlődési szakaszt elszigetelten vizsgálni. A szegedi egyetemen folytatott kísérleti fizikai kutatás első ötven éve sem választható el kezdeteitől.

A kolozsvári egyetem, melynek Szegedre költözése felsőoktatási intézményhez juttatta az erre már régóta igényt tartó várost, nem tekintett vissza hosszú múltra. 1872-ben alapítják a kolozsvári tudományegyetemet, elég furcsa körülmények között. A kulturfőlényt oly szívesen emlegető honatyák tényleges tudománytiszteletét jól jellemzi, hogy Ferenc József a kultuszminiszter előterjesztésére, a képviselőház szótöbbséggel hozott határozatát félretéve adja ki az alapító királyi parancsot. [1] A fiatal intézmény - Kohlrausch tanácsait bölcsen követő Abt Antal professzor jóvoltából - a századfordulóra jól felszerelt, korszerű oktatást végző fizikai intézettel rendelkezett. Az intézetet 1904-től a magyar fizikatörténetben tanárként és tankönyvszerzőként egyaránt jelentős Tangl Károly vezette. Rokonszenves és szellemi tevékenységre készítő személyisége körül csoportosul a magyar fizika jövőjének megújítóinak egyrésze. Az állandóan dolgozó Tangl professzor tudományos munkára serkentő atmoszférát teremt intézetében. Kiváló pedagógiai érzékkel bír, jó emberismerő, és biztos intuícióval választja ki a tehetséget. Pogány Béla, Gyulai Zoltán tudományos pályafutását ő egyengeti; a kísérletezés buktatóit nehezen elviselő Ortway Rudolf Tangl tanácsát követve tér át az elméleti fizika művelésére. [2] /121.old./

A kolozsvári egyetem három megközelítésben mutatta be a fizikát a tanárjelölteknek. A kísérleti fizikán kívül "gyakorlati fizikai előadások" is voltak, melyeket a kiváló technikai érzékkel bíró Pfeiffer Péter egyetemi magántanár

tartott. Az elméleti fizikát Farkas Gyula professzor oktatta. Előadásait Gyulai Zoltán - az egykori tanítvány - túl elvontnak minősíti, de korszerű szemléletükről, színvonalukról elismeréssel szól. A tanártárs, Ortway Rudolf, Farkas tevékenységét igen magasra értékeli.[3]

Igy jellemezhető röviden a világháború küszöbén az a tudományos műhely, melynek légköréből kikerültek a szegedi fizikai kutatások első művelői. Korszerű szemléletet, tiszteletreméltó törekvéseket, az elmélyült kísérletezésre való hajlamot hozták magukkal. Ők voltak azok, akik a Budapestről áttelepült Fröhlich Pállal együtt külföldön is számontartott eredményeket értek el a tiszaparti városban.



Egyetemalapítás Szegeden

Nyilvánvaló, hogy a tudományos teljesítmény értékelésénél csak a nemzetközi színvonallal történő összehasonlítás lehet az egyetlen elfogadható mérce. Nem lennénk azonban igazságosak, ha a Szegeden 1921 után meginduló fizikai kutatások tárgyalásánál figyelmen kívül hagynánk azokat a példátlanul mostoha körülményeket, melyek között ez a tudományos kutatóhely működését megkezdte.

Az 1921 október 9-én történt egyetemalapítás ekkor még alig több jelképes aktusnál. Az egyetemnek nincsenek épületei, laboratóriumai, felszerelése. A tanítás október 12.-én megindul ugyan, a Szegeden frissen letelepített intézmény azonban a létfenntartás napi nehézségeivel küzdök. Költségvetése az 1922-1923-as tanévben 31 millió koronát tesz ki; ennek reális értékét megállapítani azonban meglehetősen nehéz. Az infláció már erőteljes, és mint Pfeiffer Péter prrektor 1923 októberében az elmúlt tanévre visszapillantva elmondja, a fenti összegből 1922 júliusában csak 4 milliót utaltak ki. 1923 februárjában 2 millió érkezett; a fennmaradó 25 milliót a tanév végén, elértéktelenedve kapta meg a questura. "Intézeteinknek az elmúlt tanévben felszerelésben való fejlődéséről alig szólhatunk" - mondja a volt rektor, ami annyit jelent, hogy még az oktatáshoz szükséges laboratóriumi berendezések sincsenek meg. Kétségtelen, hogy az egyetemet nagy rászorultságában más intézmények, sőt magánosok is támogatják. A "Tudománymentő Bizottság" például ebben a tanévben 100.000 koronát adományoz a kutatások elősegítésére. A szándék tiszteletreméltó, ám a segítség csak gesztusértékű. A százezer korona vásárlóerejére vonatkozóan informál a frissen létesített botanikus kert /akkor még husz holdnyi szántatlan parlag/ igazgatója: "1923 június havában a növénytani kert igazgatója... a kapott 5 millió felszerelési átalányból a legszükségesebb beruházást: egy igaerőt sem szerezhetette be." [1] /166.old./

A professzorokat, a tanszemélyzetet, krajcáros napi gondok szorongatják. Az egyetem teljesen fizetésképtelenné válik: "majdnem minden hó elején innen-onnan kölcsönzött pénzzel lehetett csak már hangos zugolódásra a béreket kifizetni." [1] Az egyetem gyarapítására szolgáló magán és közadományok általában könyvek; a szándék nemes és hasznos, ám az eszközök és laboratóriumi berendezések hiányát nem enyhíti. A fizikai kutatás ellátottsága kirívóan szegényes: az egyetemi jelentések az első hat évben mindössze egyetlen ajándékozást regisztrálnak. Pohl professzor 1927-ben négy műszert és három eszközt adományoz, összesen 425 pengő értékben. A rohamosan elértéktelenedő valutájú ország a külföldi beszerzési lehetőségektől eleve el volt zárva; a városban megfelelő finommechanikai műhelyek nem léteztek. A természettani intézet nyilvánvalóan csak saját szerkesztésű eszközökkel rendelkezhetett. Bár a kutatáshoz szükséges feltételek szinte teljesen hiányoznak, a munka már az első években megindult - és mint látni fogjuk - az eredmények nem jelentéktelenek. Siker eléréséhez sok kutatói adottság együttes jelenléte szükséges. Az alapos felkészültségen, szivós kitartáson, intuición és szerencsén kívül azonban a szegedi fizikai kutatás pionírjainak egy további többlettel is rendelkezniök kellett. Ilyen mostoha körülmények között munkához látni, és eredményt elérni: ehhez a fizikus szokásos erényeinek összessége sem elég. Eredményeik mögött meg kell látnunk a körülmények kényszere fölé emelkedő emberi nagyságot is.

Az egyelőre még csak oktatóinak és hallgatóinak univerzitásaként létező egyetem megfelelő elhelyezése érdekében Szeged városa tesz kezdeményező lépést. Az 1924 június 30.-i városi közgyűlés úgy dönt, hogy évi 24 vagon búzát ajánl fel 50 éven át az egyetem építkezéseinek fedezetéül. A jelenleg kb. 50 millió forintnak megfelelő összeg beépíthető légköbméterekben kifejezett épület-egyenértéke 1924-ben a mainál sokkal jelentősebb volt. A lassan felhalmozódó támogatás azonban nyilvánvalóan nem oldotta volna meg az egyetem gondjait, ha a város Klebelsberg László vallás és közoktatásügyi minisztertől nem kap az egyetem-építéshez 12 millió aranykorona költségvetési fedezetet. A Dóm tér /akkor: Templomtér/ kialakítására vonatkozóan Rerrich Béla

terveit fogadják el. Az alapkövet 1926 október 5.-én teszik le; a hat épületből álló klinikai telep és a kilenc épületet magábafooglaló dómtéri együttes ünnepélyes záróköletételére 1930 október 24-én hívják össze az egyetemi közgyűlést. Az egyetem személyi és dologi ellátmánya 3,2 millió pengő, ami kb. a felét teszi ki Szeged városi költségvetésének.

1931-ben befejezik az u.n. leszámoló palota egyetemi célokra történő átalakítását is. Az új épületek tervezőit nagyvonalú és előrelátó elgondolás vezette: oly tágas helységek kialakítására törekedtek, melyek otthont tudnak adni az eszközeikkel mind nagyobb teret elfoglaló kísérleti alapú tudományoknak.

Az egyetemfejlesztés folyamata azonban a harmincas évek kezdetén lelassul és megáll. A jelenség részben a gazdasági válsággal, részben a vallás és közoktatásügyi miniszter személyének változásával magyarázható. Klebelsberg a szegedi egyetem ügyét megkülönböztetett figyelemmel követi; ezért és "pazarló" építkezéseiért érik is súlyos politikai támadások. A Berlinben élő Wigner Jenő - akit Ortway egy szegedi professzori szék elfoglalására kapacitál - már 1929-ben látja, hogy az egyetem anyagi jóléte milyen törékeny nagyúri kegy függvénye. "Ne haragudjál, hogy ilyen részletesen sorolom fel azokat az okokat, melyek a pályázat mellőzésére indítanak, de nem akarom, hogy az a színezete legyen a dolognak, hogy az itteni magyarok nem törődnek azzal, hogy mi történik odahaza. Ha meg is vagyunk győződve Klebelsberg jóindulatáról, nem hozhatjuk magunkat olyan helyzetbe, melyben utódja azt tehet velünk, amit akar." [4]
/Wigner 1929 dec. 2.-i levele./

A Szegeden gyökeret eresztő egyetemnek rövidesen a létezéséért is harcolnia kell. Klebelsberg halálával ugyanis a kulturális decentralizálás gondolata a legfőbb támogatóját veszti el. Kováts Ferenc rektor 1931-ben elmondott szavaiból őszinte aggodalom és felháborodás csendül ki: "... a legnagyobb erélylyel kell felszólalnunk azok ellen a támadások ellen, melyek hazánk főiskolái és elsősorban a vidéki egyetemek ellen irányulnak és ezen egyetemek teljes vagy részbeni megszüntetésének

gondolatát dobják bele a gazdasági válságtól felizgatott és meggyötört közvéleménybe." [5]

A megszüntetés veszélye elhárul ugyan, az egyetem intézményeit azonban megcsonkítják. Kötelezően előírják a tanszékek /azaz intézetek/ számának csökkentését, amit a miniszteri paranccsal ellenkező egyetem az "ideiglenes megszüntetés" formulával fogad el. A tények a közoktatási érdekeket védő professzorok mellett szólnak: az egyetem ezen viszonylagos virágzásának idejére a hallgatólétszám 2200 fölé emelkedik. A szilenciumra ítélt tudományterületek sem gyomlálhatók ki az egyetemi polgárok művelődési anyagából. Látjuk ezt abból, hogy az egyetemi tanrendek szerint nem egy esetben más tanszékek veszik át a gazda nélkül maradt tárgyak oktatását.

Ilyen előzmények után érthető, hogy az új épületekbe költözött egyetem belső létfeltételei elég lehangoló képet mutatnak. Az asszisztencia jelentős hányadát teszik ki a díjtalan gyakornokok. A fizetett egyetemi alkalmazottak túlterheltek az oktatással, nincs elég idejük az önálló kutatómunkára - panaszolja a rektor. Nincs tudományos segédszemélyzet. A vezető professzorok - így Fröhlich Pál és Bay Zoltán is - heti 11-15 órában oktatják a legkülönbözőbb tárgyakat, személyesen készítve elő még a hallgatók laboratóriumi gyakorlatainak anyagát is. A rektori beszámoló még 1934-ben is konstatálni kénytelen: "Még koránt sincs valamennyi egyetemi intézetnek kívánatos elhelyezése, többnek nincs kellő felszerelése."

A szegedi egyetem a mostoha körülmények között is bizonyítja tudományos alkotóerejét. Az alapítás után 10 évvel, az 1930/31-es tanévben oktatói - csak külföldi szakfolyóiratokban - 187 dolgozatot jelentetnek meg. A nemzetközi tudományos élet részéről megnyilatkozó nyilvánvaló elismerés, hogy a Rockefeller Alap 119.000 dollár egyszeri segílyt utal ki, és rendszeres évi támogatást helyez kilátásba "a matematikai és természettudományi karon, valamint az orvostudományi kar elméleti intézeteiben folyó természettudományi kutatások" céljára. [5]/9.old./

Az egyetem felszerelésének jelentős kiegészítését tette lehetővé lord Rothermere 1928-as donációja. A jog és államtudományok diszdzdktorává avatott brit sajtómágnás 100.000 pengőt adományozott az egyetemi kutatás céljaira. Az egyetemi tanács döntése alapján 50.000 pengőt rádiumvásárlásra fordítottak, és megalapították az orvostudományi kar Rádium Intézetét. A beszerzett aktív anyag elsősorban gyógyítás célját szolgálta, azonban az intézet rádiumtüivel végezte a gammasugárzás szórására vonatkozó vizsgálatait Bay Zoltán, Papp György és Szepesi Zoltán is. A Szegeden folyó fizikai kutatások finanszírozásához a Természettudományi Alap és a Széchenyi Társaság is hozzájárult. Gyulai, Bay, Fröhlich és Mischung Ilona 13 kutatását a Rockefeller Alap, a Széchenyi Társaság és a Természettudományi Alap anyagi támogatása teszi lehetővé. Ugyanezen fizikusok kutatásait 5 esetben fedezik az egyetem anyagi eszközeiből. /Gombay Lajos még 1942 /!/-ben is végez kutatást a Rockefeller Alap segélyforrásainak felhasználásával./

A kísérleti fizikai kutatás lehetőségei nyilvánvalóan függenek a következő évek során is az egyetem általános helyzetétől. Úgy tűnik azonban, hogy a mostoha körülmények között is létrejött kutatómunka a továbbiakban elsősorban belső törvényszerűségei szerint fejlődik. Ez az oka annak, hogy 1933-tól kezdődően csak a fizikai kutatás eredményeinek tárgyalásával foglalkozom. A kezdet nehézségeit viszont teljes nagyságukban érzékeltetni csak az egyetem történetének szélesebb keretében látom lehetségesnek.

A kísérleti fizikai kutatás szervezeti keretei

Az 1921-es egyetemalapítás alkalmával a fizika körébe tartozó tárgyak oktatására két intézetet szerveznek: a Természettani intézetet és a Gyakorlati fizikai és elektrotechnikai intézetet. Az elméleti fizika oktatását /mechanika és elektrodinamika/ a matematikai szeminárium egyik igazgatója végzi. Az intézet elnevezés mai terminológiánk alapján kissé megtévesztő. Az intézet sok esetben egyszemélyes: teljes állománya a professzor. A természettani intézet oktatói létszáma hosszú időn át két fő, és csak egy évtized múltán jelenik meg állományában 1-2 dijtá-

lan gyakornok. Az intézet később 2 szakaltisztet és 1 gépkezelőt is alkalmaz. Az intézet vezetője 1923 szeptemberéig Pogány Béla, tanársegéde Gyulai Zoltán. A Természettani intézetbe 1924-ben nevezik ki Fröhlich Pált "rendkívüli" egyetemi tanárnak.

A Gyakorlati fizikai és elektrotechnikai intézet vezetője Pfeiffer Péter. 1922-től kezdve az intézet Hartly Domokos belépésével kétszemélyessé bővül. A létszám 1932-ig változatlan marad. Pfeiffer nyugdíjazása után az intézetvezetői állást nem töltik be. A tanszékek számát csökkentő miniszteri rendelet végrehajtása során a Pfeiffer-intézet végül megszűnik. Feladatukörét a Kisérleti fizikai intézet nevet felvevő és megnövelt oktatói állományú egykori Természettani intézet vállalja át.

Az elméleti fizikát a matematikai szemináriumba kinevezett Ortway Rudolf műveli. A későbbiek során Elméleti fizikai intézet alakul; Bay Zoltán 1930-ban ennek a vezetését veszi át. Az Elméleti fizikai intézet elnevezés egy professzori és egy tanársegédi státust takar.

A szervezeti felépítést megismerve, rátérünk a Szegeden oktató fizikusok tudományos munkásságának tárgyalására.

Gyulai Zoltánnak és munkatársainak kutatásai

Gyulai Zoltán pályakezdését beárnyalják az első világháború tragikus eseményei. Az oly sok életet és tehetséget learató véres évek - gondoljunk Zemplén Győző vagy Moseley sorsára - Gyulai pályafutását kishiján a kezdetén kettétörik.

A fiatal kolozsvári tanárjelölt már hallgató korában számon tartott tudományos ígéret. Kétizben nyeri el az egyetem fizikai pályadíját; a szelén külső fotoeffektusára vonatkozó cikket 1912-ben leközi a Zeitschrift für Physik. Tanulmányainak befejezése után Brünmben letölti katonaságát, majd Tangl meg-

vására a kolozsvári egyetemen tanársegédi státusba lép. Alig kezdi meg a tudományos alkotómunkát, kirobban a háború. Gyulait 1914 augusztusában behívóparancs szólítja ezredéhez. 1915 októberében fogságba esik, és 1922-ben tér csak haza. A nyolc intellektuális passzivitásban eltöltött év szellemi kilagozásán túlmenően egészségét is megrendítik a megpróbáltatások. Ideggyógyász kezelésére szorúl, és orvosa fél éves, zavartalan felusi pihenést javasol. Egy volt professzora jóindulatúan tanácsolja, hogy a nagyfokú szellemi koncentrációt kívánó tudományos munka helyett vállaljon gimnáziumi tanári állást.

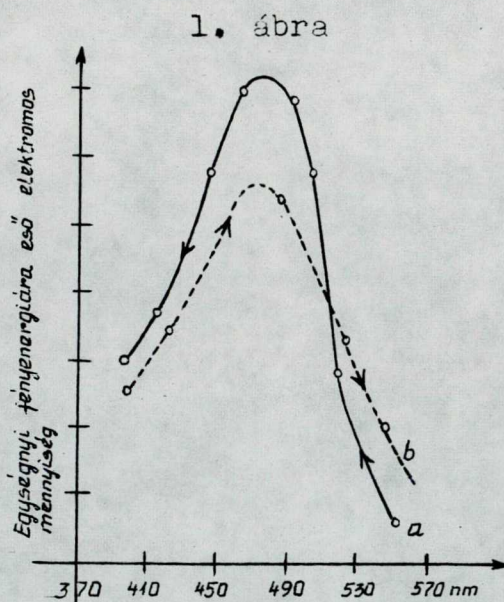
Gyulai bámulatraméltó akaraterővel lesz urrá a test elesettségén, és regenerálja szellemét is. Elfoglalja a szegedi egyetemen számára fenntartott tanársegédi állást, és még 1922-ben doktorál. Disszertációjának tárgya egykori kolozsvári vizsgálatának anyaga: a szelénen kiváltható külső fényelektromos hatás. [6] Két év alatt felfrissíti, a kor színvonalára emeli szakmai tájékozottságát, és 1924-ben már németországi tanulmányútra indul. Két évet tölt a fizikai kutatás jelentős európai centrumában, Göttingenben. Kreativitását jól mutatja, hogy ezalatt a rövid időszak alatt jelentős és maradandó értékű eredményeket ér el egy fejlődésének kezdetén álló tudományág területén.

A Göttingenben eltöltött évek során kezdi meg azon a területen a kutatást, melynek vizsgálata kitölti szegedi tartózkodásának kilenc további évét. A göttingeni egyetemen Pohl professzor és munkatársa, Gudden nagy kitartással és alapvető eredmények sorát elérve vizsgálják a szigetelő kristályok fotovezetését. Az egyetem I. Fizikai intézetében végzett kutatást a tudománytörténet a szilárdtestfizika elvi alapvetéseként tartja számon. A három évtizedet felölelő munka kezdeti szakaszába kapcsolódik be Gyulai Zoltán, és alkálihalogenid kristályokon végzett vizsgálatait a szilárdtestfizika több alapvető összefüggésének feltárásához vezetnek.

Göttingeni munkásságát három, szorosan kapcsolódó témájú dolgozatának együttes ismertetésével célszerű kezdeni. 1924 decemberében fejezi be "NaCl kristályok fényelektromos vezetésé-

hez" című cikkét. Ezt követi "A quantumegyenlőség a NaCl kristályok elektromos vezetésénél" c., majd "Adalék a fényelektromosan vezető NaCl kristályok fényelnyeléséhez" c. dolgozata. [7], [8], [9], Mindhárom még 1925-ben megjelenik a Zeitschrift für Physikben, illetve - szinte egyidejűleg - a Mathematikai és Physikai Lapokban is.

Röntgen 1921-ben megfigyeli, hogy a nátriumklorid röntgenfény hatására sárgásra színeződik. A további vizsgálatok során Röntgen és Joffé felfedezik, hogy a színezett kristályok fényelektromos vezetést mutatnak. Az effektus akkor jelentkezik, ha a kőszót 370 nm-től 570 nm-ig terjedő hullámhosszú fénnel világítják meg. A Röntgen féle kísérleteknél fellépett egy megmagyarázhatatlan jelenség. A hullámhossz függvényében ábrázolt fényelektromos áramgörbe alakja más, ha a mérést növekvő hullámhosszok irányában végzik, mint ellentétes irányban haladva. /1. ábra/

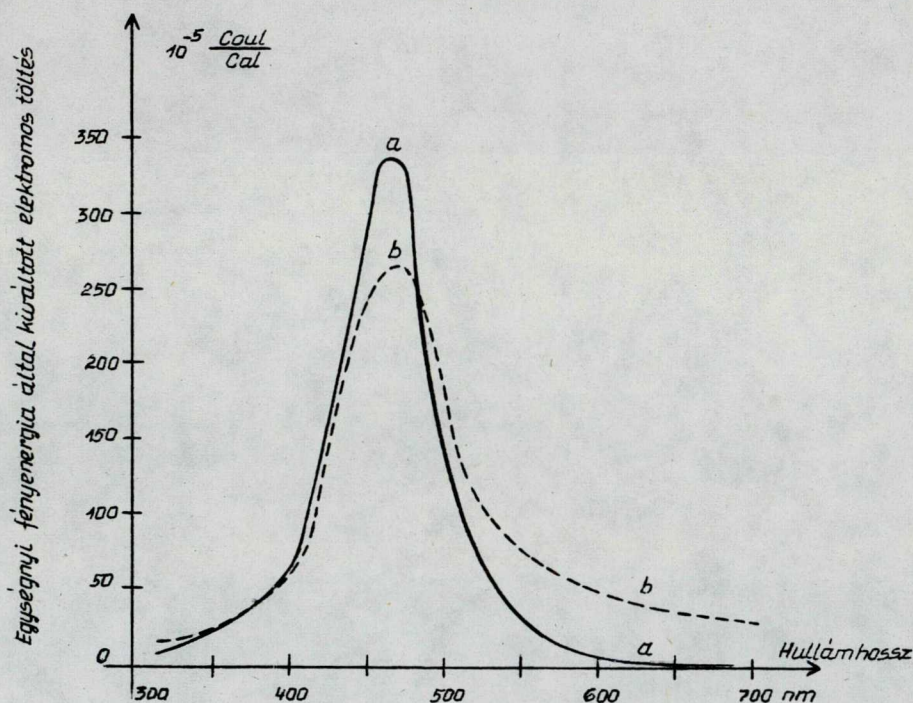


A röntgenezett kőszóval kísérletezni kezdő Gyulai mindenekelőtt a színezett kristály fényelektromos vezetését méri ki. Módszere tökéletesebb Röntgenénél. Felhasználja ugyanis Gudden és

Gyulai első vizsgálatainak tudományos eredményei a következőkben foglalhatók össze. Pontosan kiméri a röntgenezett NaCl fénylektromos vezetését. A vörös, illetve infravörös sugárzással történő regenerálás vizsgálata kísérleti bizonyítékát adja a - mai terminológiával élve - F' centrumok létezésének és F centrummá való visszaalakíthatóságuknak.

A további vizsgálatoknál meghatározta az előzetesen kék fényvel besugárzott kőszó f o t o e l e k t r o m o s é r z é k e n y s é g é n e k megváltozását a rövidebb hullámhosszú szinképtartományban. Kiderült, hogy a hosszú hullámoknál megnyilatkozó érzékenységnövekedést a rövidhullámú tartományban a fotoelektromos áram visszaesése kíséri. /3. ábra/

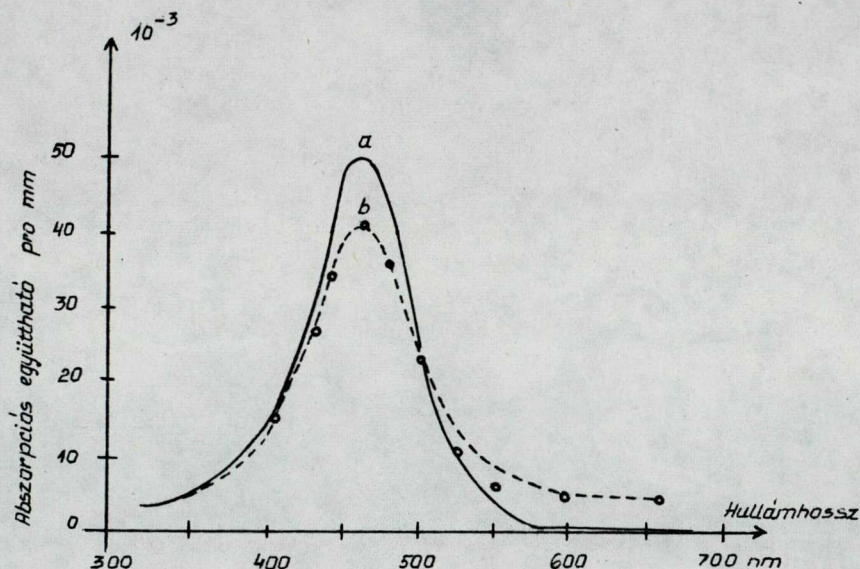
3. ábra



A 3 sz. ábrán a jelöli azt a fotoáramgörbét, melyet az eredeti érzékenység mérésenkénti visszaállításával nyert. A b-jelű grafikon a kék besugárzással "kifárasztott" kristály fotoemisszióját adja. Jól látható, hogy a fotoelektromosan hatékony fényvel való besugárzás a maximumot lecsökkenti; a hosszúhullámú fény hatására viszont - ezt már a korábbiakból tudta - a fotoáram jelentősen megnő.

Ezt követően a röntgenezett NaCl kristály optikai abszorpcióját mérte ki. Ekkor már ismert volt az a jelenség, hogy a színezett kőszókristály abszorpciós spektrumában - a normális abszorpción túlmenően - jelentkezik kb. 500-800 nm között egy új abszorpciós sáv. Gyula kísérletében az az új elem, hogy az abszorpciót két esetben mérte ki. Először úgy, hogy a kristály eredeti érzékenységét mérésenként helyreállította /vörös, illetve infravörös besugárzással/. A második méréssorozatnál a kék fénnel "kifárasztott" kristály új abszorpciós spektrumát vette fel. A két abszorpciót a 4. sz. ábra a illetve b jelű grafikonja ábrázolja.

4. ábra



A kék fénnel történő előkezelés megváltoztatja az abszorpciót. Az eredeti elnyelési maximum lecsökken, a hosszú hullámok tartományában viszont a kőszó abszorpciója megnő.

Eredményeiből Gyulai levonja a következtetéseket. A 3-as és 4-es ábrák grafikonjainak nyilvánvaló hasonlósága jelzi, hogy az abszorpció és a fényelektromos jelenség között kapcsolat van. Megállapítja azt is, hogy a fényelektromos grafikon maximuma a hosszabb hullámok irányába tolódik el az abszorpcióhoz képest. Másrészt megkísérelti magyarázatát adni a kétféle abszorpciós görbéknek. Felteszi, hogy a röntgenbesugárzás a kőszókristályban fényelnyelő centrumokat /"amikronokat"/ hoz lét-

re. Ezek abszorpciós görbéje a 4. ábra a grafikonja. A kék-színű fénnnyel megvilágított kristályban az "amikronok" egy-része gerjesztett állapotba kerül. A gerjesztett centrumok abszorpciója eltér az eredetiekétől. A kétféle centrum abszorpciójának összege adja a 4. ábra b grafikonját.

A jelenség magyarázata - a lényegét tekintve - jelenlegi ismereteink szerint is helytálló. Igaz, hogy az "amikronok" természetére vonatkozó feltevése /alkáli atomoknak véli őket/ nem igazolódott; hiszen az F centrum rácslyukban, halogén hiányosság helyén lekötött elektron. Figyelembevétel azonban, hogy a lyuk-hypotézis egyik döntő bizonyítéka - a színezett kristály sűrűségcsökkenése a természeteshez képest - csak 1949-ben nyert kísérleti bizonyítást, Gyulai teljesen logikusan téved. Valóban arányeltolódás történik az alkáli atomok javára, csak hogy ez nem alkáli többlet, hanem halogén hiány következménye. Amennyiben Gyulai indoklásában az "amikron" fogalmat F centrummal, a "gerjesztett centrumot" F'-vel helyettesítjük, az értelmezés mai fel-fogásunk szerint is elfogadhatóvá válik.

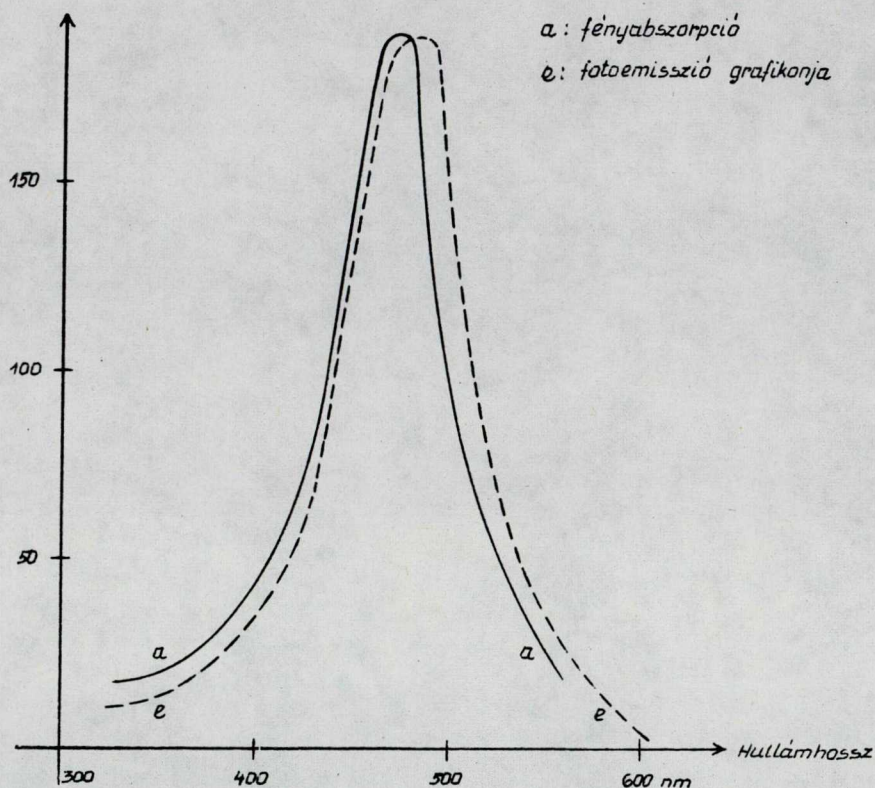
A jelenség értelmezésén túlmenően egy speciális esetben meghatározza az F és F' centrumok arányát is. Mérései alapján feltételezi, hogy $\lambda = 520$ nm-nél a kétféle centrum, melyek egymásba való átalakulását helyesen látja meg, dinamikus egyensúlyban van. A kétféle centrum viszonyára 50 %-os arányt állapít meg.

A röntgenezett kőson lejátszódó jelenségek megmagyarázását követően kitér az elméleti fizika egy kapcsolódó, és igen fontos elvi kérdésére. Megvizsgálja, hogy a folyamatnál érvényesül-e a fényelnyelés kvantumos jellege. [10]

A kérdésnek különös fontosságot ad, hogy a nagytekintélyű A. Joffe vizsgálatai szerint konstans beeső fényenergia esetén a kiváltott fotoelektronok száma nem nőtt a hullámhosszal. Amennyiben a megfigyelés helytálló, a fotoelektromos hatásnál a kvantumos energiaátadás elve nem érvényesül. Gyulai nagy gondnal végrehajtott mérései viszont azt mutatták,

hogy az abszorpció és a fotoelektromos hatás görbéi hasonló alakúak, de nem esnek egybe. /5. ábra/

5. ábra



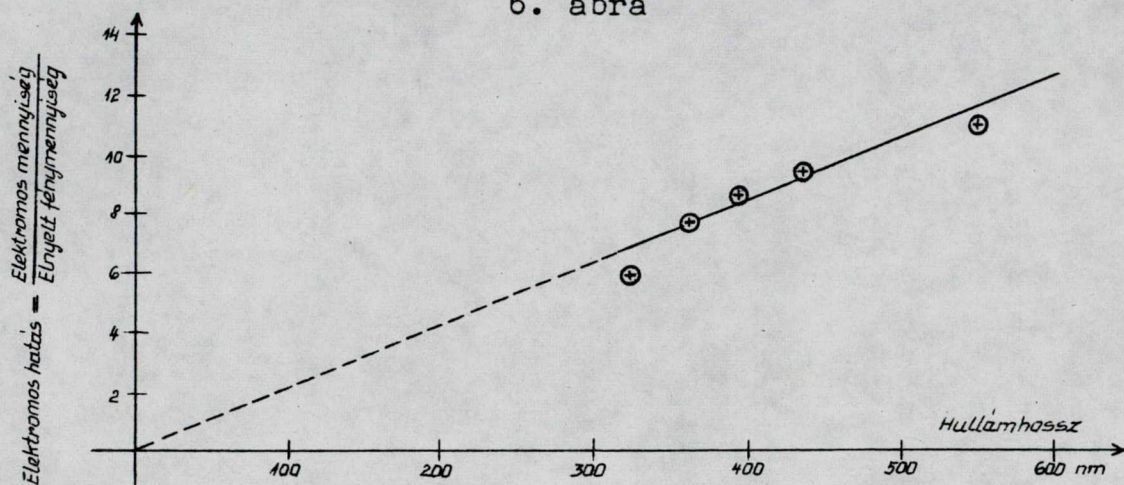
Ez a tény Joffe álláspontját cáfolja ugyan, de a kvantumszerű fényelnyelést még nem igazolja.

Figyelembevéve azt, hogy az elnyelt fényenergiának csak egy része vált ki elektront, kvantumszerű hatás esetén az N elektronszám

$$N = k \frac{1}{hc} \cdot \lambda$$

alakú összefüggéssel adható meg. /A mérésekből $k = 0,00014$ -nek adódott./ A vízszintes tengelyre λ -t, a függőleges tengelyre egy elektronszámmal arányos adatot mérve, a kísérlet-sorozat mérési adatait reprezentáló pontok egyenes mentén sorakoztak. /6. ábra/

6. ábra



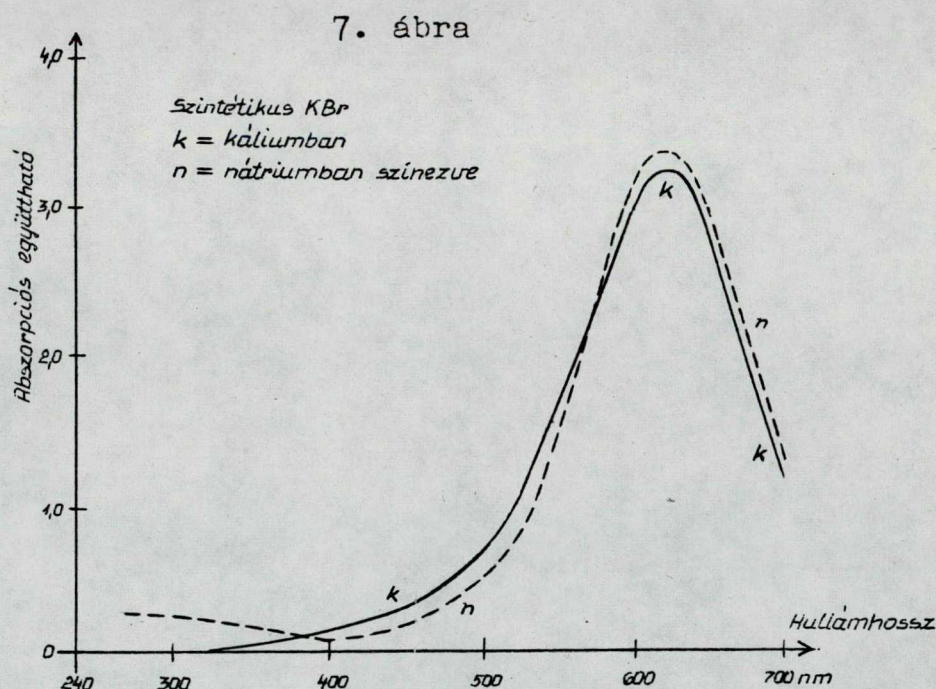
A röntgenezett kősóban lejátszódó folyamat tehát kvantumszerű. Gyulai Zoltán vizsgálatát a szakirodalom a jelenségre vonatkozó alapvető eredményként tartja számon. [1], [2], [3]

Göttingeni tartózkodása idején publikálja a Zeitschrift für Physik-ben "Lichtelectrische und optische Messungen an blauen und gelben Steinsalz-kristallen" c. dolgozatát. [14] A cikk azokat a kiegészítő vizsgálatokat ismerteti, melyekkel összehasonlította a természetben előforduló színes kősó-kristály, a röntgenezett kősó, és az additív módon színezett kősó fényelektromos viselkedését és optikai abszorpcióját.

A kísérletsorozat elvégzése után megállapítja, hogy a kétféle színezési mód lényegében azonos belső struktúra kialakítására vezet. A szerző e cikkben a kvantumszerű fényelektromos hatás alapján magyarázza a fellépő jelenségeket. Tekintve azt, hogy az a felfogás 1925-ben még korántsem általánosan elfogadott, a közlemény szemléletében is úttörő jellegű.

Még Göttingenben írja "Zur additiven Färbung von Alkalihalogenid Kristallen" [15] c. dolgozatát. Elsősorban azokat a módszereket tárgyalja, melyekkel a kísérletek során használt additív színezésű kristályokat előállította. A szerző célja - mint ezt leírja - hogy ismertesse azokat a műhelyfogásokat, részeredményeket, melyeket nem lesz módja hosszabblélegzetű cikkben bemutatni. A közlemény azonban tartalmaz a színcentrumok természetére vonatkozóan egy igen értékes megfigyelést.

Gyulai megpróbálkozott alkali-halogenid kristály idegen alkálifémmel való színezésével. /Pl. NaCl-et folyékony kálium-fürdőben kezelt, KBr-t nátriumban./ A kísérletek a szennyező centrumok természetének felderítését célozták. Gyulai - miként korábban Giesel és Siedentopf - eltérő eredményt várt a saját fémmel, illetve idegen fémmel történő színezéstől. Az eredmény azonban - nyilván kellemetlen meglepetésre - azonosnak mutatkozott mindkét esetben. Levonja tehát a következőt: a kísérlet eredménytelen volt. Gyulai ezuttal, tudtán kívül, a szincentrumok természetére vonatkozó egyik legfontosabb eredményét kapta meg. A szilárdtestfizika de Boer féle F-centrum elmélete ugyanis a rácsluk-modell legfontosabb bizonyítékának tekinti, hogy az abszorpciós F sáv helyzete csak a kristály összetételétől függ, az alkáli-gőz minőségétől viszont független. A cikkben közölt tudománytörténeti érdekességű grafikonokat a 7 sz. ábra mutatja be.^x



Utolsó Göttingenben írt dolgozatában /Über den Vorgang der Erregung bei der Lichtabsorption in Kristallen/[16] a sárgára színezett kőszó gerjesztését befolyásoló tényezők vizs-

x = Az idézett cikk 893. oldalán Gyulai a következő megjegyzést teszi: "Die Übereinstimmung der Kurven *k* und *n* geht so weit, dass man in beiden Fällen die gleichen Zentren der Absorption annehmen muss."

gálatára vonatkozó eredményeit ismerteti. A vizsgálatok Gudden és Pohl gerjesztési hipotézisét támasztják alá kísérleti tényekkel. A Pohl-féle interpretáció a szilárdtestfizika magasabb fejlődési szintjén módosult ugyan, Gyulai kísérleti eredményeit azonban a pontosabb mérések csak megerősítették.

Megvizsgálja a teljes gerjesztés bekövetkezéséhez szükséges idő és a fényintenzitás kapcsolatát. Megállapítja, hogy a teljesen gerjesztett állapot kis fényerősség esetén is kialakul, a megvilágítási időt azonban növelni kell. Kiderül, hogy a folyamat lefutása változik a megvilágító fény hullámhosszának növelésekor.

Megállapítja, hogy a gerjesztett és gerjesztetlen kristály abszorpciója emelkedő hőmérséklettel egyaránt csökken. Mély hőmérsékleten a két abszorpciós együttható jelentősen különbözik, 75°C -on azonban azonos érték. Tisztázza azt is, hogy a gerjesztett állapot idővel megszűnik. A gerjesztés eltűnése annál gyorsabb, minél magasabb hőmérsékletű a kőszókristály.

Az eredményekben gazdag göttingeni évek megalapozzák Gyulai Zoltán tudományos tekintélyét. 1926-ban tér haza, és még ebben az évben habilitál "Az elektronok és ionok tana" tárgykörből. Szegedi magántanári előadásának szövegét 1927-ben jelenteti meg a Matematikai és Physikai Lapokban. [17]. A 22 oldalas cikk a külső és belső fényelektromos hatásra vonatkozó ismeretek rövid összefoglalását adja. A fényelektromos jelenségek kapcsán foglalkozik Pohl és Gudden vizsgálataival és kitér olyan eredményekre, melyek mai rendszerezésünk szerint a szilárdtestfizika alapjaihoz sorolhatók. Bár saját vizsgálatait egyértelműen igazolták a röntgenezett NaCl-en fellépő fotoeffektus kvantumszerűségét - további megerősítés hiányában - mértéktartó tudományos objektivitással írja: "A kőszón a kvantumszerűséget egyelőre fenntartással kell fogadnunk, mert egy pétervári dolgozat szerint nem h elemi energia quantumok, hanem rezgésszámtól függetlenül egyenlő energia quantumok váltanak ki egy elektront." / [17] 180. oldal lábjegyzete/

Gyulai Zoltán arra törekedett, hogy előadásában a tárgykörre vonatkozó korszerű ismeretek szintézisét adja. Saját eredményeiről mindössze két helyen szól. Megemlíti, hogy a felületek fotoemissziója befolyásolható a köztük létrehozott elektromos kisüléssel. Pohl eredményeinek ismertetéséhez kapcsolódva viszont a szinc centrumokra vonatkozó vizsgálatainak klasszikusan letisztult magyarázatát fogalmazza meg.

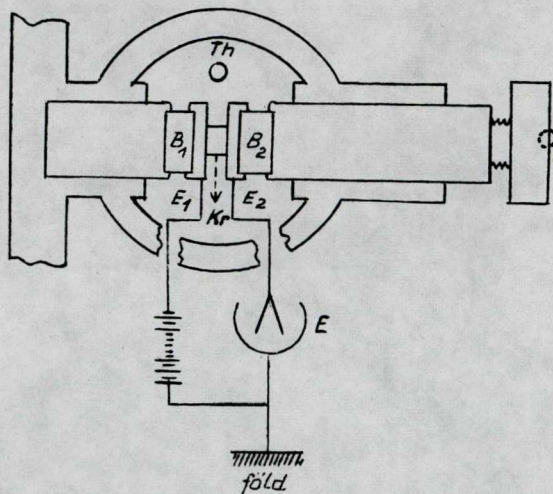
Az előadás nyilvánvalóan a tárgykörre vonatkozó igazolt ismeretek összefoglalására törekszik, nyitott kérdést alig érint. Így hiába is keressük benne azokat a kutatási témákat, melyeken a Szegedre hazatért fiatal tudós dolgozni kíván. A következő évek azonban igazolni fogják, hogy Gyulai sokkal szerényebb laboratóriumi felszereléssel is képes egy kibontakozó tudományágban alapvető eredmények elérésére.

1928 júliusában jelenik meg Hartly Domokossal közös publikációja: "Kősó elektromos vezetőképesége egyoldalú nyomás alatt" címmel.[18] A közleményben azokról a vizsgálatokról számol be, melyeket a Természettudományi Alap anyagi támogatásával az egyetem Természettani intézetében végeztek el.

Gyulai Smekálnak a kristályos anyagok szerkezetére vonatkozó elméletét kívánta kísérletileg igazolni. Laue kísérletei /1912/ kétségtelenné tették, hogy a kristályok ionjai szabályos rácsszerkezetet mutatnak. Smekál szerint azonban ez a rendezettség és szilárd kötődés csak a kristályokat felépítő elemi kristályokban áll fenn. Még az egykristályok sem egyebek, mint elemi kristályokból felépített halmazok. Smekál szerint - a felépítésből következően - a kristályban vannak "laza helyek", melyek az elektromos vezetést elősegítik.

Amennyiben a kristályszerkezetre vonatkozó elmélet helyes, a "laza helyek" /azaz ionhiányhelyek/ számát mesterségesen megnövelve fokozódó áramvezetést kell tapasztalnunk. Gyulai és Hartly a hipotézist ellenőrző kísérletet kősókristályon végezték el. Az ionhiányhelyek számát nyomással, egytengelyű plasztikus deformációval növelték meg. Kísérleti berendezésüket a 8. ábra mutatja be.

8. ábra



B_1, B_2 : Borostyánkő szigetelők

E_1, E_2 : Sárgaréz elektródok

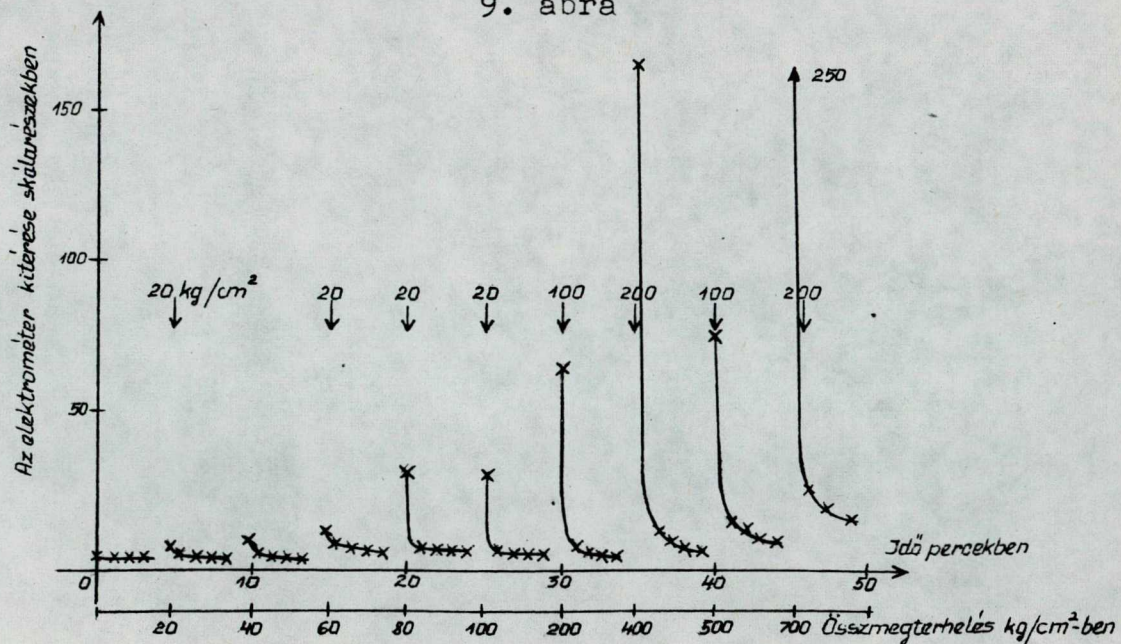
Kr : Kősókristály

Th : Hőmérő

E : Egyfonalas elektrométer

A Wielickából származó, négyzetes oszlop alakú kősókristályok maximálisan $7 \times 7 \times 3$ mm-es méretűek voltak. A 60°C -on kiszáritott, megcsiszolt kristályokat a szorítópofák közé fogták be, és egy karos emelőszerkezet közbeiktatásával, súlyterheléssel helyezték nyomás alá. Az elektrométer feltöltődési sebességének méréséből következtettek az áramlökés nagyságára. Mérési eredményeiket a 9. ábra grafikonja mutatja be.

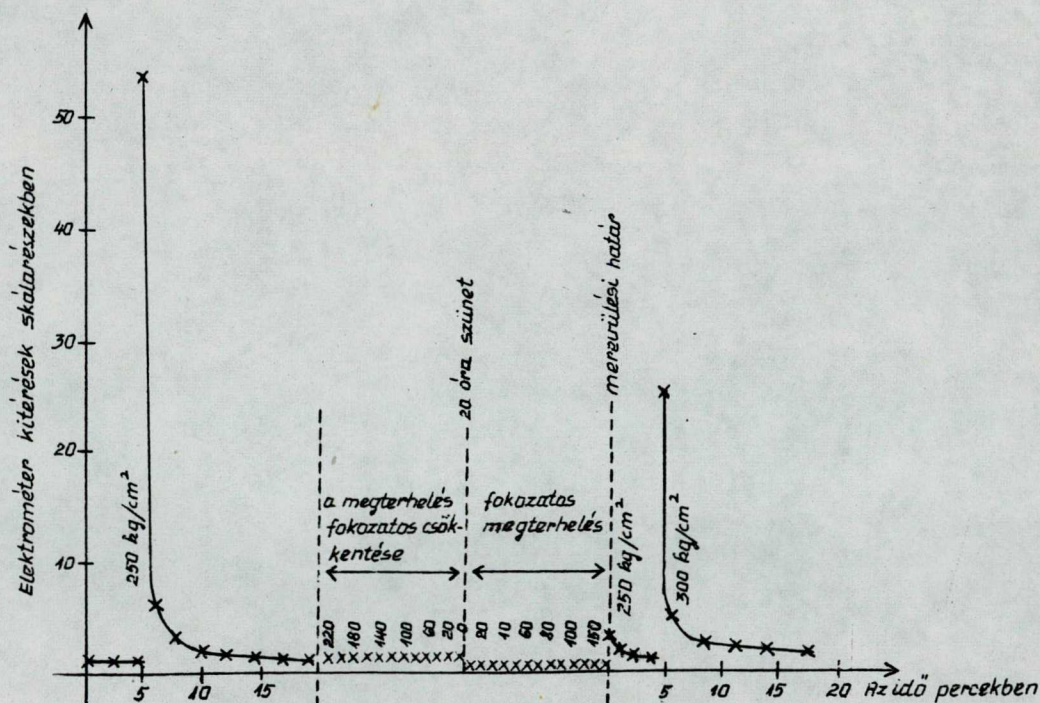
9. ábra



Mint látható, fokozódó terhelést alkalmazva az áramerősség a súly felrakásának pillanatában ugrásszerűen megnő, majd lecsökken kb. a terheletlen kristálynál mért értékre. Megfigyelhető az is, hogy karakterisztikus áramnövekedés csak bizonyos terhelés meghaladása után jelentezik.

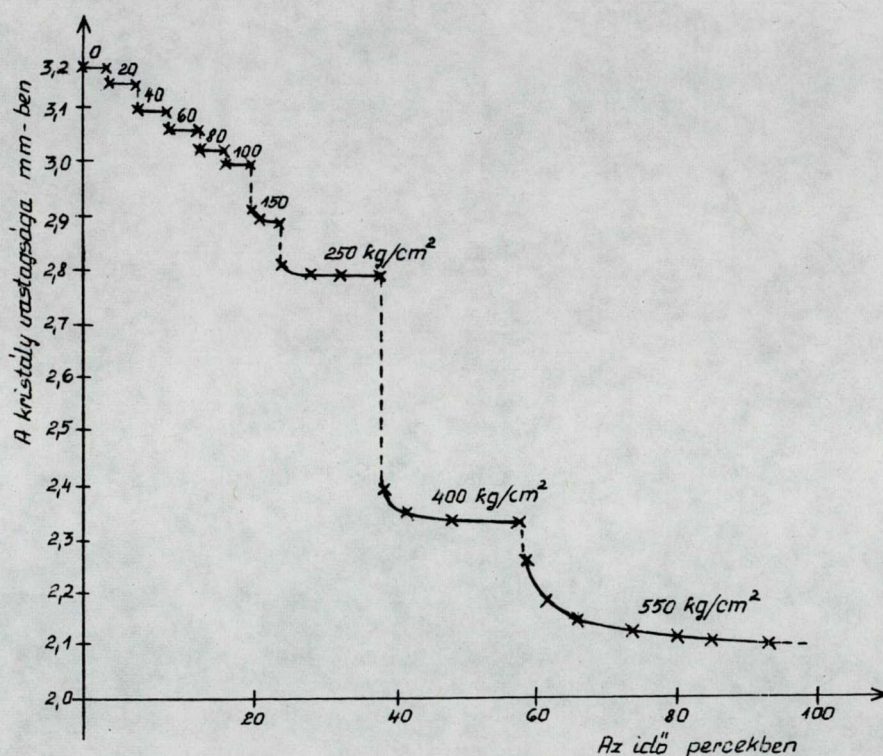
Gyulai az áramerősség ugrásszerű megnövekedését a "laza helyek" számának szaporodásával magyarázza. A terhelés hatására a kristályszerkezetben repedések keletkeznek, és átrendeződés indul meg. A folyamat átkristályosodással zárul, és ekkor - a "laza helyek" számának lecsökkenése következtében - az áramerősség is visszaesik. Gyulai és Hartly magyarázatuk helyességét további kísérletekkel ellenőrizték. Egyrészt mérték a fokozatos nyomás alá helyezett, majd tehermentesített kristály viselkedését. Az ugyanazon fokozatokban másodszor újraterhelt kristály már nem mutatott vezetőképességnövekedést az előzőleg felvett áramgörbe ugráshelyein. Tehát - mondja Gyulai - a kristály olyan megszilárdult /verfestigt/ állapotba került az előzetes kezelés hatására, melyet huzamosan megőriz. Újabb áramerősség-ugrást csak akkor mértek, amikor túlhaladtak a megszilárdulást korábban előidéző súlyterhelésen. /10. ábra/

10. ábra



A kezdeti kristályszerkezet összeomlását és a plasztikus állapot kifejlődését is vizsgálat tárgyává tették, tehát felderítették az állapotváltozás időbeli lefolyását is. Ezen túlmenően egy 25-szörös nagyítású mikroszkóppal megfigyelték a kristály nyomás hatására bekövetkező hosszváltozásait, és kapcsolatot kerestek az áramugrások lefutása és a kristályrövidülés menete között. /11. ábra/

11. ábra



1926-ban végeztek hasonló kísérleteket a Smekál-elmélet ellenőrzésére. Arammérőjük ugyan érzéketlenebb volt Gyulaiénál, a repedések keletkezésekor jelentkező áramugrásokat mégis észlelték, ám elhanyagolhatónak minősítették. A Gyulai-Hartly effektus későbbi kritikusainak ellenvetései egy forrásból táplálkoznak: nem azoknak a feltételeknek a szigorú betartásával végzik a vizsgálatokat, mint a két szegedi fizikus. Az effektus a fent leírt módon csak akkor áll elő, ha a kőso leelőhelye azonos a vizsgálttal, egytengelyű plasztikus terhelést alkalmaznak, és a kristály geometriája azonos a vizsgált darabokéval. Bármelyik feltétel megváltoztatása eltorzítja a jelenséget.

A Gyulai-Hartly féle kísérletet egyébként 40 évvel később a Budapesti Műszaki Egyetem kísérleti fizikai tanszékén - az eredetihez teljesen hasonló berendezéssel - megismételték. [18a] Az effektus az eredeti közleményben leírt módon jelentkezett. Kiderült azonban, hogy pl. a deformáció módjának megváltoztatása a vezetési áram lefutását lényegesen módosítja.

A szilárdtestfizika mai felfogása szerint a vezetőképesség növekedését a kristályban bekövetkező diszlokáció-mozgás idézi elő. A kísérlet folyamán alkalmazott terhelésnél mechanikailag ellentétes előjelű diszlokációk mozognak egymással szemben. Találkozásuk részlegesen megsemmisíti őket, és az annihiláció ionhiányhelyeket hoz létre: ezzel magyarázható az ugrásszerűen megnőtt vezetőképesség.

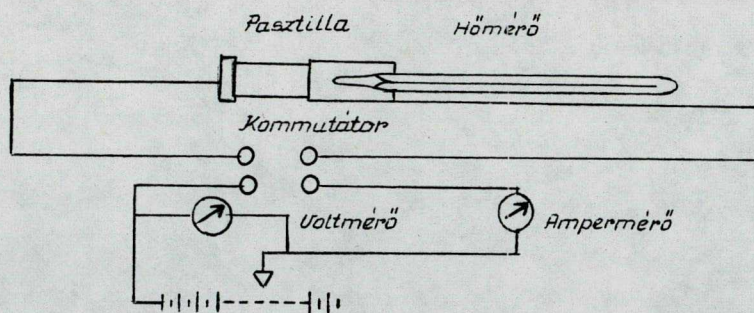
1930 június 2-án a Magyar Tudományos Akadémia III.osztályának ülésén "Adalék az ionvezetés mechanizmusának ismeretéhez"[19] címmel tart előadást. A $PbCl_2$ -n végzett vezetőképesség-vizsgálatokat ismerteti. Gyulai ezuttal is jelentős célt tűzött maga elé. Gudden belső fényelektromos hatásra vonatkozó magyarázatát Smekál vezetési elméletével kapcsolja össze.

Gudden felteszi, hogy belső fotoeffektus előidézésekor a fény által kiváltott elektronok módosítják a fotovezetőben

az elektromos teret. A külső térre szuperponálódik az elmozdult elektronok járulékos tere. A Smekál-féle lazakötésű ionok sokaságát a megnövekedett elektromos tér kimozdítja egyensúlyi helyzetéből. Az elektronáramhoz járuló ionvándorlás jelentősen megnövelt áramot eredményez. Mivel a Smekál-féle laza ion létezését a Gyulai-Hartly effektus igazolta - mondja a szerző - a gondolati kör lezárult.

Nyilvánvaló azonban, hogy az elmélet sokoldalú igazolást igényel, és Gyulai kísérlete újabb bizonyítékot kíván szolgáltatni. A PbCl_2 tiszta anionvezető; ezt már Tubandt igazolta. A külső teret deformáló pozitív ionokat tehát mesterségesen kell az ólomkloridba juttatni. A kizárólag kationvezetést mutató KCl alkalmas e célra.

12. ábra

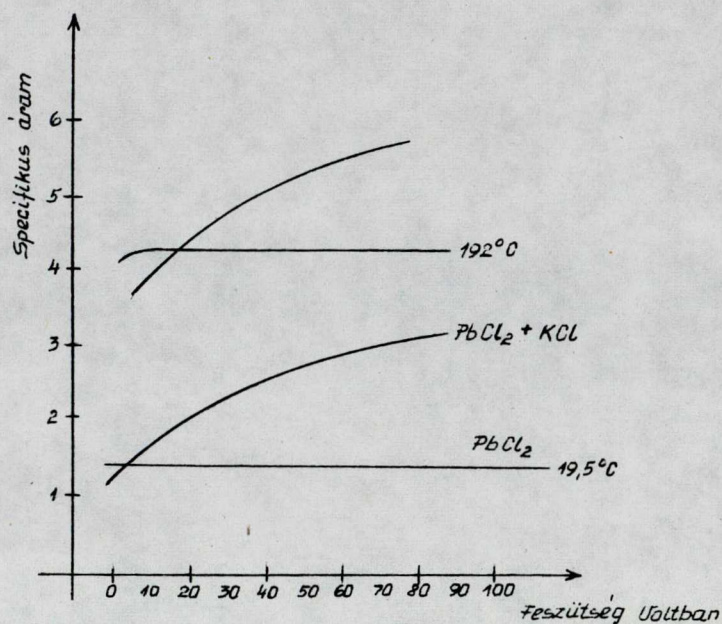


A kísérleti berendezést a 12. ábra mutatja. A pasztillák egy részénél az ólomkloridhoz 0,5 súlyszázalék KCl-t keverték. A kémiai előállítás igen nagy gondnal történt, a préselést azonban - megfelelő eszköz hiányában - egyszerű műhelysáttal végezték. A nyomóerő ismeretlen maradt; utólag azonban kiderült, hogy a jelenség lefolyása ettől a paramétertől nem független.



A vezetőképesség változását az u.n. "specifikus áram" segítségével szemlélteti Gyulai. /Az $\frac{I}{V}$ hányadost nevezi specifikus áramnak. /A kísérletek eredményét a 13. ábrán láthatjuk.

13. ábra



Két különböző hőmérsékleten meghatározta a tiszta ólomklorid és az adalékkal kevert anyag vezetőképességét. A PbCl_2 specifikus áramait két, egymással nagyjából párhuzamos egyenes ábrázolja. Az ólomklorid tehát követi az Ohm-törvényt. A KCl-el kevert anyag specifikus árama viszont a növekvő feszültséggel nő. Másképpen fogalmazva: a növekvő térerő hatására a $\text{PbCl}_2 + 0,005 \text{ KCl}$ ellenállása csökken.

A jelenséget Gyulai a következőképpen értelmezi. A KCl káliumionjainak hozzájárulása a vezetéshez nem indokolja az áramerősség ily mértékű növekedését. A káliumionok száma az ólomklorid vezetést közvetítő klórionjaihoz viszonyítva oly csekély, hogy az áramnövekedést a használt mérőműszer nem is érzékeli. A káliumionok hatásukat úgy fejtik ki, hogy elektromos térükkel megakadályozzák a klórionoknak a rács-szerkezetbe való szilárd beépülését. Így egy káliumion nagyszámú Smekál-féle "laza iont" hoz létre, és a vezetőkép-

pesség megnő, az ellenállás viszont lecsökken.

Megvizsgálja Gyulai azt is, milyen szerepe van a szennyező ion töltésselőjelének a jelenség előidézésében. A kontroll-kísérletnél BaCl_2 -vel kevert ólomklorid pasztillák vezetőképességét mérte meg. A báriumkloridban is negatív klórióionok közvetítik az áramot. A mérések szerint a keverékanyag minden hőmérsékleten pontosan követi az Ohm-törvényt. Gyulai levonja a következtetést: a kristályszerkezetbe beépült ionokra csak ellentétes töltésű ionok képesek "fella-zító hatást" kifejteni.

Míg előbbi publikációjában az ólomkloridkristályok mikro-strukturájában lejátszódó folyamatokat vizsgálja, második e témában vágó dolgozatával a jelenségnek mondhatnánk fenomenológikus megközelítését adja. "Az ólomklorid elektromos vezetőképességének hőmérsékleti függése KCl hatására" c. munkájában a Van' T Hoff formula alkalmazhatóságát vizsgálja meg. [20] A

$$K = A \cdot e^{-\frac{B}{T}} \quad \text{alakú képletben}$$

K: vezetőképesség

A: a vezetési ionok számával arányos állandó

B: az ion kilépési munkája

T: Kelvin skálán mért hőmérséklet.

A mérésekre használt kísérleti eszközt a 12. ábrán már bemutatottuk. A pasztillák összetétele is azonos volt a korábbiakban készítettetekkel. Ezuttal azt tette vizsgálat tárgyává, hogy emelkedő hőmérséklet mellett 4-6 esetben mérve a vezetőképességet, megegyezik-e az a Van' T Hoff formulából számítottal. Ugy találta, hogy $\lg K$ és $\frac{1}{T}$ között lineáris összefüggés áll fenn, tehát a formula KCl -el szennyezett ólomklorid esetében is teljesül.

A vizsgálat értékes eredménye az a megfigyelés, hogy káliumklorid adalékolása a B kilépési munkát kb. 20 %-al lecsökkenti. Ez alátámasztja a "laza ion" elméletet. Az A értékek

nem mutattak értékelhető egyöntetűséget, vagy tendenciát.

A dolgozat bevezetése - mely egyébként logikailag a leírt vizsgálathoz alig kapcsolódik - jól érzékelteti, hogy Gyulai professzor érdeklődését ebben az időben milyen nagy mértékben köti le az ionvezetés mechanizmusa. Mivel Hartly Domokos egyik dolgozatában arra a következtetésre jut, hogy a mechanikai deformáció kb. 20 %-al csökkenti a kősókristály ionjainak kilépési munkáját, saját eredményét azonnal kapcsolatba hozza Hartlyével. A vezetést közvetítő kristályhiba a két esetben nyilván egészen különböző eredetű. A megjegyzés azonban rendkívül jellemző a kutatási témájának gondolkörétől lenyűgözött figyelmű Gyulai szintétizáló törekvésére. Dolgozatának utalásai, lábjegyzetei jól mutatják azt a körültekintő gondosságot, mellyel a vizsgált témák múltját és nemzetközi irodalmát áttekinti.

1933-ban egy hosszabblélegzetű publikáció kapcsán Gyulai visszatér a NaCl kristályok vezetésének problémájához. A "Deformált NaCl kristályok elektromos vezetéséhez" c. közlemény a korábbi vizsgálatait kiegészítő jellegű mérésekről szól. [21] A szerző összefoglalja és magasabb szempontok szerint áttekinti eredményeit.

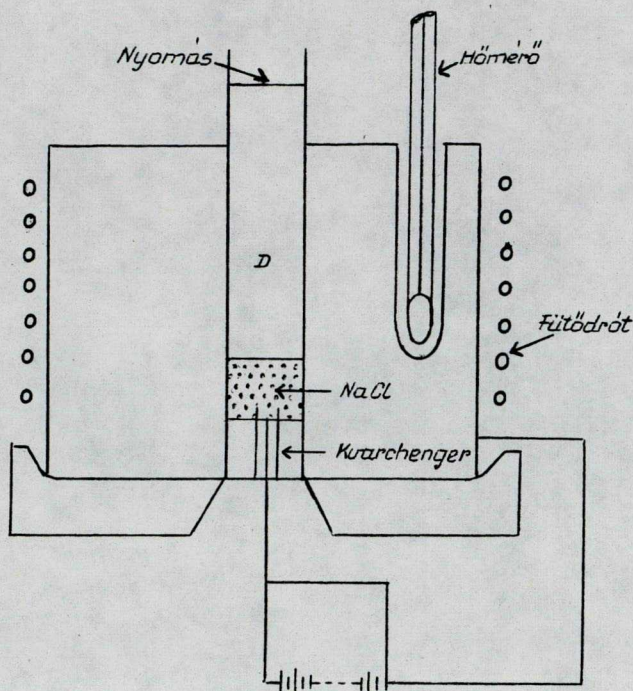
A cikkhez az apropót a Joffé-val folytatott polémia feléledése szolgáltatja. A Zeitschrift für Physik egy 1930-as számában Joffe azt a nézetét nyilvánítja, hogy a Gyulai-Hartly effektus oka nem a kristály ionjainak megnövekedett mozgékonyságában, hanem a belső polarizációs ellenfeszültség hirtelen megszűnésében keresendő. A szegedi professzor, miután vitapartnere kontroll-kísérleteire vonatkozóan néhány rövid, de lényegbevágó észrevételt tesz, rátér újabb vizsgálatainak ismertetésére.

A kísérleti berendezés vázlatát a 14. ábra adja meg.

A D dugattyúval nyomás alá helyezett és huzamosan temperált NaCl pasztilla vezetőképességét Gyulai 5-100 V feszültségintervallumban több helyen megmérte. A vezetőképesség állandó-

nak bizonyult. A dugattyúra nehezedő nyomás hirtelen fokozásakor azonban az áthaladó áram csökkent.

14. ábra

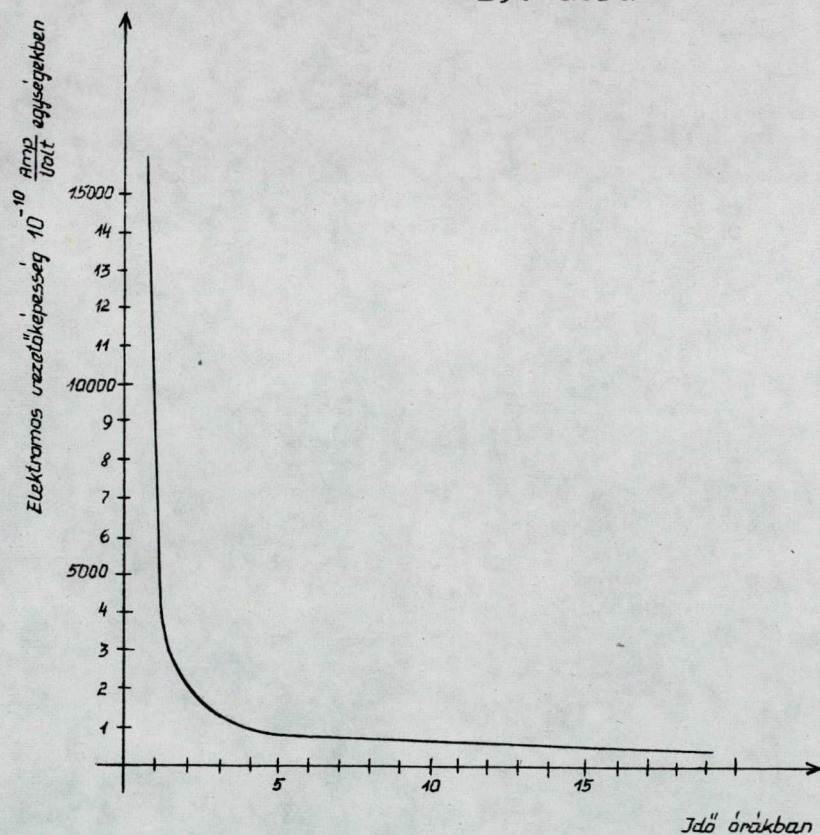


A mérések jól reprodukálható eredménye nyilvánvalóan ellenkezik Joffe feltevésével. Az ellenállás megnövekedésének okát Gyulai abban látja, hogy a megnövelt nyomás elősegíti a rekristallizálódás folyamatát. Az apróbb szemcsék nagyobbakká kristályosodnak át. A folyamat az ionok tökéletesebb megkötésével jár; természetesen csökken a vezetést elősegíteni képes, lazán kötődő ionok száma. Hivatkozik a már egyszerű nagyítóval megfigyelhető folyamatra: a porráőrölt kősót összepréselve, szemmel láthatóan nagyobb élhosszú kristályok alakulnak ki.

A kísérletek eredményét, továbbá a Gyulai-Hartly effektust a következő egységes képbe foglalja. Az egytengelyű nyomás a kristályszerkezetet roncsolja, lazán kötött ionokat szabadit fel. A minden oldalról ható nyomás viszont újrakristályosodást indít meg, és a tökéletesebb kristályszerkezetben lecsökken a laza ionok száma.

Nézetének alátámasztására további bizonyítékokat keres. Hivatkozik arra a tapasztalatra, hogy a préseléssel nyert kő-sókristályok optikai anizotrópiát mutatnak, ám melegítés hatására a kettőstörés megszűnik. Az optikai jelenség arra utal, hogy a hőkezelt kristályban finom ionmozgás indul meg, mely a kettőstörést előidéző mechanikai feszültséget megszünteti. Az ötlet magától adódik: különböző hőmérsékleten préselt kő-sópasztillák elektromos vezetőképességét veszi vizsgálat alá. A magas, 111° , 113° , 123° C hőmérsékleten végzett méréseket hosszú időtartamra, 380-393 órára terjeszti ki. A többnapos időintervallum alatt a kezdeti vezetőképesség az eredeti érték kb. 10^{-4} szerezésére esik le. A vezetőképesség lefutását a 15. ábra mutatja be.

15. ábra



A temperálás során lejátszódó folyamatot Gyulai a következő módon magyarázza. A préselés a kristályban nagy mechanikai feszültséget hoz létre, és ez bőséges forrása a laza kötésű ionoknak. A hőmozgás viszont ionvándorlással jár, és ez a lassú mozgás a mechanikai feszültségek megszűnésé-

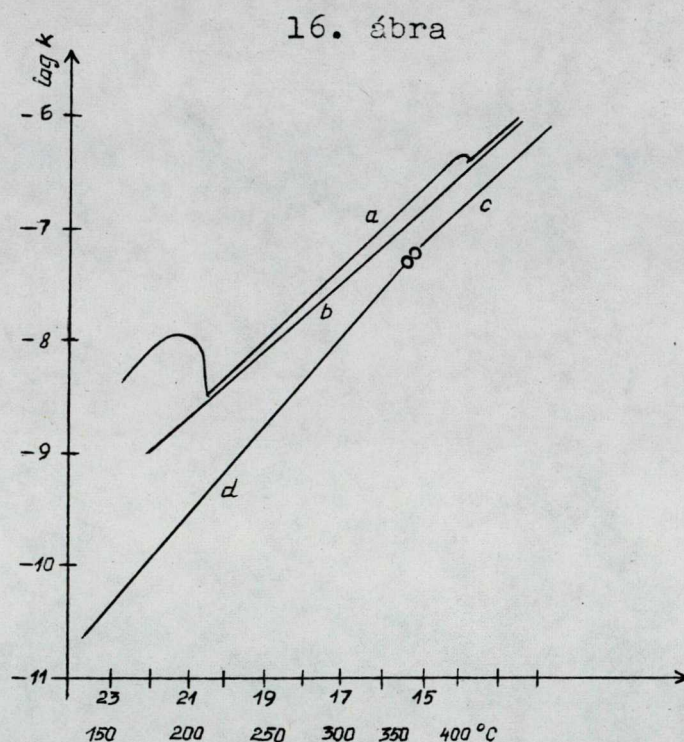
hez vezet. A kialakuló tökéletesebb kristályszerkezet ellenállása lényegesen nagyobb lesz, mint az eredeti pasztilláé.

Ugyanebben az évben Ostap Stasiw bizonyos megfigyelései arra készítetik, hogy az additív festésű KCl kristályok elektromos vezetésével foglalkozzék. A mérések hasznos empirikus adatokat szolgáltatnak - ezekről ad számot Gyulai és Stasiw dolgozata. [22] Megfigyelik, hogy a színezett káliumklorid vezetésére nem érvényes Ohm törvénye. Az elszintelenített kristály esetén fennáll ugyan a feszültség és áramerősség közti arányosság; azonban az eredeti kristályok vezetőképességének csak egy töredékét mutatja az elszintelenített káliumklorid. A dolgozat tartalmaz egy igen lényeges megfigyelést: a szerzők észreveszik, hogy az additív színezés során az alkálifürdőből elektronok vándorolnak a kristályba, valamint azt is, hogy a szincentrumok elektronokat adnak le. Az elektronmozgást kiváltó átalakulásokról nyilvánvalóan nincs tudomásuk; a felismerés így is fontos lépés a jelenség lényegének megértéséhez.

1935-ben a Magyar Tudományos Akadémián tartott előadásában [23] a kősó elektromos vezetését a kristályszerkezetre vonatkozó ismeretekkel kapcsolja össze. A különféle fizikai behatásoknak alávetett NaCl vezetési folyamataira vonatkozóan saját kísérleteire; a kristálynövekedési folyamatoknál viszont W. Kossel alapvető jelentőségű elméleti munkájára támaszkodik. / [23] 671 és 680 oldalának lábjegyzete. / Gyulai azonban - vérbeli kísérleti fizikus lévén - vizsgálatait számos kristálytani megfigyeléssel is kiegészíti.

Az előadás első részében azokat a folyamatokat ismerteti, melyek a hőmérsékleti kezelésnek alávetett és áramtól átfolyt kősópasztillát u.n. stabilis állapotba viszik át. A pasztillákat porrá őrölt kősóból sajtolja, ezuttal már mérve a préselési nyomást és hőmérsékletet is. Az előállítási mód következtében a NaCl számos "laza iont" tartalmaz, azonban folyamatosan emelkedő, majd csökkenő hőmérsékletű kezeléssel a vezetést közvetítő ionok számát fokozatosan

csökkenti. Az elektromos feszültség alá helyezett kristályokon az emelkedő és leszálló ágú temperálást többször megismétli. Bár a vizsgált pasztillákat különböző $/22^{\circ}\text{--}500^{\circ}\text{C}/$ hőmérsékleten préseli, $2000\text{--}23000\text{ kp/cm}^2$ nyomás alkalmazásával, a lényegesen különböző előállítási körülmények ellenére a végeredmény minden esetben ugyanaz: a pasztilla követni kezdi a Van' T Hoff törvényt. Egy jellemző méréssorozat eredményét a 16. ábra szemlélteti.



A pasztillát emelkedő hőmérsékleten temperálták. A konstans hőmérséklet tartása a vezetőképesség esésével jár. /a szakasz/ A leszálló ágú temperálásnál a preparátum követni kezdi a Van' T Hoff törvényt /b szakasz/. A c és d szakasz az újabb temperálás után végzett mérés eredményét reprezentálja.

A megfigyelt tendencia következtében a kísérletekben mért ionkilépési munka mindjobban megközelíti az elfogadott irodalmi értéket.

Gyulai a jelenséget a következőképpen magyarázza. A préseléssel előállított pasztilla még nagyszámú mikrokristály. hal-

maza. A hőmérsékleti kezelés tovább fokozza az ionok "lazaságát". Az elektromos tér azonban az ionmozgást rendezté teszi, és az elmozduló ionok olyan kristálypontokba jutnak el, ahol a környezet hatására stabil kötésbe kerülnek. Az áram befolyására kristályfelépülési folyamat indul meg. Ez addig folytatódik, míg a pasztilla belsőjében a tökéletes kristályok rendezett halmaza ki nem alakul. A stabil állapotban mérhető B kilépési munka azonban a tökéletes egykristályra jellemző irodalmi érték: és az egyezés rendkívül meglepő. Ugyanis a pasztilla még a kezelés után is kristályindividuumok halmaza marad.

Az ellentmondás feloldására Gyulai kristálytani vizsgálatokba kezd, és a jelenség magyarázatára a Kossel-elméletet használja fel. Megfigyelései szerint a kőszó kristályosodása során az egykristályban is kialakulnak belső uregek és egyéb kristályhibák. Maratási kísérletei szerint a nagyobb kristályok finom belső szerkezetet és felépítési szabálytalanságokat mutatnak. Ezek eredetére vonatkozóan a következőket mondja: "Bár a nátriumchlorid szabályos rendszerben kristályosodik, a kristályosodásnál mégis fellepnek olyan jelenségek, melyek már a kristály növekedésénél belevisznek a szerkezetbe kis hiányosságokat." E szabad belső felületekről, éléről és csúcsokról - a Kossel-elméletnek megfelelően - kisebb munkával szakítható ki egy ion, mint egy zárt térbeli rácsból. Az egykristály - fejlődési szabálytalanságai miatt - nem tömör ionrácsként viselkedik, hanem úgy, mint a pasztillák kristályhalmaza. Ez az oka annak, hogy a két kristályféleség Van' T Hoff törvényből meghatározható B -je teljesen azonos.

A tanulmány Gyulai professzor kutatásaiban fontos határkövet jelent. Ebben a közleményben foglalkozik először kristálynövekedési kérdésekkel, és különös figyelmet szentel a kristályhibáknak. Ez a cikk jelzi először azt az érdeklődési irányváltozást, mely elvezeti őt nagyjelentőségű kristálytani eredményeihez, és határréteg elméletéhez.

1935-ben, Boros J. társszerzővel publikált cikkében, a terhelés alá helyezett kősókrisztály eredeti állapotának visszaállítására irányuló kísérleteiről számol be. [24]

Az egyszeri terhelés alá helyezett NaCl kristály a nyomás alól felszabadítva, majd újra terhelve, mindaddig nem mutatja a Gyulai-Hartly effektusnál észlelt áramugrásokat, míg a korábban alkalmazott csúcsterhelést túl nem lépik. Ezt a - még 1927-ben észlelt - jelenséget a kősó "megszilárdulásának" nevezték.

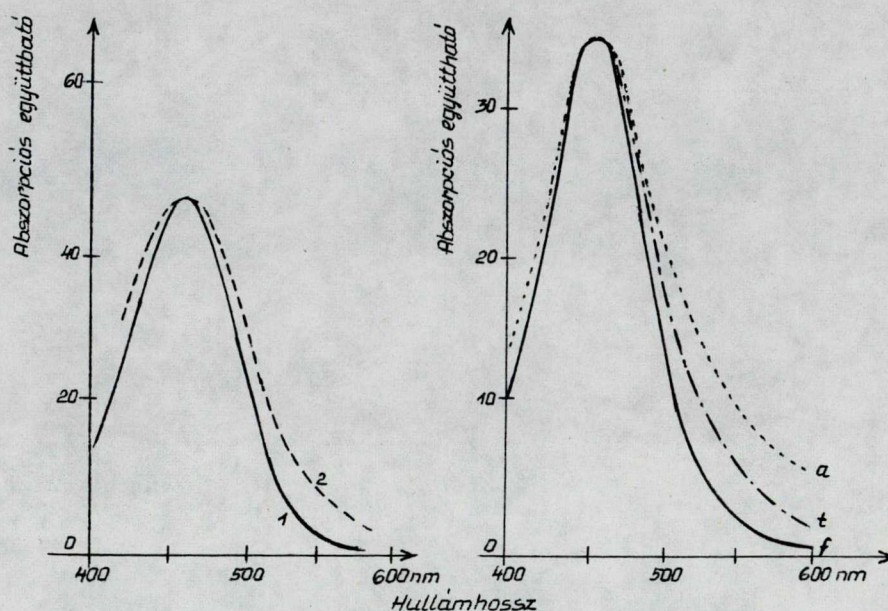
Boros és Gyulai azt vizsgálják, hogyan szünteti meg a hőkezelés ezt az állapotot. Az ellentétes folyamatot /Erholung/ úgy valósítják meg, hogy az egyszer nyomás alá helyezett kristálydarabokat elektromos kályhában 1-5 óra időtartamú 140° - 520° C -os hőkezelésnek vetik alá. A mérések szerint az eredeti állapot visszaállításának mértéke függ a termosztátban való kihevítés idejétől és hőmérsékletétől. A NaCl kristály 600° C-on, 4 órán át temperálva, az ismételt terheléssorozatra az eredeti méretű áramugrásokkal reagál.

Tomka János gyakornok a társszerzője annak a dolgozatnak, melyben Gyulai visszatér a fényabszorpció kvantumos jellegét eldöntő alapvető vizsgálatokra. A Zeitschrift für Physikben megjelenő cikkben a jelenségre vonatkozó új méréseinek eredményét publikálja. [25]

A korábbiakban kitértem arra a polémiára, melyet Gyulai a kősósn kiváltott fényelektromos vezetés kvantumszerűségének kérdéséről A.Joffe-val lefolytatott. Az ismert leningrádi fizikuson kívül azonban A.Arsenjewa is a kvantumszerű kölcsönhatást kizáró eredményhez jutott. Gyulai megkísérli rekonstruálni a vitapartner kísérletének körülményeit, hogy az ellentmondás okát felderítse. Hármass méréssorozatot végez el. Egyrészt felveszi egy frissen röntgenezett NaCl kristály abszorpciós görbét. Másrészt kiméri egy temperált és kb. 15 %-ban csökkent színezésű kristály abszorpcióját.

Harmadsorban viszont - és ez lesz a lényeges mozzanat - előveszi azokat a még Göttingenben besugárzott, és mindezekig sötétben tartott kőszókristályokat, melyeket kilenc évvel ezelőtt hozott haza Szegedre. Ezek a kristályok jelentősen elváltozott abszorpciós görbét adnak, mely erősen hasonlít Arsenjewa mérési grafikonjához. /17. ábra/

17. ábra

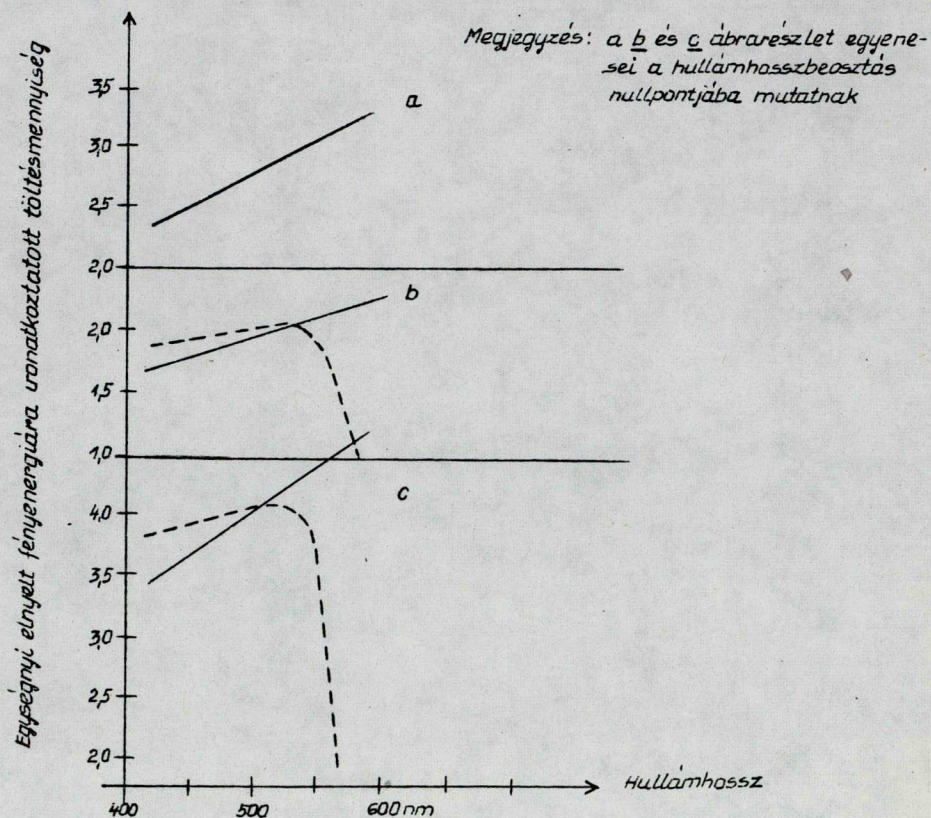


A baloldali ábra 1-el jelölt grafikonja Gyulai, 2 jelű görbéje Arsenjewa mérései alapján készült. A jobboldali ábra f grafikonja frissen röntgenezett kősó, t a temperált kristály, a a kilenc éve röntgenezett kőszókristály abszorpciós grafikonja. Jól megfigyelhető a baloldali ábra 2. és a jobboldali ábra a jelű görbéinek hasonlósága.

Ezeknél a kristályoknál viszont szerkezeti átalakulást tudott kimutatni Gyulai. Arsenjewa kvantumos kölcsönhatást kizáró eredményének oka tehát abban a járulékos energia-vesztésben keresendő, melyet a megváltozott kristályszerkezet a hosszuhullámú tartományban előidézik.

A kvantumszerű kölcsönhatás akkor bizonyított, ha a kiváltott elektronok száma és a hullámhossz között egyenes arányosság áll fenn. A mellékelt grafikonok közül /18. ábra/ az első Gyulai perdöntő kísérletének alapján készült.

18. ábra



A második grafikont Gyulai kilenc év hosszan pihentetett kristályainak abszorpciója alapján, a harmadikat Arsenjewa mérései alapján rajzolta meg. A két utóbbi ábrán a kvantumszerű hatás a hosszúhullámú tartományban valóban nem észlelhető. Feltűnő a két utóbbi ábra közötti hasonlóság is.

A dolgozat Gyulai Zoltán Szegeden végzett munkássága lezárásának tekinthető. Termékeny időszak ez, eredményeinek elismeréseként már 1932-ben levelező tagjául választja a Magyar Tudományos Akadémia. Megjelenik még egy Szegeden irt közleménye 1937-ben, azonban ez a dolgozat a foszforeszcencia tárgykörébe vág, ezért a társszerző /Fröhlich Pál/ munkásságánál ismertetem.

Fröhlich Pálnak és munkatársainak kutatásai

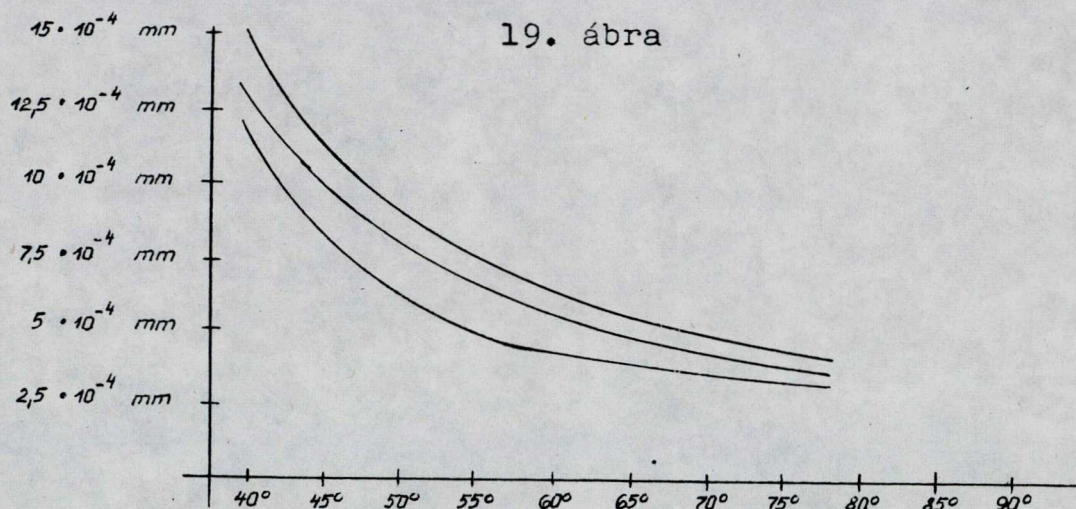
Pogány Bélát, a Természettani intézet első igazgatóját, 1923-ban a Műegyetem professzorává nevezik ki. Fröhlich Pál 1924-ben foglalja el a megüresedett tanszékvezetői állást. Tudományos munkásságáról - mely teljes egészében a kísérleti fizika témakörébe tartozik - egy fénytani tárgyú publikáció szolgáltatja az első információt. A Matematikai és Fizikai Lapok 1924-es évfolyamában jelenik meg a fénytörés geometriai törvényeinek érvényességi határáról irt értekezése. [26]

Egy kísérleti tényből indul ki. Az optikailag ritkább közegből sűrűbbe tartó fénysugarak belülmaradnak a totális reflexió által definiált térszögön /"határkúp"/. A ritkább közeg oldalán lévő fénypontok elméletileg csak akkor láthatók, ha a "határkúp" alkotóit létrehozó sugaraktól bezárt térrészen belül vannak. Kivétel azonban mégis van. A határfelülethez fényhullám nagyságrendű távolságra eső pontok megfigyelhetők akkor is, ha a fent definiált térrészen kívül helyezkednek el.

A különböző sűrűségű közegeket két összefogott üvegprizma közé zárt levegővel illetve folyadékkal realizálta. A vizsgálatokat vörös, zöld és kék fénnel hajtotta végre. Az üveggel társított ritkább közegeket váltogatva, több mérés-sorozatot végzett. A pontszerű fényforrásnak a felülethez való közelítésével jelentősen megnő annak a térrésznek a kúpszöge, ahonnan a fény látható. Egy jellemző grafikont mutat a 19. ábra. A vízszintes tengelyről a fél kúpszög, a függőlegesről a felülettől mért távolság olvasható le.

1925-ben Fröhlich amerikai tanulmányútra megy: tizenkét hónapot tölt Baltimoreban. A Johns Hopkins egyetemen végzett kutatásairól még ugyanebben az évben beszámol a

Zeitschrift für Physik-ben. [27]



A cikk két szempontból is rendkívül figyelemreméltó. Egyrészt összefoglalását adja a lumineszcenciára vonatkozó korabeli ismereteknek, másrészt áttekintést nyújt Fröhlich szisztematikusán végrehajtott kísérleteiről. A fizika ebben az időben gyűjti össze a lumineszcenciára vonatkozó alapvető ismereteket. Fröhlich gondos kísérletek sorával vizsgálja meg a lumineszcenciafény polárosságát befolyásoló tényezőket.

Mindenekelőtt megvizsgálja, hogy festékkoldat poláros fénnel történő gerjesztése esetén függ-e a /polarizáció síkjában történő/ megfigyelés irányától a parciális polározás mértéke. Miután egyértelműen eldönti, hogy nem, diszkutálja a polarizálatlan fénnel történő gerjesztés esetét is. Ezt követően a viszkozitás és a polarizációs fok kapcsolatára tér ki.

Nem hagyja figyelmen kívül az oldószer fotolumineszcenciájának vizsgálatát sem. Tisztázza, hogy a festékek oldására használt glicerín, glükóz, cukorszirup, zselatin, gumiarabikum és ricinusolaj fluoreszkál, sőt poláros fénnel gerjesztve jelentős parciális polárosságot mutat. Polarizációjuk foka 26-34 % közé esik. A többi oldószernél /alkohol, vízüveg, stb./ nem észlelt polárosságot. Az oldó-

szer polarizációs fokot módosító hatásának felfedezése Fröhlich jelentős eredménye. Több fizikus végzett téves megfigyeléseket annak következtében, hogy ezt a jelenséget nem vette számításba.

A cikkben ismertetett vizsgálatok fluoreszcsein, akridin-oranzs, eozin, phloxin B, rodamin 5G extra, rodamin 3B extra, rodamin S, rodamin B extra festékekre terjednek ki. Megállapítja, hogy polarizációjuk foka a növekvő koncentrációval és az emelkedő hőmérséklettel egyaránt csökken.

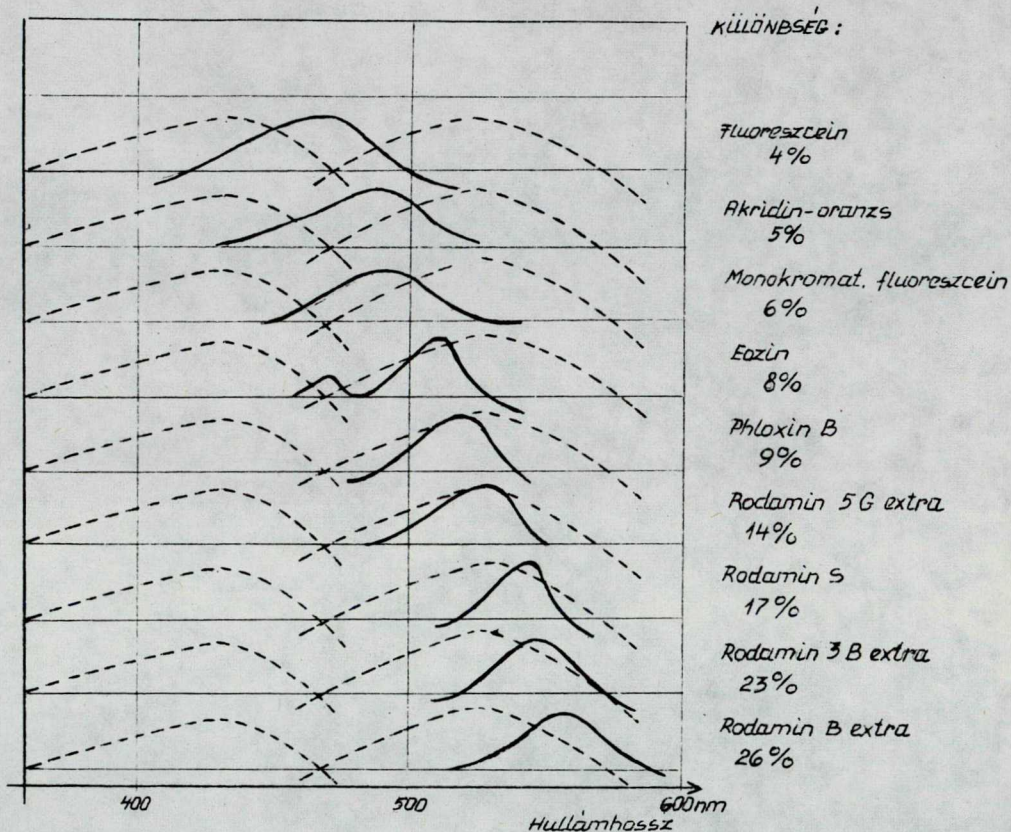
A festékkoldatok gerjesztésére különböző hullámhosszúságú fényt, illetve ultraibolya sugárzást alkalmaz. Hat selektív, a spektrum egy-egy sávját átbocsátó színszűrőből választja ki a hatás kiváltására alkalmasakat. A vizsgált festékkoldatok mindegyikénél tapasztal egy általános érvényű összefüggést: a rövidebb hullámhosszú fény csökkent mértékű parciális polározást vált ki. Észreveszi azt is, hogy a festékek sorozatba rendezhetők a következő tulajdonságuk alapján. Sárga fényre magasabb polarizációs fokot adnak mint kékre. A polarizációs százalékok közti különbség azonban változik, és ennek alapján a festékfajtákból összeállítható egy sor. Fröhlich az alábbi táblázatot közli. /20. ábra/

20. ábra

Festékfajta	Fluorescein	Akridin-oranzs	Monokromat. fluorescein	Eozin	Phloxin B	Rodamin 5G extra	Rodamin S	Rodamin 3B extra	Rodamin B extra
Polarizációs fok %-ban zöld szűrőnél	36	36	36	36	35	35	35	34	34
Polarizációs fok %-ban kék szűrőnél	32	31	30	28	26	21	18	11	8
A polarizációs fokok különbsége	4	5	6	8	9	14	17	23	26
Az abszorpciós sáv közepe nm-ben	477	490	505	515	520	528	540	550	563

Ezután egy sematikus ábrán bemutatja a festékkoldatok abszorpciós maximumát tartalmazó grafikonszakaszt, továbbá a sárga és kékszinű gerjesztés görbéjének lefutását.
/21. ábra/

21. ábra



A festékfajták bejelölése mellett megadja a gerjesztési százalékok különbségeit. A következtetés önmagától adódik: minél nagyobb hullámhosszon abszorbeál a festék, annál jelentősebb a százalékos különbség.

Fröhlich elvégzi az általánosítást is. A vörös fény gerjesztés szempontjából mindig magasabb polarizációs fokot vált ki a rövidebb hullámhosszaknál. A nagyobb hullámhosszú besugárzás azonban nem egyformán hatásos a különböző festékfajtákra.

A széleskörű vizsgálat lehetővé teszi, hogy egy további,

lényeges megállapítást tegyen. Ljovsin 1924-ben felismeri a gerjesztő fény hullámhossza és a polarizációs fok közötti összefüggést. Néhány ellenpélda azonban /pl. a fluoreszcen, a rodulin-vörös viselkedése/ kétségessé teszi a törvényszerűség általános érvényességét. Fröhlich nagyobb pontossággal elvégzett mérései azonban vitathatatlanul igazolják, hogy Ljovsin általánosan alkalmazható törvényt fedezett fel.

A Baltimoreban végzett kutatás eredményeiről szóló beszámoló igen sok értékes, alapvető megfigyelést tartalmaz, és megerősíti a kortárs kutatók helyes eredményeit. Nyilvánvaló, hogy ezek még csak mozaikkövek az egész kompozíció összeállításához, de igen értékes darabok. Fröhlich megállapításait egy lépéssel kell csak megtoldani, és eljutunk az anyagokra jellemző polarizációs szinkép fogalmához. Méltán tekinti tehát Fröhlich Pált a szakirodalom a polarizációs szinképfogalom egyik kialakítójának. [28]

A tanulmányát következményének tekinthető, hogy a hazatérő Fröhlich professzor figyelme rövidesen azokra a fényjelenségekre irányul, melyek molekuláris hatásokkal kapcsolatosak. Bár elsősorban a foszforeszcencia jelenségét veszi vizsgálat alá, nevéhez jelentős felfedezés fűződik a fluoreszcencia területén is.

Az 1920-as évek során tisztázódik, hogy a festékkoldatok is emittálhatnak poláros fluoreszcenciafényt. Ismertté válik az is, hogy az oldatok zselatinnal vagy cukorral való "megszilárdításuk" után foszforeszkálóvá válnak. A fotolumineszcenciát mutató oldatok általában egyaránt emittálnak fényt cseppfolyós és szilárd halmazállapotban. A két sugárzás között azonban lényeges különbséget tapasztaltak. Míg a cseppfolyós halmazállapotban észlelt fluoreszcenciafény poláros, a megszilárdult festékkoldat foszforeszcenciasugárzása nem mutatott polárosságot.

A tapasztalati tény nyilvánvaló ellentmondásossága felkeltette Fröhlich Pál érdeklődését, és a jelenség finomabb mechanizmusát kutatva, mindenekelőtt a felhasznált kísérleti eszközöket tette vizsgálat tárgyává. [29] Megállapította, hogy a méréseknél felhasznált két eszköz, a Savart lemez és a Cornu polariméter egyaránt bizonytalanná válik kis fényintenzitások esetében. A lumineszcenciavizsgálatok viszont sokszor igényelik gyenge fényáramok vizuális összehasonlítását. A módszer tehát szubjektív hibát rejt magában. A kérdéskör alapos diszkussziója azonban felfedte a polarizáció látszólagos hiányának mélyebben fekvő okait.

A festékkoldat által kisugárzott lumineszcenciafény intenzitása nő, ha a megvilágítás erősségét fokozzuk. A növekedés azonban csak egy határig tart. Az oldat fluoreszcencia /vagy foszforeszcencia/ sugárzásának ez a maximuma változik, ha a festékkoncentrációt változtatjuk. Van tehát egy olyan koncentráció, melynél a fluoreszcenciafény a legerősebb: vizsgálat céljára ez a koncentráció lenne a legalkalmasabb. A polarizáció foka viszont a csökkenő koncentrációval nő, ezért a festékanyagra jellemző polarizációs fok meghatározása céljából a mérést növekvő hígítású oldatsorozaton kell végezni. A zavartalanul emittáló molekulákra jellemző polarizációs fok a méréssorozat határértéke lesz. A megfelelően kicsi koncentrációnál azonban a festékkoldat már gyenge fényt sugároz, a mérési eredmények bizonytalanná, ellentmondóvá válnak.

A gyenge fényáramok pontos mérése céljából Fröhlich professzor fotocellát alkalmazott. A fotocellára esett az analizáló nikolon át érkező polarizált fény. A cella áramát fonalas elektrométerrel mérte. Az áramerősség a fényintenzitással arányos lévén, a maximum és minimum mérésével a polarizációs fok meghatározható.

Az érzékeny berendezés lehetővé tette egy olyan hiba kiküszöbölését, mely több kutató vizsgálatainak eredményét

szisztematikusan meghamisította. Fröhlich - mint említettük - már 1925-ben észreveszi, hogy a tiszta oldószer is mutat gyenge fluoreszkálást; sőt poláros gerjesztés esetén ez a fluoreszcenciafény is parciálisan poláros lesz. A gyenge effektust azonban a vizuális módszerekkel nem lehetett a vizsgált festék által adott polarizációtól elkülöníteni. A fotocellás eszköz viszont alkalmas az oldott anyag polarizációs fokának izolált meghatározására.

Fotocellás műszerrel vizsgálja meg néhány foszforeszkáló szilárd oldat polarizációját. A szubjektív eszközökkel végzett mérések szerint ezeknek az anyagoknak a fénysugárzása polárosságot nem mutatott. Fröhlich vizsgálatait rodamin B-re, eozinra és rodulin-oranzs festékfajtákra terjesztette ki. A zselatinban megszilárdított rodamin B oldatára vonatkozóan az alábbi mérési adatokat kapta:

Koncentráció gr/cm ³	Polározás %-ban
10 ⁻¹	0,0
10 ^{-1,5}	0,2
10 ⁻²	3,9
10 ^{-2,5}	13,9
10 ⁻³	23,8
10 ^{-3,5}	37,5
10 ⁻⁴	44,2
10 ^{-4,5}	45,4

Az oldat 10⁻¹ gr/cm³ koncentrációnál sugározza a legintenzívebb foszforeszcenciafényt. A vizuális eszközökkel ennél a koncentrációnál a legcélszerűbb mérni. A táblázatból azonban látszik, hogy a foszforeszcenciafény ilyen nagy koncentrációnál nem poláros. A táblázat adataihoz még hozzátesszük, hogy 10⁻³ gr/cm³ koncentrációnál a Cornu és a Savart műszer egyaránt használhatatlanná

válik; bár a jellemző polarizációs fok közel két nagyságrenddel kisebb koncentrációnál jelentkezik csak.

Fröhlich méréseivel kétségtelenül bebizonyította, hogy Pringsheim és Vavilov azért találták a foszforeszcenciafényt depolarizáltnak, mert méréseiket - eszközeik érzéketlenségétől bekorlátozva - nagy koncentráció mellett végezték. A foszforeszcencia intenzív, jól mérhető fényt adott; ám a magas koncentráció miatt ez még nem polarizált.

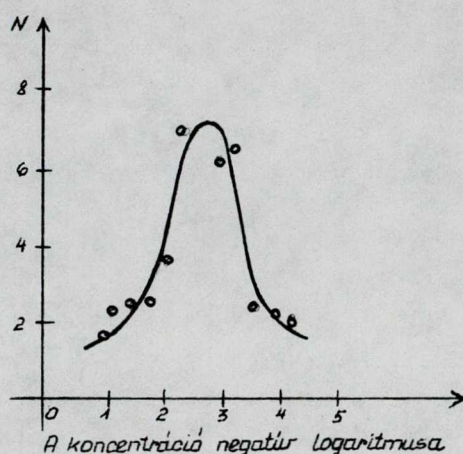
A lumineszcenciára vonatkozó ismeretek helyesbitésén túlmenően jelentős érdeme Fröhlichnek, hogy elsőik között alkalmazza foszforeszcencia-vizsgálatokra a fotocellás mérőeszközt.

Fröhlich Pál tudományos munkásságának jelentős hányadát teszik ki a zselatinfoszforok tárgykörébe vágó kutatások. 1937-ben Gyulai Zoltánnal közös cikket jelentet meg a szekundér-foszforeszcencia jelenségéről a Zeitschrift für Physik-ben. [30] A vizsgált anyag zselatinban oldott rodulin-oranzs N. A meghatározott koncentrációjú festéket zselatinban keverték el, majd az oldat kiszáritása útján színezett zselatinlemezt állítottak elő. A lemez felületére jól körülhatárolt, folt alakú, intenzív fehér fényt bocsájtottak. Erőteljes besugárzás után megszüntették a gerjesztést, és megvárták a foszforeszcencia lecsengését. Ezt követően lényegesen gyengébb gerjesztőfényvel megvilágították a zselatinlapot, most már a teljes felületet. A másodlagos besugárzás hatására a folt újra foszforeszkálni kezdett, és fényessége lényegesen felülmulta a környezetét. A megvilágítást fenntartva a folt mind gyengébben, a környezet mind erősebben világított; végül a foszforeszkálás mértéke azonossá vált.

Fröhlich és Gyulai mérési eljárást dolgoztak ki a háttér és a folt foszforeszkálásának összehasonlítására, és megvizsgálták, mitől függ az effektus erőssége. Megállapították, hogy a tapasztalt "előgerjesztés" nagyságát kizárólag

a festékanyag koncentrációja határozza meg. A növekedés nem monoton, a folt környezetéhez viszonyított felületi fényessége egy koncentrációfoknál maximumot ér el. Az előgerjesztés koncentrációfüggését grafikusán megjele-
nitve az alábbi ábrát kapták /22. ábra/:

22. ábra



N egy viszonyszám, az előgerjesztett felület emissziójának és a háttér emissziójának hányadosa.

Az effektust rodulin-oranzson kívül eozinon, erytrozinon, rodamin S-en és metil-eozinon is kiváltották. Az előgerjesztett felület másodlagos foszforeszcenciája azonban gyengébbnek bizonyult a kialudt rodulin-foszfor utósugárzásánál.

A kísérletek kimutatták, hogy a zselatinfoszfor felnelegítése csökkenti a másodlagos foszforeszcenciát. A zselatin olvadáspontja közelében az előgerjesztés már nem váltja ki az ismertetett foszforeszcenciajelenséget.

Nyilvánvaló, hogy a szerzők a szilárdtestfizika akkori fejlettségi fokán nem tehettek kísérletet a jelenség elméleti magyarázatára. A felfedezett hatás azonban kiindulópontot szolgáltat a gerjesztés mechanizmusának vizsgálatához, a különböző mélységű lokalizációs nivók rendszerének feltárásához.

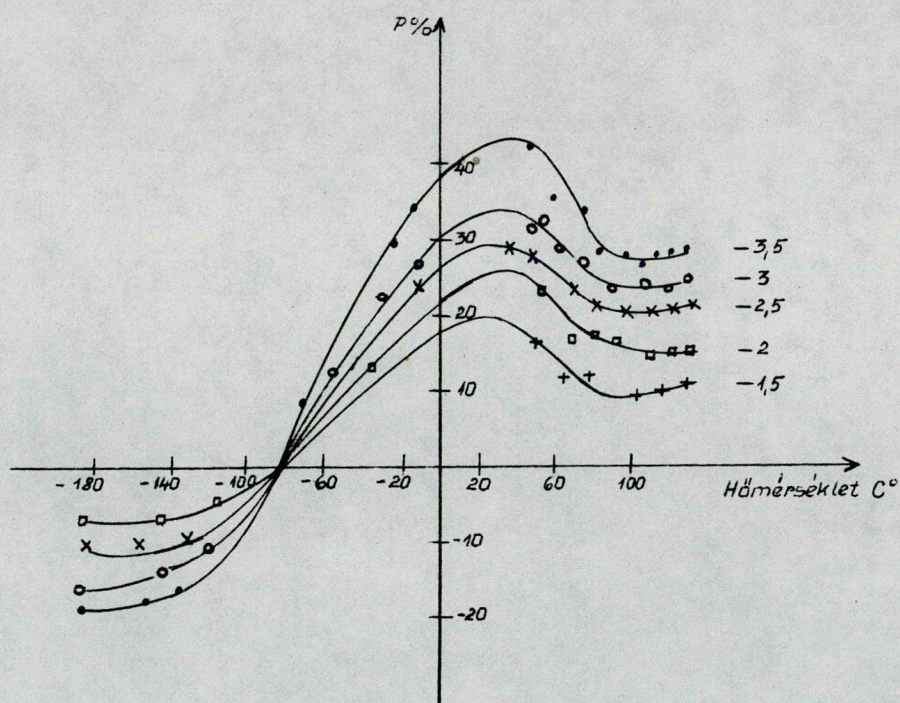
Fröhlich 1940-ben a szilárd festékfoszforok negatív polarizációjú emissziójáról számol be Gombay Lajos társszerzővel publikált értekezésében. [31] A nagy gonddal megtervezett kísérletsorozat első sorban az emissziós centrumok természetének mélyebb megismerését célozta, és sok figyelemreméltó megfigyelést eredményezett. A vizsgált festékanyagok a rodulin-oranzs N, metilviolette 5B, eozin és erythrozin voltak. A festéket zselatinban oldották fel, és kiszáritás útján $10^{-1,5}$ - $10^{-3,5}$ gr festék/cm³ koncentrációjú zselatinlemezkeket állítottak elő. A lemezeket cseppfolyós levegővel hűtve, illetve elektromos úton melegítve, viselkedésüket -180° C-től $+100^{\circ}$ C-ig terjedő hőmérsékleti intervallumban vizsgálták.

A zselatinlemezeket mindenekelőtt szobahőmérsékleten $/22^{\circ}$ C/ vizsgálták meg. Lineárisan poláros megvilágítófényt alkalmazva meghatározták a csökkenő koncentrációjú festékkoldatok parciális polározottságának mértékét. A foszforeszcenciafény polározottsága a csökkenő koncentrációval fokozódott. Ezt követően a zselatinfoszfort -180° C-ra hűtötték, és ismételten meghatározták a polarizáltság fokát. A rodulin és a metilviolette negatív polározottságot mutatott, az eozinon minden koncentrációnál 0 százalékos polarizáltságot mértek.

Ezt követően a rodulinfesték polarizációját úgy határozták meg, hogy a hőmérsékletet fokozatosan emelték. A növekvő hőmérséklettel a negatív polározás mértéke csökkent. Kb. -80° C-nál a polarizációs fok zérussá válik, ettől kezdve a polarizáció pozitív, és monoton növekedést mutat. A polarizáció kb. 40° C hőmérsékleten maximumot ér el, ezután csökken, majd konstanssá válik. A különböző koncentrációjú zselatinfoszforok e tekintetben teljesen azonos módon viselkednek. A jellemző mérési eredményeket rodulin esetében az alábbi táblázat, a grafikonokat a 23. ábra mutatja be.

A koncentráció logaritmusa		-1,5	-2	-2,5	-3	-3,5
Parciális pol. foka %-ban	Alaphőmérséklet +22°C	14	20,5	25	28,5	35
	-180°C	0	-8	-10	-17	-19
	Hűtés után + 22°C	20	26,4	30,2	33,2	43
	Szelektív maximum /kb. 30°C-nál/	20,1	27	30,3	33,5	43,5
	+100°C	9,5	16	22	26	28,5

23. ábra

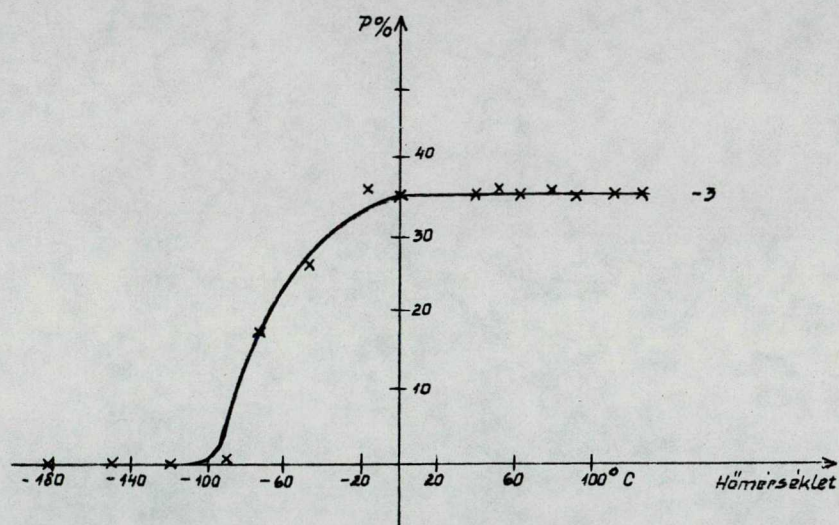


A szerzők a következő érdekes megállapításokat teszik. A temperálás során a 22°C-t újra eléri a festék, azonban a mért polarizációs fokok a kiindulási méréssorozat eredményeinél magasabbak. Másrészt megállapítják azt is, hogy a mély hőmérsékleten jelentkező negatív polározás csak akkor lép fel, ha előzetesen a foszfört -170°C alá /kritikus

hőmérséklet/ hűtik. Az eozin esetében - mondják a szerzők - a kritikus hőmérséklet nyilván -180°C alatt van, ezért nem jelentkezett a negatív polározás.

Amennyiben a festékfoszfort szobahőmérsékletéről 100°C -ra melegítik, és 24 óra múlva megkísérlik felvenni a temperálási grafikont, az lényeges eltérést mutat a 23-as ábrához viszonyítva. Nem jelentkezik negatív polározás, továbbá eltűnik a maximum. /24. ábra/

24. ábra

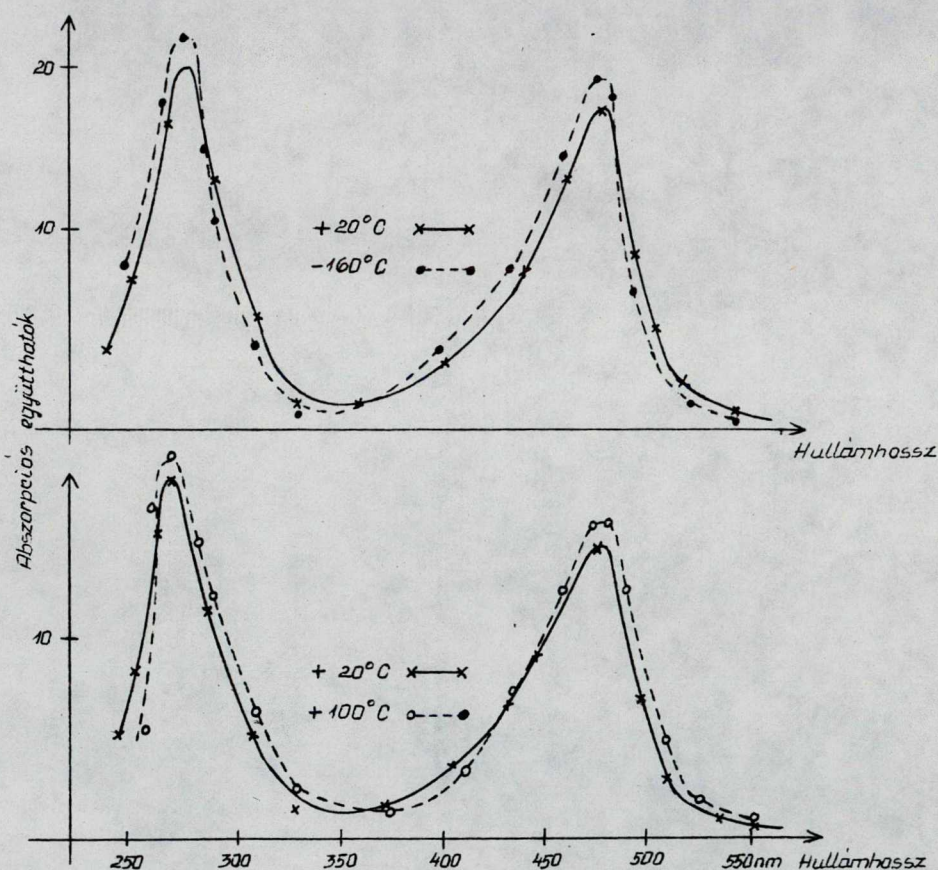


A szerzők világosan megfogalmazzák a konkluziót: az emissziós centrumok strukturáját mind a magas hőmérséklet, mind a kifagyasztás megváltoztatja. A mély hőmérséklet azonban nem okoz maradandó változást, mert a megismételt temperálás a foszfort a 23. ábrán bemutatott állapotsoron viszi végig. A kihevités viszont az emissziós centrumok szerkezetét irreverzibilis módon változtatja meg. A szerzők eredményeiket Perrin és Jablonski elmélete alapján értelmezik.

A zselatinfoszforok tulajdonságainak megismeréséhez járultak hozzá Mischung Ilona 1937-ben végzett vizsgálatai

is. [32] A Kísérleti fizikai intézetben kivitelezett kísérletsorozattal a zselatinfoszforok abszorpcióját kívánta meghatározni. A 240 nm - 800 nm intervallumra kiterjedő méréseket rodulin-oranzs N festék zselatinoldatán végezte el. Az eredményt a tiszta oldószer abszorpciójának ki-mérésével is kiegészítette. A tiszta zselatin jelentős ab-szorpciót csak az ultraibolya tartományban mutatott. A festékoldat viszont két, közel azonos alakú abszorpciós maximumot adott a látható és az ultraibolya szinképben. /25. ábra/

25. ábra



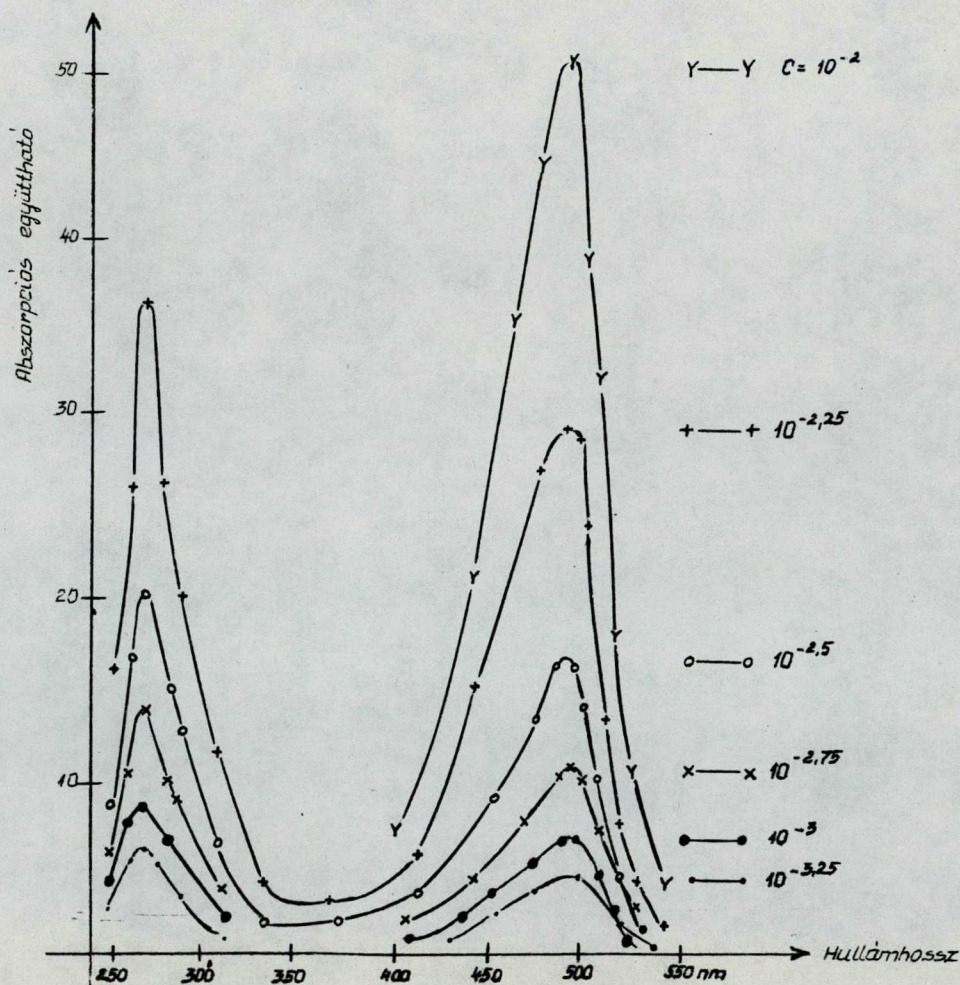
A kísérlet érdekes mellékeredménye a következő. Az ab-szorpció fény hatására időben növekedett, és egy fényin-tenzitástól és lemezvastagságtól függő maximumot ért el. Mischung a jelenséget Fröhlich és Gyulai által ugyancsak 1937-ben észlelt, korábbiakban leírt előgerjesztési ha-tással hozza kapcsolatba. A fénybesugárzás hatására jelent-

kező megnövelt abszorpció és emisszió összefüggésének bizonyítékeként megemlíti, hogy az előgerjesztettség hatásának megszűnése mindkét esetben kb. ugyanannyi időt igényel.

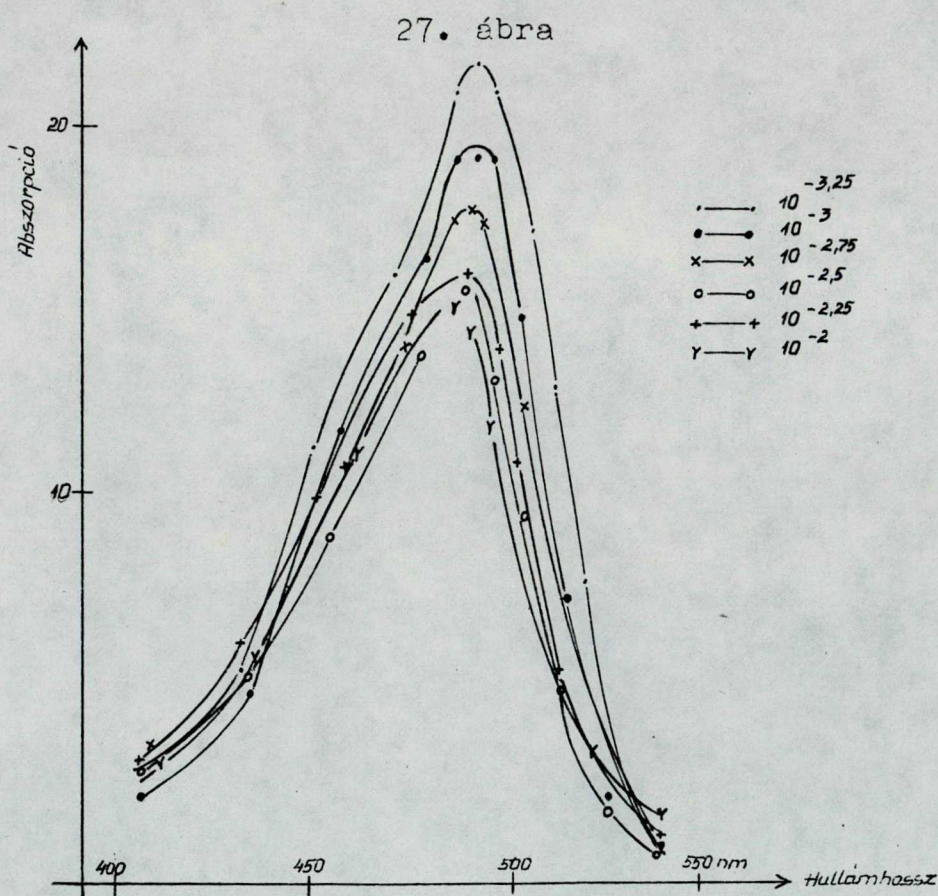
Mischung Ilona további - 1940-ben publikált vizsgálatait ugyancsak a zselatinfoszforok abszorpciójának témakörére vonatkoztak. [33] Kiindulási ponttúl Söderborg és Plaats kutatásait választotta, melyek a Beer törvénynek hig festékkoldatokon való érvényesülését diszkutálták. Mischung a szilárd zselatinfoszforokat vizsgálta meg abból a szempontból, követik-e a Beer törvényt.

A rodulin orange N festéken elvégzett, gondosan tervezett kísérletsorozattal az $I = I_0 e^{-\alpha d}$ alakú képlet abszorpció-koefficiensét határozta meg hat különböző koncentrációra. A mérési eredményeket koordinátarendszerben ábrázolva az alábbi összefüggést kapta /26.ábra/.

26. ábra



Jól megfigyelhetők az ultraibolyában, illetve a látható spektrumban már korábban /1937/ észlelt abszorpciós maximumok. A legfelső görbe tartozik a legnagyobb 10^{-2} gr/cm³-es koncentrációhoz, az alsó grafikon $10^{-3,25}$ gr/cm³ koncentrációra vonatkozik. Látható, hogy az abszorpciós koefficiens a növekvő koncentrációval nő. A Beer törvény érvényesülésének vizsgálatához viszont az α koefficiensket azonos koncentrációra kell átszámolni. Mischung ezt elvégezte, és az eredményeket ismét koordinátarendszerben ábrázolta. Amennyiben a Beer törvény szigorúan érvényes, a hat grafikonnak egybe kell esnie. A grafikonokat a spektrum látható részébe eső maximum környezetében 27. ábra szelvényezi.



A legmagasabban fekvő görbe ezuttal a $10^{-3,25}$ -ös minimális koncentrációhoz tartozik. Az alul elhelyezkedő grafikonok $10^{-2,5}$, $10^{-2,25}$, 10^{-2} koncentrációhoz tartoznak. Összefoglaló jelleggel a cikk szerzője annyit állapít meg,

hogy ezen a koncentrációtartományon belül az abszorpció a Beer törvénynek megfelelő mértékű.

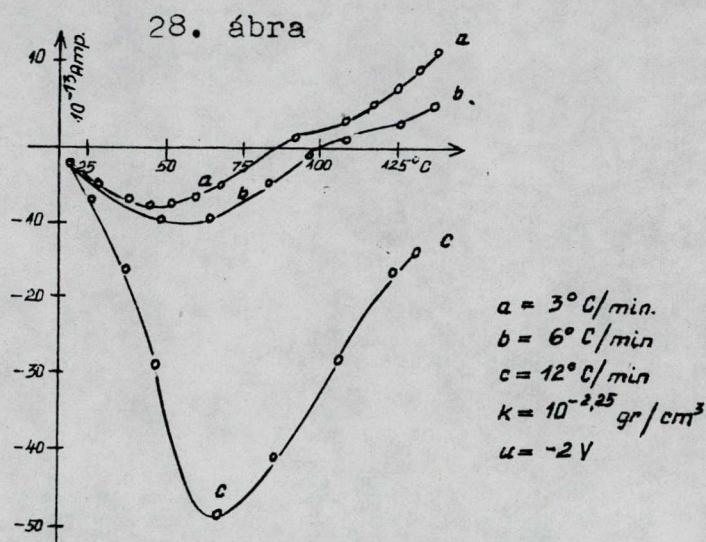
A higabb oldatok Beer törvénytől való eltérését a fluoreszkáló festékkoldatoknál tapasztaltak analóg jelenségeként értelmezi. A fluoreszkáló oldatok a koncentráció csökkenésével növekvő extinkciót mutatnak. Az abszorpciónak a Beer törvényben megadott érték feletti többlete fluoreszcenciára fordítódik. Mischung feltételezi, hogy a foszforeszkálás mechanizmusa hasonló, és az abszorbeált fényenergia-többlet lumineszkálást gerjeszt a foszforban.

Gombay Lajos 1939-ben a zselatinfoszforok új szempontból történő vizsgálatát választotta kutatásai és egyben doktori disszertációja tárgyául. [34] A szilárd festékkoldatok elektromos vezetőképességét határozta meg különböző koncentrációk, illetőleg folyamatosan emelkedő hőmérséklet esetében.

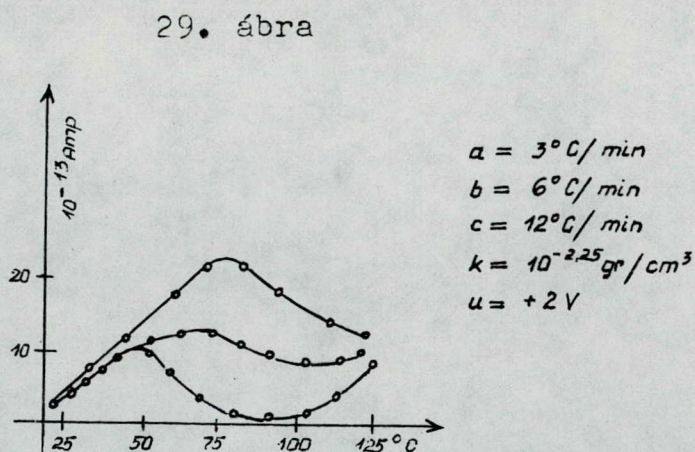
A növekvő festékkoncentráció rohamosan emelkedő vezetőképességet eredményezett, ami nem meglepő. Szokatlan jelenséget figyelt azonban meg Gombay a hőmérsékletfüggés tanulmányozása során. A zselatindarabra először negatív feszültséget kapcsolt, és így határozta meg /konstans -2 V feszültség mellett/ a különböző hőmérsékletekhez tartozó áramerősségeket. Megállapította, hogy az áram egy darabig nő, aztán csökkenve zérussá válik, majd ellentétes irányúvá lesz. Egy jellemző áramlefutást mutat a 28. ábra a/ görbéje.

Tovább bonyolította a dolgot, hogy megnövelt melegítési ütemet alkalmazva a grafikon jellege ugyan nem változott, a jellemző értékek azonban /minimum, minimumhoz tartozó hőmérséklet/ folyamatos eltolódást mutattak. /28. ábra b/ és c/ görbéje./ A megfigyelt jelenség különböző festékkoncentrációjú zselatinlemezekon azonos jelleggel következett be.





A feszültségforrás polaritását felcserélve ellentétes irányú áram keletkezett. Jelentkezett az árammaximum, a csökkenő szakaszon azonban nem kapott ellenkező irányú áramot /29. ábra/.



Gombay a jelenséget úgy magyarázza, hogy a kísérlet során egy új elektromotoros erő keletkezik, melynek iránya független a külső feszültség irányától. A jelentkező elektromotoros erőt kísérletileg kimutatja, és megvizsgálja az eredetét is. Kiderül, hogy a belső elektromos tér előállításában a felmelegítés és a külső feszültség egyaránt közreműködik.

Gombay az eredményeket Gudden, valamint Pohl által beve-

zetett primér és szekundér áram fogalmával értelmezi. A zselatinfoszforok hőkezelését a kristályoknál alkalmazott fénybesugárzás hatásával állítja párhuzamba.

A dolgozat egy érdekes megfigyelést is közöl a vezetőképesség és a foszforeszcencia-emisszió közötti kapcsolatáról; ezt azonban nem teszi további vizsgálat tárgyává. [34]

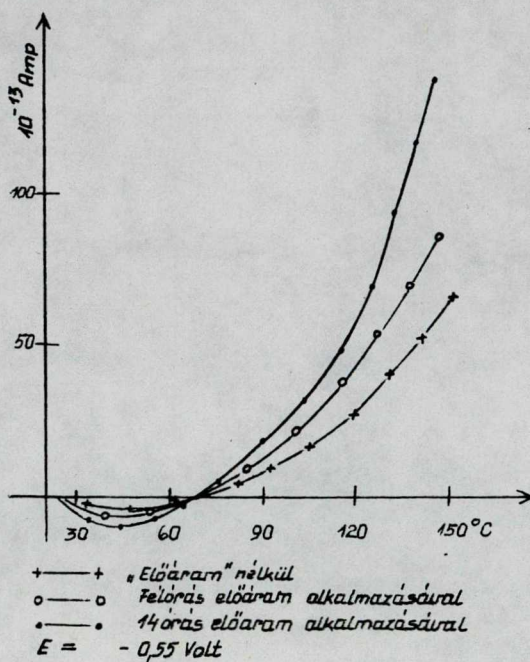
Gombay 1942-ben a zselatinfoszforok vezetőképességét módosított feltételek között vizsgálta meg. [35] A zselatinban oldott rodulin oranzs N koncentrációját nem változtatta, viszont a lemezeket elektromos előkezelésnek vetette alá. Mielőtt a zselatinlemez - feszültség alatt történő - egyenletes hőmérsékletemelését megkezdte volna, fél, tizennégy, illetve huszonnégy órán keresztül áramot /"előáramot"/ bocsátott keresztül rajta. Korábbi kutatásainak tapasztalatai alapján tudta, hogy a jelentkező elektromotoros erőt a külső feszültség és a hőkezelés együttes hatása váltja ki; a két tényező közül az egyiket most előzetesen alkalmazta.

A vizsgálat eredménye egyértelműen kimutatta, hogy az "előáram" a jelenség lefolyását lényegesen megváltoztatja. 1939-ben végrehajtott mérései szerint negatív feszültségnél nem tapasztalt lényeges eltérést -2 és -20 V alkalmazásánál; ezuttal viszont a grafikonok lefutása karakterisztikusan megváltozott a -0,5 V-től -13,2 V-ig terjedő feszültségintervallumban. Különböző alakot vesznek fel az eltérő idejű "előáramhoz" tartozó görbék is. A 30-as ábrán -0,55 V mellett felvett görbék láthatók.

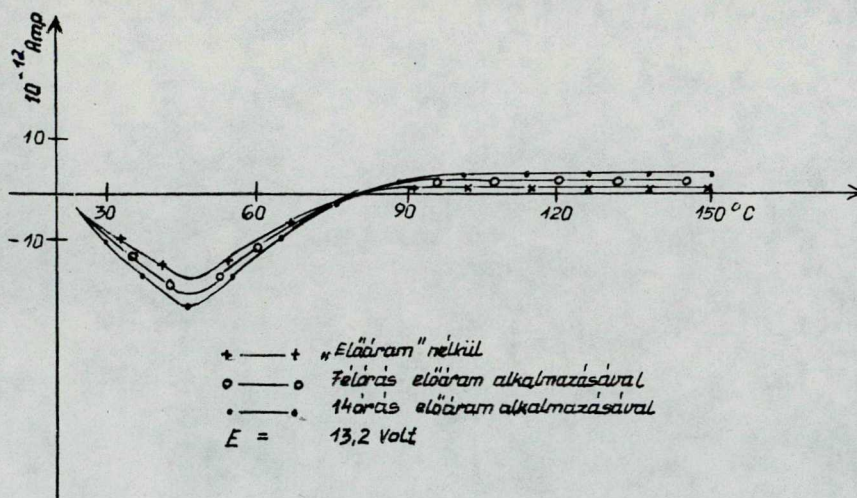
A 31. ábra ugyanezen méréssorozat eredményét mutatja be grafikusán -13,2 V feszültség alkalmazása esetén.

Az áramkezelés hatására bekövetkező belső változások telítődést mutatnak: a 24 órás "előáram" hatása már alig különbözik a 14 órásétól.

30. ábra



31. ábra



Gombay a primér és szekundér áram fogalmát alkalmazva magyarázatot ad az elektromotoros erő természetére vonatkozóan. A feszültség keletkezésének okát a zselatinfoszfor és az elektródok érintkezési felületén lejátszódó folyamatokban jelöli meg.

Fröhlich professzor - életének utolsó évéig - kitartóan műveli fiatal fizikusként választott kutatási területét.

Utolsó, 1948-ban megjelent dolgozatai is a zselatinfoszforokra vonatkoznak. Megvizsgálja forgó mágneses tér zselatinfoszfor lapocskákra kifejtett hatását. Méri a forgatóhatás függését a festékkoncentrációtól, valamint kitér az 1937-ben felfedezett "előgerjesztés" módosító hatásának vizsgálatára is. Kapcsolatot keres a zselatin festékfoszfor molekuláinak orientációja és az előgerjesztés jelensége között. A vizsgálatokban, a dolgozatokban munkatársként új nevek jelennek meg. A közben felnevelkedett fizikusgeneráció tevékenysége azonban már a szegedi fizikai kutatások második nagy korszakába vezet át.

Bay Zoltánnak és munkatársainak kutatásai

Bay Zoltán nem a kolozsvári egyetem szellemi vonzáskörébe tartozó kutatókkal érkezik Szegedre. Egyetemi tanulmányait Budapesten végzi el, majd doktorálását követően ösztöndíjasként négy évet tölt Berlinben. Tudományos tevékenységét a Physikalisch-Technische Reichsanstaltban, valamint a Fizikai-Kémiai Intézetben fejti ki. Az aktív nitrogénre vonatkozó kutatásai során e gázban spektroszkópiai úton szabad nitrogénatomokat mutat ki. Vizsgálatai eredményeit idézni kezdi a nemzetközi szakirodalom. Eredményesek a hidrogénmolekula kontinuos ultraibolya spektrumára vonatkozó kutatásai is. Ezen a területen mutatkozik meg először Bay Zoltánnak az az adottsága, mely pályafutása során több alkalommal megnyilatkozik majd. Rendkívüli áttekintőképességével meglátja a tisztán tudományos kutatás alkalmas eredményeiben a felhasználás lehetőségét, és kiváló gyakorlati érzékkel fejleszti találmánnyá a technika szférájába átültetett gondolatot. Kutatásainak gyakorlati eredménye egy ultraibolya sugárforrás: a Bay-Steiner féle lámpa.

A jelentős tudományos sikereket elérő fizikust meghívja az - Ortvay Rudolf eltávozásával megüresedett - elméleti fizikai tanszékre a szegedi egyetem. A tanszékét elfoglaló fiatal professzor nem tagadja meg a kísérleti fizika iránti elkötelezettségét, és a rendelkezésére álló szerény lehetőségek között laboratóriumot rendez be magának a jelenlegi Kísérleti Fizikai Intézet második emeletén.

A témát és a kísérleti technikát készen hozza Berlinből. Utolsó vizsgálatait, melyekről már idehaza, a Matematikai és Fizikai Lapokban számol be, ritkított gázokban létrehozott nagyintenzitású áramlökésekre vonatkoznak. [36]

Mivel berlini kísérletei mintegy bevezetését jelentik Sze-

geden végzett kutatásainak, kitérek rövid ismertetésükre.

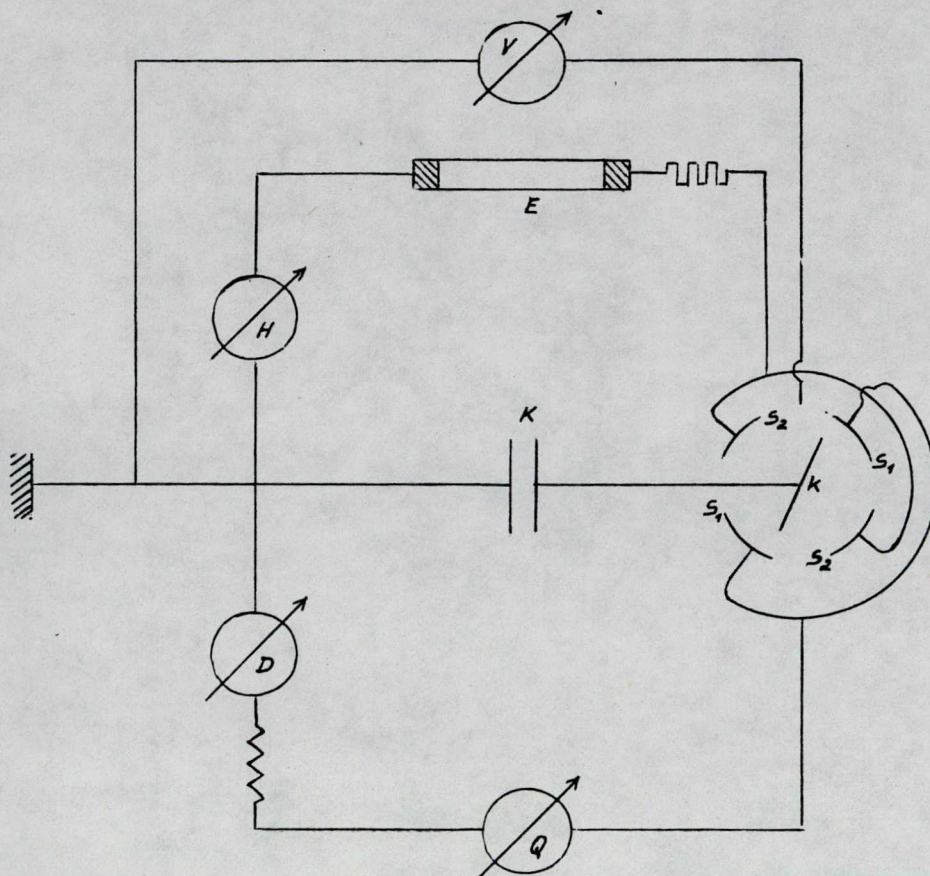
A konstans feszültséggel működő kisülési csövek táplálási rendszerét megváltoztatva, nagykapacitású kondenzátorok kisütésével hoz létre a csőben intermittáló elektromos vezetést. Az 50 - 1600 amperos áramlökések rövid, kb. $2,5 \cdot 10^{-5}$ s időtartamu kisüléseket eredményeznek. Az iv-kisülés spektrumát vizsgálva Bay azt tapasztalja, hogy a kontinuos táplálásához viszonyítva lényegesen megváltozik a töltőgázok által kisugárzott szinkép. A jelenség kielégítő elméleti magyarázatára még nem vállalkozhatott, első közeli-tésül a korpuszkulák megnövekedett koncentrációját jelöli meg a módosulást kiváltó okként. A "közbeeső termékek" magas relatív koncentrációját viszont a nagy áramerősségekkel hozza kapcsolatba.

Az ideiglenesen lezárt kísérleteket Szegeden folytatva Bay arra törekszik, hogy az áramlökések időtartamát jól mérhető elektromos adatokból határozza meg.[37] Berlinben a pozitív oszlop fényemissziójának idejét rögzítette fotografikusan; az adatokat azonban az utóvilágítás jelenségének szambavételével mindig korrigálnia kellett.

Mérési módszerének alapgondolata a következő. Meghatározza egy időegységre vonatkoztatva a kisülési csővön áthaladó középáramerősséget I és effektív áramerősséget I_e . A középáramerősségen a kondenzátor időegység alatt bekövetkező töltésveszteséget érti. Részletes elméleti vizsgálatokat folytatva definiál egy i_k kisülési áramintenzitás-középértéket, mely két integrál hányadosa. Lényeges eredménye a levezetésnek, hogy ez a hányados azonos $\frac{I_e^2}{I}$ -vel, ami mérhető érték. Igen fontos a végső konkluzió: i_k segítségével reprodukálható a rövid időtartamu kisülések áramgörbéjének időbeli lefutása.

A kísérleti berendezés vázlatát Bay a következő formában adja meg. /32. ábra/

32. ábra



A H-val jelölt műszer egy hődrótos ampermérő; az effektív áramerősség mérésére szolgál. D forgótekercses műszer; a középáramerősséget regisztrálja. Q feszültségforrás; a mérések túlnyomó részét a szegedi helyi áramfejlesztő telep 42 Hz-s váltóáramával végezte el. A kondenzátor feltöltéséről az alkalmasan beállított K higanyugaras forgókapcsoló gondoskodott.

A mérés végrehajtása nagy körültekintést, éles kísérletezői figyelmet igényelt. Az első kísérleteknél kiderült, hogy a laboratórium hődrótos műszerei pontatlanul mérnek, mert a mutató kitérését befolyásolják az elektrosztatikus terek. Bay mutató nélküli műszert épített, melynek fonálkitérését mikroszkóp alatt észlelte. A csövet kitöltő gázt /neon, hidrogén/ egy higanydiffúziós szivattyúval cirkuláltatta, és tisztításáról folyamatosan gondoskodott. A hidrogénben

létrehozott kisüléseknél új nehézség jelentkezett: a szivattyúból átdiffundált a töltőgázba a higany. A higany a hidrogénből kifagyasztással eltávolítható, de elég körülményes módon. Bay alkalmasan megválasztott hosszúságú és átmérőjű kapillárist iktatott be; és ez megakadályozta a nagytömegű higanymolekulák bediffundálását a hidrogénbe.

A kísérleteket higanykatód, alumíniumkatód és káliummalgámkatód alkalmazásával végezte el. Változtatta a töltőgázt, a gáznyomást, a csőre kapcsolt feszültséget. A lejátszódó jelenségek több lényeges, közös tulajdonságot mutattak. A kondenzátor feszültségét lassan növelve, a cső gyújtási feszültségének elérésekor ködfénykisülés indul meg. A feszültség fokozatos emelésével a csillókisülés ivkisülésbe megy át. Az áramerősség egy-két nagyságrenddel ugrásszerűen megnő, és egyidejűleg karakterisztikusan megváltozik a pozitív oszlop szinképe is.

A Szegeden elvégzett vizsgálatok igazolták Bay még Berlinben megfogalmazott sejtését: az intermittáló áramlökések által kiváltott szinkép jellegét a nagy áramintenzitások határozzák meg. Az eredményen túlmenően a kifejlesztett kísérleti technika értékes segédeszközzül szolgált azoknak a kutatóknak, akik az ivkisülésben lejátszódó egyéb jelenségek vizsgálatával foglalkoztak. Az eszköz alkalmas ugyanis oly nagy áramerősségek rövid időtartamu előállítására, melyet folyamatos üzemben, laboratóriumi méretű kisülési cső nem viselne el.

1934 júniusában Bay megír egy teljesen elméleti fizikai tárgyú cikket, melyben kis elmozdulások mechanikai úton való felnagyításával foglalkozik. [38] Nagyítóeszközzül csuklónégyszöget választva, megvizsgálja a rendszer kinetikáját, valamint az elérhető szögnagyítás mértékét. A dolgozat izolált, steril, klasszikus mechanikai probléma kifejtésének tűnik, a gyakorlati alkalmazás legcsekélyebb lehetősége nélkül. Ugyanez év végén azonban megjelenik az

Orvosi Hetilap 50. számában egy cikk Bay Zoltán tollából "Egy új rendszerű elektrokardiographról" címmel.[39] A beszámoló azt az elektrokardiografot írja le, melyet a szerző állított össze. A dolog előzménye az, hogy barátaival, dr.Purjesz Béla és dr.Rusznayk István belgyógyászokkal beszélgetve, azokat a fogyatékosságokat feszegetik, melyek a korábbi, a sziváramokat erősítés nélkül kijelző E.K.G.-k használhatóságát korlátozzák. A két orvosprofesszor ösztönzésére és tanácsai alapján egy olyan elektrokardiografot szerkeszt, mely felhasználja a rádiócsöves erősítőtechnikát.

A húros és forgótekerceses műszerek erősítés nélkül működtek. Érzékenységük ugyan megfelelt, 40-50 Hz-es sajátfrekvenciájuk viszont szűkre szabta a regisztrálható bioáramok frekvenciatartományát. A készülék sajátfrekvenciáját növelni lehet a rugalmas visszatérítőerő fokozásával; ez azonban az érzékenység rovására megy. Bay ezért a következő megoldást választotta. A sziváramokkal egy erősítő első csövét vezérelte ki, az oszcillográfra pedig a végfokozat áramát vezette. Mivel az áramerősséget nagymértékben növelni tudta, a direkciós erő megfelelő megválasztásával az oszcillográf önfrekvenciáját 1000 Hz-re emelhette fel.

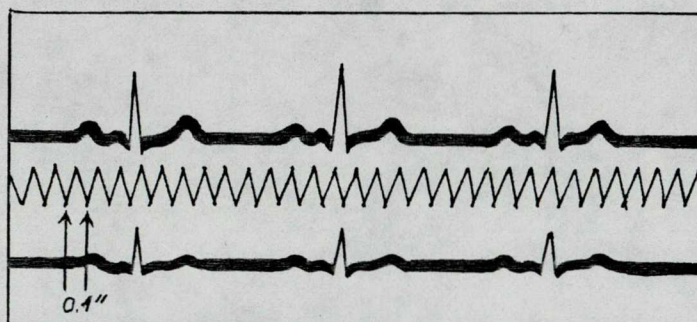
A Bay-féle elektromágneses rendszerű, mechanikus felépítésű oszcillográf tartalmaz egy szögnagyítást végző elemet. "A registrálásra szolgáló tükör nem az oscillograph lágyvasrúdjára van közvetlenül erősítve, hanem a rúd mozgását egy mechanikai nagyítószervezet viszi át a tükörrre." - írja az Orvosi Hetilapban a szerző. A nagyítószervezetben felismerhetjük a korábbi cikkben ismertetett csuklógyésszöveget. Az elvont vizsgálat eredménye tehát gyakorlati alkalmazást nyert.

Az oszcillográf bemérése során a következő előnyös tulajdonságokat mutatja: a mechanikai behatásokra érzéketlen, csillapítása jó, ezért formahű elektrokardiogramokat pro-

dukál. A mechanikus szerkezeti elem 32-szeres szőgnagyítással dolgozik, a lehetőségek teljes kimerítése nélkül.

Számottévő problémát okozott a megfelelő paraméterekkel bíró erősítő kiválasztása és elektromos zavaroktól mentes üzemének biztosítása. Bay Zoltán igen alaposan áttekintette a külföldön e területen végzett kutatásokat, mielőtt az alkalmazott típust kiválasztotta volna. A gondos előkészítésnek köszönhető, hogy erősítője nem szenvedett azokban a gyermekbetegségeken, mint a korabeli, elektromos erősítést alkalmazó eszközök. A formahű regisztrálást jól szemlélteti a 33 sz. ábra.

33. ábra



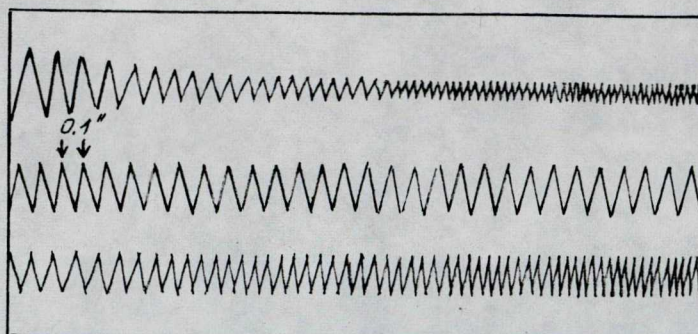
Az első EKG-t az Élettani intézet Siemens A készülékével, a felsőt a Bay-féle elektrokardiográfal vették fel. Jól megfigyelhető a formahű regisztrálás, és ezen túlmenően az új felvétel élesebb karaktere.

A mérések bizonyították az új EKG egy lényeges további előnyét is. A hagyományos forgótekercses műszer - amennyiben a regisztrálandó frekvencia megnő - csökkenő amplitudóval jelzi ki a rezgést. A Bay-EKG ettől a mérési torzítástól teljesen mentes. Az összehasonlító vizsgálat eredményét a 34 sz. ábra mutatja.

A felső grafikon a forgótekercses műszerre bocsátott növekvő frekvenciájú, de állandó amplitudójú jel amplitudótorzulását mutatja. Az új EKG - grafikonja alul - a meg-

növekedett frekvenciájú jelet is helyes amplitudóval adja vissza.

34. ábra



A Bay-féle EKG egy új műszertípus első, önállóan előállított reprezentánsa volt Magyarországon. Paraméterei nem maradtak el a szintén kísérleti stádiumban lévő külföldi eszközökétől. Az ellenőrző mérések befejezése után a műszer tökéletesítését és gyártásra való előkészítését is elvégezte Bay Zoltán. Az új rendszerű elektrokardiograf gyári úton történő előállításának megszervezését György Vilmos, a szegedi gázgyár főmérnöke, továbbá Halmos Károly egyetemi gazdasági hivatali főmérnök vállalta. A műszert egy budapesti cég hozta forgalomba.

Az új típusú EKG-ból azonban csak néhány példány készült el. 1936-ban - erről lesz a későbbiekben - Aschner Lipót, az Egyesült Izzó vezérigazgatója, és Pfeiffer Ignác professzor /a kutatólaboratórium igazgatója/ felkeresték Szegeden Bay Zoltánt, hogy a sokat ígérő tehetséget a kutatólaboratórium számára megnyerjék. Miután Bay az Egyesült Izzó alkalmazásába lép, a vállalat ragaszkodik korábbi szabadalmi megvásárlásához. Így az előállítás joga a gyár tulajdonába kerül. Az egyéb gyártmányokat világszínvonalon termelő, és kiváló értékesítési lehetőségekkel bíró nagyüzem viszont nem bibelődik egy kis példányszámban forgalmazható műszer előállításával. A kedvezőtlen körülmények összejátszása következtében sajnos az alkotó gondolat nem inkarnálódott sorozatban gyártott műszerekben.

Az új rendszerű EKG ötletének megszületése érzékelteti az orvosi és a természettudományi fakultások közti szíves és hasznos együttműködés légkörét. A kollégiális segítőkészség tette lehetővé Bay, Szepesi Zoltán és Papp György számára, hogy az alábbiakban ismertetendő kísérleteket megfelelő körülmények között végezzék el. A γ sugárzás szórására vonatkozó kísérleteknél ugyanis a mérőberendezést a falaktól, valamint a mennyezettől legalább három méter távolságra kellett elhelyezni; a visszavert sugárzás zavaró hatásának csökkentése céljából. A feltétel biztosítására a fizikai intézet helységeinek belméretei kicsinek bizonyultak. A kísérlet elvégzését dr. Berecz János szülészprofesszor tette lehetővé, aki az őszi és tavaszi félév között kb. 40 napra átengedte a klinika előadótermét. A nagyméretű helység közepén felfüggesztett, papírsárkányhoz hasonló "asztalon" helyezték el a radioaktív preparátumot és a detektorokat a mérést végrehajtó fizikusok.

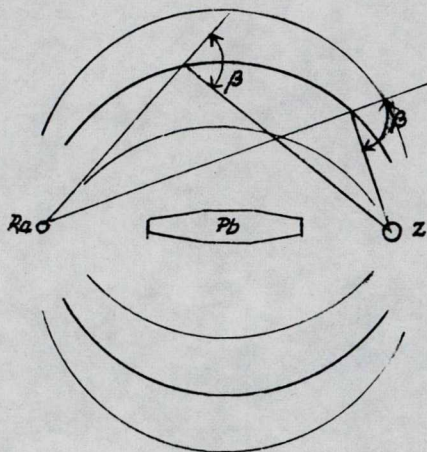
Bay Szegeden kezdi művelni azt a kutatási területet, melynek problémaköre hosszú évtizedekre leköti érdeklődését. A témaválasztás nem előzmények nélküli. Berlinben kerül kapcsolatba Wilhelm Bothe-val, aki 1925-ben végzi el - - Geigerrel együtt - a Compton effektusra vonatkozó klasszikus kísérletét. Bay a γ sugárzás szórásának általánosabb problematikáját kezdi vizsgálni a saját építésű Geiger-Müller számlálókkal, két tehetséges tanítványát, Szepesi Zoltánt és Papp Györgyöt vonva be a munkálatokba.

Sugárforrásként 27-36 miligrammos rádiumpreparátumot alkalmaztak; a kísérletek a Compton szórás és a hullámhosszcsökkenés nélküli szórás vizsgálatára irányultak. A kísérleti berendezés elvi felépítését a 35. ábra mutatja be.

Ra jelöli a sugárforrást, Z a számlálócsövet. A Pb ólomtömb a közvetlen sugárzás leárnyékolására szolgál. A szó-

rőfelületeket a körívek mentén helyezték el.

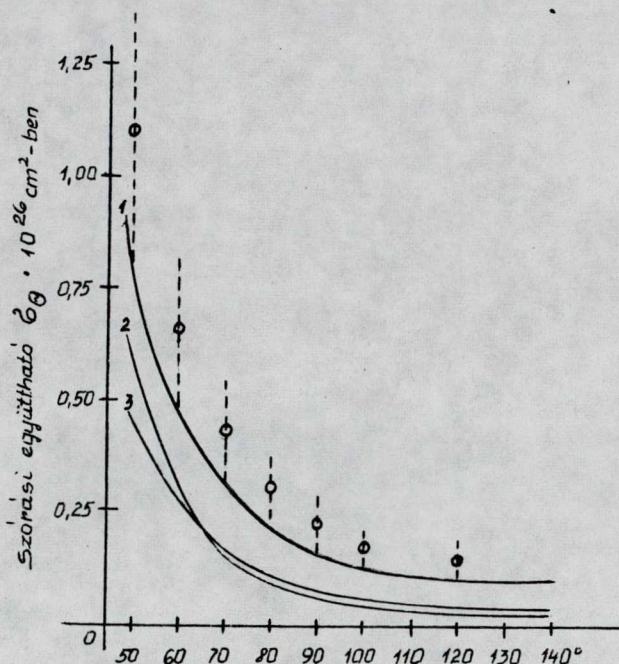
35. ábra



Papp Zoltán közreműködésével kezdett kísérletsorozatával azt kívánta vizsgálni, hogy különlegesen vékony szórófelületeket alkalmazva, hogyan lehet a gammaszórást a Compton szórással és az u.n. "magszórással" kvantitatív módon leírni. [40] A többi sugárzás és szórásfajta befolyása ugyanis az adott kísérleti feltételek mellett - megfontolásaik szerint - elhanyagolható volt. Szóróanyagul aluminium - és ólomlemez alkalmaztak.

Foglalkoztak a Compton-szórás intenzitáseloszlásának kérdésével is. [41] A szórt sugárzás intenzitáseloszlásának leírására vonatkozóan Compton, Breit-Dirac-Gordon, valamint Klein és Nishina adtak meg összefüggéseket. Az eltérő alaku formulák érvényessége tekintetében a Bay-Szepesi kísérletek értékes információkat szolgáltatottak. Szóróanyagul aluminiumot választottak, melynél - az alacsony rendszám miatt - a Compton szórás intenzitása meghaladja az alaphullámhosszat megőrző szórás erősségét. A kísérleti berendezést - a falakról szórt sugárzás lecsökkentése céljából - egy aránylag nagy helyiség közepén függesztették fel. A hat héten keresztül, megszakítás nélkül lefolytatott mérések eredményei a Klein-Nishina formulából számított értékekkel teljesen egyértelmű kapcsolatot mutattak. /36. ábra/

36. ábra



Az ábrán láthatók a Klein Nishina /1/

Breit-Gordon-Dirac /2/ és

Compton /3/

formuláknak megfelelő grafikonok. Bay és Szepesi mérési adatait pontsor jeleníti meg. A kiemelten szedett következtetés jól érzékelteti, hogy a szerzők teljes mértékben tudatában vannak kísérletük jelentőségének. "Diese Ubereinstimmung kann als der bisher beste Beweis für die Gültigkeit der Klein-Nishinaschen Formel betrachtet werden, teils infolge der Messgenauigkeit, hauptsächlich aber deswegen, weil die Streuintensitäten is absolutem Masse angegeben werden. Unsere Messungen sind weder mit der Breit-Gordon-Diracschen, noch mit der Comptonschen Formel vereinbar."

A kísérletekből Bay azt a következtetést is levonja, hogy a G.M. cső időbeli felbontóképessége nem felel meg gyorsan lejátszódó atomi folyamatok vizsgálatánál. Saját építésű csövéükön egy számlálási processzus lefutásához $6,13 \cdot 10^{-4}$ percre volt szükség. Az eszköz így még alkalmasnak bizonyult a kísérleteknél előforduló maximális,

210 percenkénti beütés regisztrálására. A korábbiakban említett Bothe-Geiger féle kísérletnél azonban a lassú működésű csúcsszámlálók az egyidejűség tekintetében nem tudtak valóban meggyőző bizonyítékot szolgáltatni. Az elnyújtott mérési processzus oly hosszú időintervallumba szorította be a Compton-elektron és a másodlagos gamma foton kilépését, hogy Bay szükségesnek látta az egyidejűség sokkal szigorubb bizonyítását. A kísérlet pontosabb megismétlése azonban lényegesen nagyobb felbontóképességű számlálócső elkészítését igényelte.

A nagyteljesítményű eszköz tényleges megépítésére már Bay új munkahelyének laboratóriumában kerül sor. 1936-ban ugyanis elfogadja az egyetemnél lényegesen nagyobb kutatási lehetőségeket kínáló Egyesült Izzó ajánlatát, és megbízást kap a gyártelep kutatólaboratóriumának vezetésére.

A kutatólaboratórium által nyújtott, akkor egyedülálló lehetőségek felbecsüléséhez tudnunk kell, hogy a 30-as években az Egyesült Izzó nem csupán Magyarország, hanem Európa egyik legkorszerűbb gyárüzeme. Jó üzleti érzékű és széleslátókörű vezetői évtizedeken át foglalkoztatnak kiváló fizikusokat, pl. Selényit, Polányi Mihályt, Bródy Imrét. A kiváló felkészültségű, jól képzett mérnököktől, technikusoktól és szakmunkásoktól támogatott kutatógárda kreativitása jelentős világszabadalmakat eredményez. Így pl. a német gyárak a kripton literjét 2000 márkás áron termelik, az ajkai üzem Bródy szabadalma alapján 17 márká/literre szorítja le az önköltséget. Védett gyártmányai révén az Izzó monopolhelyzetet élvez még a legfejlettebb tőkés országok piacain is. A gyár termékeinek legnagyobb vásárlója a Brit Birodalom és Németország. Az 1938-ban exportált 23 millió izzólámpa, 2 100 000 elektroncső és egyéb elektrotechnikai termék értéke meghaladta a teljes mezőgazdasági exportbevételt, holott ekkor Magyarország agrárország volt. [42] Az Izzó kutatólaboratóriuma 1936-ban jobb feltételeket biztosított egy kísérletező tudós

számára bármely egyetemnél.

Bár a Bay-féle fotondetektáló elektronsokszorozó nem Szegeden készül el, a gondolat itt születik meg. [43] Erre a tényre, valamint az eszköz rendkívüli tudománytörténeti jelentőségére való tekintettel kitérek ismertetésére.

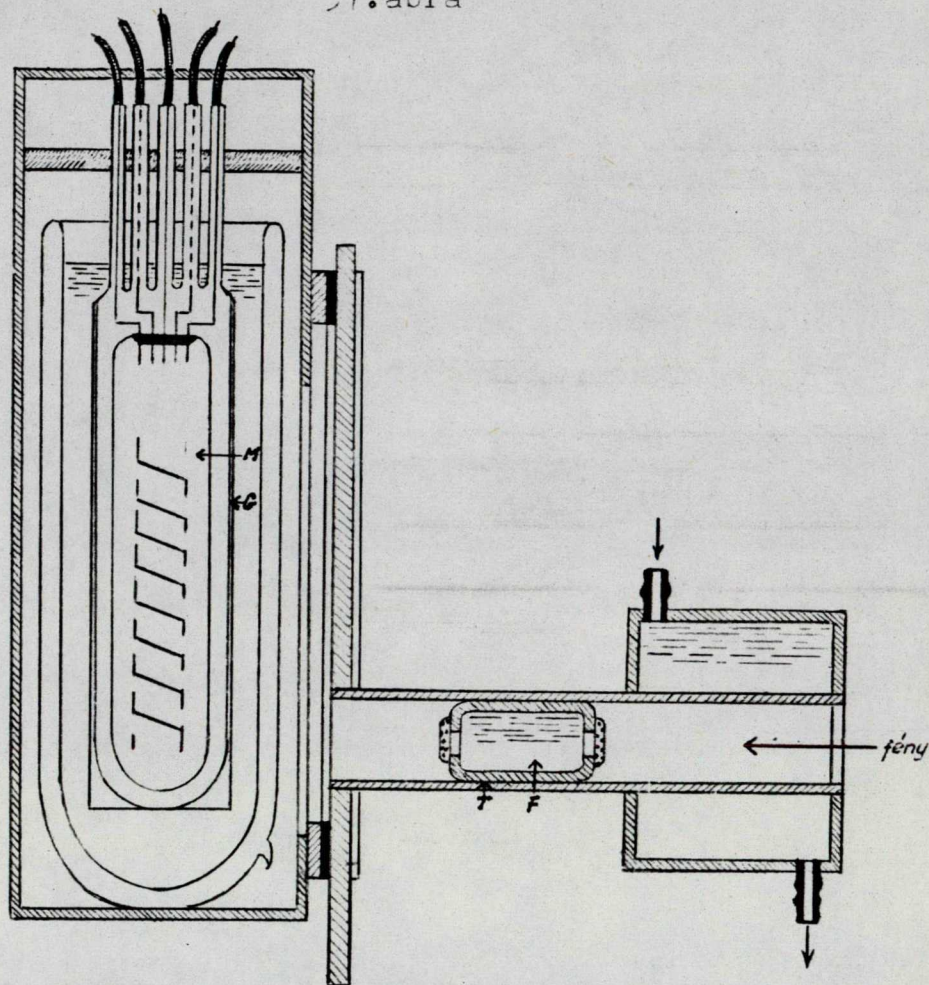
A fotonelektron-sokszorozót alkalmazó műszer előállításának megkezdése előtt Bay megemlíti elgondolását a Budapesten tartózkodó Zworykinnek. Az amerikai fizikus a multipliert - nagy alapzaja miatt - a célra alkalmatlannak minősíti. Bay a kedvezőtlen jóslat ellenére megkezdi kutatásait.

Első kísérleteihez azt a Radio Corporation in America /RCA/ által előállított tizfokozatú multipliert használja, mely a laboratórium birtokában van. [44] Két nehézséget kell leküzdenie. Az első probléma az, hogy a cső szobahőmérsékleten $17 \cdot 10^{-6}$ amperos áramot ad, melynek statisztikus ingadozásai elnyelik a sokszorozócső katódjába ütköző elektronok által keltett lényegesen kisebb amplitudókat. Amennyiben ezt az első akadályt képes lenne elhárítani, és a termikus emissziót olyan szintre szállítja le, melyen érzékelhetővé válnak az első lemezt érő beütések, szembekerül egy új nehézséggel. Ekkor jelentkeznek ugyanis az egyéb hatásoktól eredő nulleffektus jelei. Nyilvánvaló volt, hogy a multiplierere épített szerkezet csak akkor válik használható mérőeszközzé, ha a nulleffektus jellegének és nagyságának ismeretében az szeparálhatóvá válik az információhordozó jelektől.

Az új számlálóberendezés előállítására irányuló kutatásokat Bay és munkatársai az RCA csővel és egyéb külföldi gyártmányú, céziumkatódos multiplierekkel kezdték meg. A termikus emisszió csökkentése céljából a sokszorozócsövet cseppfolyós levegővel töltött Dewar-edénybe süllyesztették. A zavaró egyéb mellékhatások kiküszöbölését is

igen körültekintően, nagy gonddal végezték el. /37. ábra/

37. ábra



A tökéletes szigetelés megvalósítása céljából a G üvegcső és az M számlálócső közti teret kiszáritott nitrogéngázzal töltötték meg. A T oldalcsövön át érkező sugárzásból az infravörös komponenset az F vízszűrő nyelte el. A cső által szolgáltatott impulzusokat katódsugárcső képernyőjén jelenítették meg. A többórás mérési folyamat menete Bay professzor várakozását teljes mértékben igazolta. A vízszintes katódsugarat szeszélyesen kicsipkéző statisztikus áramingadozások a multiplier lehűtésével fokozatosan csökkentek, majd egyirányú kiütéseké váltak. Az egyirányú impulzusok a véghőmérséklet elérésekor is megmaradtak, és számuk gyakorlatilag állandónak bizonyult. A másodpercenkénti konstans beütésszámot adó jelek amplitudója kb. tízszeresen múlta felül a cső

igen kicsi sötétáramának statisztikus ingadozását, tehát ez a hatás jól megkülönböztethető és meghatározható alapadata a csőnek. Ez a vizsgálandó korpuszkulákkal még nem bombázott multipliercső nulleffektusa. Mivel a nulleffektus jól definiált érték, a cseppfolyós levegővel hűtött elektron sokszorozó teljes mértékben alkalmas a katódot érő fotonok egyedi megszámolására. A kijelzett értéket a konstans nulleffektussal csökkentve a mért zápor impulzusszáma meghatározható.

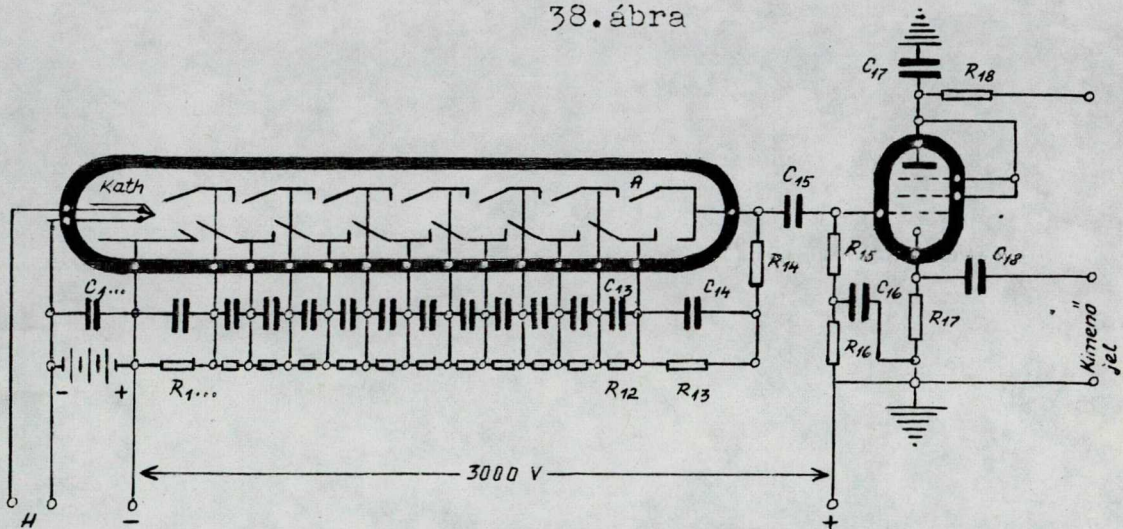
Bay kitér a nulleffektus eredetének vizsgálatára is. A kozmikus sugárzás akkor ismert tulajdonságai alapján valószínűsíteni tudta, hogy a nulleffektust a világűrben érkező, nagyenergiájú korpuszkulák által kiváltott elektronok hozzák létre.

A hűtéssel végzett kísérlet bebizonyította ugyan, hogy a multipliercső alkalmassá tehető fotonok vagy elektronok beütéseinek regisztrálására; a kísérleti berendezés azonban sokkal komplikáltabb eszköz volt az akkor már kiforrott konstrukciójú G.M. csőnél. Bay és munkatársai ekkor érkeztek a kutatás legjelentősebb szakaszához. Mindenekelőtt a magas termikus emissziót mutató amerikai multiplier kivánták saját gyártmányú csővel helyettesíteni. Szisztematikusan kutatni kezdtek olyan katódanyagok után, melyek szobahőmérsékleten adnak oly csekély anódáramot, mint a cseppfolyós levegővel hűtött RCA cső. A kitűzött cél nyilván magasabb kilépési munka árán emittáló felületekkel érhető el. Másrészt viszont - ezt a követelményt a multiplier és az erősítő kölcsönhatása támasztja - növelni kellett a dinódák sokszorozási tényezőjét, tehát az egy primér elektron által kioldott szekundér elektronok számát.

A kettős feladatot a Bay-csoport meglehetősen gyorsan oldotta meg. Magnézium és ezüst ötvözetéből sikerült olyan katódokat előállítani, melyek szobahőmérsékleten épp oly jól érzékelhetően jelezték az egyedi elektronokat,

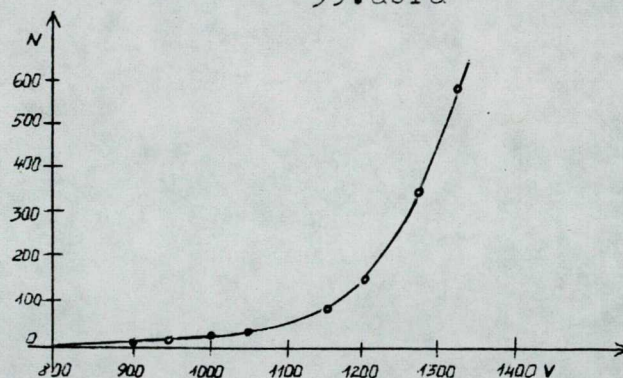
mint a cseppfolyós levegővel hűtött első berendezés. Az Egyesült Izzóban készített csövek, azon túlmenően, hogy rendelkeztek az amerikai multiplierek minden erényével, a sokszorozási tényezőben messze meghaladták a tengerentúli prototípusokat. Míg az RCA cső végerősítése 10^4 volt, addig a Bay-féle csövek 10^8 -os sokszorozási tényezővel üzemeltek. A saját fejlesztésű csővel felépített számlálóberendezés kapcsolási rajzát a 38. ábra mutatja be.

38. ábra



A berendezés igen alacsony nulleffektusát a 39. sz. ábra szemlélteti. 950 V összefeszültségig a nulleffektus 1 beütés/perc alatt maradt.

39. ábra



Az új számlálóberendezés jellemző tulajdonságainak bemérése után Bay professzor az eszközt fotonok, α , β részek,

továbbá nagyenergiájú röntgenkvantumok és γ sugarak detektálására használta fel. Az összehasonlító mérések egyértelműen bizonyították az elektronsokszorozóval működő számláló fölényét a G.M. csővel szemben.

Az új műszer felkeltette a szakmai közvélemény érdeklődését. A Budapestre látogató Heisenberg is kért néhány példányt a Bay-féle számlálóberendezésekből, kozmikus sugarakra vonatkozó vizsgálataihoz. A vitathatatlan siker ellenére is úgy tűnik azonban, hogy ekkor, 1940-ben az új nukleáris műszer még a fizikai kutatás igényeit meghaladó találmány volt. Az elektronsokszorozóval végzett vizsgálatokat kb. 1941-ben befejezi Bay Zoltán; ekkor kap megbízást arra, hogy kutatócsoportjával kifejlessze a magyar radart.

A Bay-féle számlálóberendezés további tökéletesítésére 1949- után került sor. A koincidencia-technikával működő eszköz a legnagyobb időbeli felbontóképességet nyújtó nukleáris mérőműszerré vált. Segítségével Bay és munkatársai 10^{-11} -s időközre szorítják le a Compton effektusnál az egyidejűségi intervallumot. [45]

Budó Ágoston Szegeden kifejtett munkássága; a
"Szegedi Iskola" kialakulása

Az 1944 őszén elrendelt kiürítés a fizikai intézetet eszközei és műszerei jórésztől megfosztotta. [46] A Németországba irányított szállítmány feltehetően elpusztult a háborús események következtében, mert az intézet felszerelését a nemzeti javak nyugatról történt visszaszállítása után sem kapta vissza. A kutatás elemi feltételeinek hiánya a tudományos alkotómunka jelentős visszaesését váltja ki. A második világháború által előidézett hanyatlás ellenére Fröhlich Pál 1949-ben bekövetkezett halála olyan negyedszázadot zárt le, mely jelentős tudományos eredményekkel gazdagította a fizikát.

A kutatások új fellendülését Fröhlich professzor már nem érthette meg. A megüresedett tanszék vezetésére 1950-ben Budó Ágoston kap megbízást, és az ötvenes évek elejétől számíthatjuk a szegedi fizikai kutatások második korszakát.

Budó Ágoston fizikus pályafutását rendhagyó módon kezdi. Bár gimnáziumi tanulmányai során a matematika és fizika köti le érdeklődését, édesapja kívánságára a budapesti egyetem jogi karára iratkozik be. 1931-ben indul az Eötvös-társulat által évente rendezett Károly Irén versenyen, és az eredményhirdetés alkalmával meglehetősen feltűnést kelt, hogy a két legjobbnak bizonyult fizikadolgozat egyikét joghallgató írta meg. A siker demonstratív ereje elől a szülői akarat is meghátrál, és a következő évben a tudományegyetemen folytatja tanulmányait Budó Ágoston. Már harmadéves egyetemi hallgató korában résztvesz a Műegyetem Pogány-tanszékén folyó molekulaspektroszkópiai vizsgálatokban. Negyedéves, mikor első cikkét leközzli a Zeitschrift für Physik.

Tanulmányai befejeztével doktorál, és kétéves ösztöndíjat

nyer el. A második évet Berlinben, a Vilmos Császár Fizikai Intézetben tölti, melynek igazgatója a holland származású, Nobel-díjas Peter Debye. Témául a dielektrikumok kutatását kapja. Történetesen ugyanezzel foglalkozik Debye is, és az eredményeiről dolgozatában beszámoló Budót különös meglepetés éri. Az intézet igazgatója tájékoztatja arról, hogy cikkét jobbnak tartja saját, azonos témáról írott közleményénél, és a kutatási jelentésben Debye publikációja helyett az övé fog megjelenni.

1938-ban tér haza, és ekkor úgy látszik, igazolódik apja előrelátása, aki fiát gyakorlati megfontolások alapján irányította jogi pályára. A Műegyetem fizikai intézetében kap tanársegédi állást, csak hogy ehhez a kinevezéshez nem jár fizetés. Megélhetését a Dohány utcai tanonciskolában és a Reáltanoda utcai gimnáziumban vállalt óraadás biztosítja. A pályakezdés - sok tehetséges fizikusunk közös sorsa ez - neki sem volt könnyű. Huszonhét éves, mikor kinevezik az első rendszeres javadalmazást nyújtó állásra, a szegedi polgáriiskolai tanárképző főiskolán.

Budó professzor vezetésével kezdi meg az akkor még aránylag kislétszámú intézet a tudományos munka előfeltételeinek ismételt megteremtését. A beszerzett mérőműszerek emisszió és abszorpció mérésére alkalmasak; és az intézet munkatársai megkezdik az első, polarizációs fok mérésére szolgáló eszköz megépítését is. Ez a berendezés Wille illetve Szpektorov kísérleti eszközéhez hasonló. 1957-ben Ketskemény, Gargya és Salkovits egy második mérőműszer elkészültéről számolnak be. Az új berendezés már a szegedi fizikusok elgondolása szerint épült. A fluoreszcenciafényt Wollaston-prizma bontotta két, egymásra merőleges síkban polarizált sugárnyalábra. A sugarak egy-egy fotomultiplierre estek; a készülék az intenzitások arányát két ellenállás hányadosával kifejezve adta meg. [47]

A kiválasztott kutatási irány, a fluoreszcenciajelenség-

gek vizsgálata, nem idegen az intézet korábban sikeresen művelt kutatási területeitől. A szervezetben viszont változást jelent a Magyar Tudományos Akadémia fluoreszcencia és félvezető kutatócsoportjának megalakulása. A módosulás kedvező; az intézet igazgatójának vezetőszerepe - aki a csoport tevékenységét is irányítja - biztosítja a szellemi kapacitás koncentrációját. A csoport kutatási lehetőségeit viszont elősegíti, hogy élvezi az Akadémia anyagi támogatását.

A molekuláris fluoreszcenciakutatás eredményeinek első részletes dokumentuma Ketskemény István 1954-ben megvédett kandidátusi értekezése. [48] A szegedi lumineszcenciakutatás kezdeti szakaszáról a disszertáció tézisei nyújtanak elsődleges információt.

A lumineszcenciakutatás korábbi eredményeinek kritikai vizsgálata kétségtelenné teszi, hogy a legtöbb lumineszkáló anyag abszorpció és emisszió spektrumára vonatkozó ismeretek csak kvalitatív jellegűek. A kísérleti eredmények sok esetben pontatlanok. A vizsgálatokhoz a fizikusok viszonylag egyszerű molekuláris szerkezetű anyagokat választottak ki, ezért a lumineszcenciakutatások csak néhány organikus vegyületre, szerves festékkoldatra szorítkoztak. A lumineszcencián alapuló kémiai analízis és egyéb gyakorlati alkalmazások azonban szükségessé teszik a vizsgálatok bonyolultabb szerkezetű molekulákra való kiterjesztését is.

Ketskemény az alumínium-morint választotta vizsgálatainak tárgyául. A disszertáció egyik célkitűzése az abszorpció és lumineszcenciafény spektruma között fennálló tükrörszimmetria vizsgálata volt. A kísérletek tisztázzák, hogy a Blohincev-féle tükrörszimmetria reláció pontosabban teljesül a Ljovsin-szimmetriánál. Blohincev szerint a szimmetria a ν^3 -al osztott kvantumspektrum és a ν -vel osztott abszorpció spektrum között áll fenn. Az értekezés bemutatja azokat a méréseket, melyeket az intézet első készülékével végeztek, az alumínium-morin polarizá-

ciós viszonyainak meghatározására vonatkozóan. Az adatok és az elméleti számítás összevetése szerint a vegyület abszorpciós és emittáló oszcillátorai dipol-természetet mutatnak.

A Szegeden végzett lumineszcenciakutatásokra vonatkozóan alapvető forrásnak tekinthetjük Budó Ágoston 1961.III. 30-án elhangzott akadémiai székfoglaló előadását. [49] A tömör, de átfogó ismertetés azokat a kutatásokat tekinteti át, melyek során szegedi fizikusok lényeges eredményekkel járultak hozzá a molekuláris lumineszcencia mélyebb megismeréséhez.

A székfoglaló, továbbá Ketskeméty István disszertációja, [50] valamint Szalay László egy dolgozata [51] megállapítja, hogy a molekuláris lumineszcencia területén korábban publikált eredmények jelentős része megbízhatatlan. A hibák jórésze egy közös okra, a szekundérfluoreszcencia figyelmen kívül hagyására vezethető vissza. A fluoreszkáló oldat tulajdonságainak leírásához az abszorpciós spektrumon kívül ismerni kell az ugynevezett belső fluoreszcencia-jellemzőket. Ezek az emissziós spektrum: f/λ ; az abszolút kvantumhatásfok: η ; a polarizációs fok: p ; és a csillapodási idő: τ . A felsorolt jellemző adatok azonban a fluoreszcenciafény keletkezésének helyére vonatkozó értékek. Közvetlenül nem határozhatók meg, helyettük az oldatból kilépő fluoreszcenciafény adatait mérik. A kilépő fluoreszcenciafény jellemzői azonban eltérnek a keletkezés helyén fennálló adatoktól. Módosítja értéküket a reabszorpció, továbbá az újraemisszió hatására keletkező szekundér fluoreszcenciafény. A reabszorpciót figyelembevevő formulák régóta ismertek; a szekundér fluoreszcencia módosító hatását azonban nem sikerült megfelelő összefüggésekkel korrigálni. A lumineszcencia elméletének jelzett hiányosságai késztették a Kísérleti Fizikai Intézet munkatársait arra, hogy a valódi lumineszcencia-jellemzők meghatározására irányuló kutatásaikat



megkezdjék. A kitűzött célt a szekundér és magasabbrendű fluoreszcenciasugárzások hatásának figyelembevételével kívánták elérni.

Mindenekelőtt az oldatok valódi fluoreszcenciaspektrumát határozták meg. A számítások megkönnyítése céljából egyszerűsítő feltételeket alkalmaztak az oldatot tartalmazó kűvetta alakjára, a megvilágítás és megfigyelés módjára vonatkozóan. A számítás végrehajtása során figyelembe vették a tercier és magasabbrendű fluoreszcenciasugárzásokat is. A végeredmény a spektrofotométerrel mérhető $B_{\lambda'}$ mennyiség, valamint az f/λ' valódi fluoreszcenciaspektrum között adott kapcsolatot:

$$B_{\lambda'} = \frac{\vartheta}{4\pi n^2} E_{\lambda 0} \eta_{\lambda} f/\lambda' \propto \frac{1 - e^{-(\alpha + \beta)}}{\alpha + \beta} \cdot \frac{1}{1 - \chi} \quad (1)$$

ahol ϑ a kűvetta határlapjának reflexiós tényezője

n az oldat törésmutatója

$E_{\lambda 0}$ a megvilágító fény kvantumáram-sűrűsége

α, β a kűvetta hosszától és az abszorpciós tényezőtől függő mennyiségek.

A $B_{\lambda'}$ -t megadó összefüggés azonban integrálegyenlet, ugyanis tartalmazza χ -t, ami a szekundér és primér fluoreszcenciafény intenzitásának aránya: $\chi = \frac{S}{P}$. χ viszont egy improprius integrál segítségével határozható meg:

$$\chi = \int_0^{\infty} \eta/\lambda'' f/\lambda'' M d\lambda'' \quad (2) \quad \text{ahol } M \text{ egy}$$

ismert alakú függvény.

Az (1) összefüggésből az f/λ' emissziós spektrum közelítéssel meghatározható. Ha (1) -be $\chi = 0$ -t helyettesítünk, a képletből kiszámítható f/λ' -nek egy f_0/λ' közelítése. Ezzel a (2) összefüggésből meghatározható χ .

Végeredményben az f / λ' és f_0 / λ' közelítő spektrumfüggvény között a következő kapcsolat adódik:

$$f / \lambda' = \text{const} / 1 - \kappa / f_0 / \lambda' \quad (3.)$$

Az elméleti számítások kísérleti ellenőrzése a következő módon történt meg. Azonos koncentrációjú fluoreszceinoldattal megtöltöttek egy 0,1 cm és egy 1 cm hosszú küvet-tát. Mindkét oldatnál megmérték spektrofotométerrel a fluoreszcenciafény intenzitását a 480 nm - 610 nm tartományban 17 különböző hullámhossz-értéknél. Először csak a reabszorpciót véve figyelembe, meghatározták a

$$\frac{B_{\lambda'2}^*}{B_{\lambda'1}^*} \text{ hányados értékeit. } / B_{\lambda'2}^* \text{ a vastag, } B_{\lambda'1}^* \text{ a}$$

vékony küvet-tától a mérőműszerbe érkező fluoreszcenciafény intenzitása. /Amennyiben a szekundér fluoreszcencia elhanyagolása megengedhető, a hányados 1 kell, hogy legyen. A méréssorozat eredményét a 40./ ábra üres körökkel jelzett pontsora mutatja. A hányados 1,2 és 1,06 között változik, tehát a szekundérfluoreszcenciát figyelembe kell venni. Ekkor a

$$\frac{B_{\lambda'2}^*}{B_{\lambda'1}^*} \cdot \frac{1 - \kappa_2}{1 - \kappa_1} \text{ -nek kell minden hullámhossznál 1-et}$$

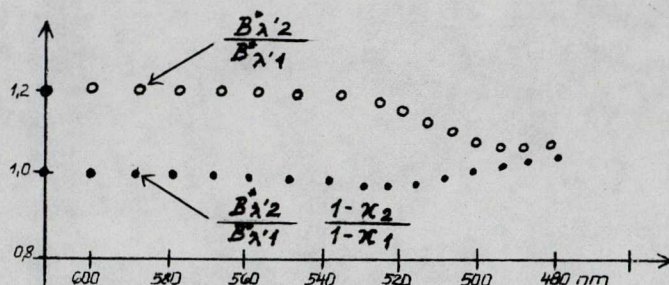
adnia.

A méréssorozat /reabszorpcióval és szekundérfluoreszcenciával korrigált/ eredményét a 40-as ábra kitöltött körökkel szimbolizált pontsora ábrázolja. Mint látható, a hányados a feltételt igen jól teljesíti.

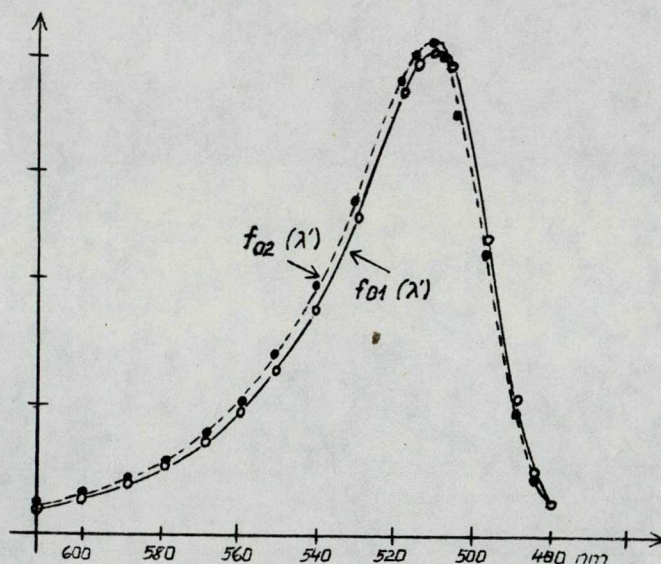
A szekundérfluoreszcencia figyelmen kívül hagyása következtében azonos koncentrációjú fluoreszcein oldatok el-

térő alakú emissziós szinképet adnak, ha a rétegvastagság különböző. /41. ábra/

40. ábra



41. ábra



Amennyiben viszont a kvantumspektrumot a (3) összefüggés segítségével határozzuk meg, a két grafikon gyakorlatilag egybeesik.

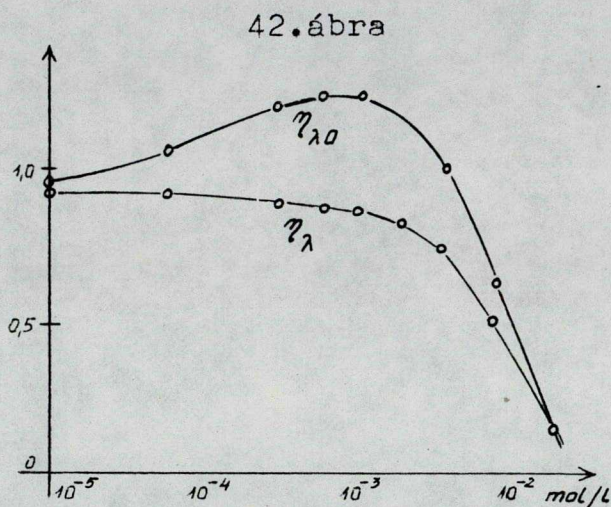
A második jellemző adat a fluoreszkáló oldat abszolút kvantumhatásfoka. A közelítést is alkalmazó számítások végeredményeként a hatásfok

$$\eta_{\lambda} = \frac{\eta_{\lambda 0}}{1 + \kappa^{(1)} \eta_{\lambda 0}} \quad (4) \text{ alakban adódik,}$$

ahol $\eta_{\lambda 0}$ a szekundérfluoreszcencia figyelembevétele nél-

kül. számított hatásfok. χ''' a (2) összefüggésből egy relatív hatásfokfüggvénnyel meghatározott érték. A (4) képletből kiolvasható, hogy a szekundérfluoreszcencia figyelembevételével kiszámított kvantumhatásfok kisebb lesz a jelenség elhanyagolásával nyert értéknél.

Az elméletet ezuttal is követi a kísérleti kontroll. Kétféle különböző koncentrációjú fluoreszcein oldattal végrehajtott mérés eredményét mutatja be a 42./ ábra.



A szekundérfluoreszcencia figyelembevétele nélkül számított hatásfokok egy koncentráció-tartományban meghaladják az 1-es értéket, ami - a szakirodalomban egyébként ismert - nyilvánvaló ellentmondás. A valódi kvantumhatásfokokat is feltünteti az ábra. Grafikonjuk jól szemlélteti a koncentrációs kioltás tendenciáját.

A valódi polarizációs fok meghatározása a következő feltételek mellett történik: az oldat optikailag inaktív és abszorpció szempontjából izotrop. A gerjesztőfény monokromatikus, és lineárisan poláros. A feladat az, hogy a mért p' polarizációs fokból, mely a valódi p polarizációs foknál alacsonyabb, a primér fluoreszcenciasugárzás polarizációs fokát számítás útján határozzuk meg. A keresett összefüggést a Kísérleti Fizikai Intézet munkatársai

több, különböző formában is megadják.

Viszonylag egyszerű reláció adódik, ha a szekundér, terciér, stb. fluoreszcenciafény azonos arány szerint gyengül, azaz

$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{B_3}{B_2} = \dots = \frac{S}{p} = \kappa$$

ahol $B_1, B_2, B_3 \dots$ a primér, szekundér, terciér, stb. fluoreszcenciafény intenzitásai. Amennyiben a magasabbrendű fluoreszcenciasugárzások polarizációs fokai is geometriai haladvány szerint csökkennek, a valódi polarizációs fok a mért polarizációs fokkal a következőképpen fejezhető ki:

$$p = \frac{p'}{1 - \kappa / 1 - p'} \quad (5)$$

Ketskemény István akadémiai doktori disszertációjában, továbbá Budó és Ketskemény 1962-ben megjelent cikkükben a következő korrigált összefüggést adják meg:

$$p = \frac{p'}{1 - \kappa / 1 - 0,6p'} \quad (6)$$

Az exaktabb levezetés lényegesen bonyolultabb összefüggést eredményez:

$$p' = p \frac{1 - P_1 \kappa - P_2 \mu}{1 - P_3 \kappa - P_4 \mu} \quad (7)$$

ahol P_1, P_2, P_3, P_4 p ismert függvényei; μ egy κ -hoz hasonló módon kiszámítható mennyiség.

A felsorolt relációk alkalmazása igényli κ előzetes meghatározását, ami elég körülményes lehet. Gáti és Szalay megadnak egy olyan egyszerűsített korrekciós formulát,

mely 3 különböző rétegvastagság és a megfelelő mért polarizációs fokok ismeretében egyszerű számítások segítségével szolgáltatja a valódi polarizációs fokot. A formula alkalmazhatóságának előfeltétele, hogy a rétegvastagság, az extinkciós koeficiens és a koncentráció szorzata ne lépjen túl egy küszöbértéket.

Az elmélet ellenőrzése mind a Wille-Szpektorov típusú, mind az újabb konstrukciójú műszerrel megtörtént. A mérési adatok megfelelő összhangot mutattak a (7) formulával; sőt a jóval egyszerűbb alakú (5) képlet is alkalmazhatónak bizonyult.

A szekundér és magasabbrendű fluoreszcenciasugárzások befolyása következtében a mért csillapodási idő, τ' is eltér a valódi csillapodási időtől.

A számítás azon a plauzibilis feltevésen alapul, hogy a primér, szekundér, stb. sugárzás intenzitásai arányosak az oldat elsődlegesen, másodlagosan, stb. gerjesztett molekuláinak számával. Figyelembe véve, hogy a gerjesztés valamilyen fokán álló molekulák számát a csillapodás csökkenti, az alacsonyabbrendű fluoreszcenciasugárzás viszont növeli, matematikai átalakítások után egy olyan differenciálegyenlet adódik, melynek megoldása szolgáltatja a valódi és a mért csillapodási idő közötti összefüggést:

$$\tau = 1 - \alpha / \tau' \quad (8)$$

Mint látjuk, a belső fluoreszcenciajellemzők értékének kiszámítása α meghatározására vezethető vissza. Az intézetben végzett vizsgálatok szerint e fontos mennyiség értéke kísérleti úton is meghatározható. Ketskemény polarizációmérési módszere alapján Dombi, Hevesi és Horvai α -t több fluoreszkáló oldatnál meghatározták a koncentráció és a rétegvastagság függvényeként.

Ketskemény Istvánnak az elért eredményeket továbbfinomí-

tó akadémiai doktori disszertációja a valódi fluoreszcenciajellemzők definíciójának élesítését és a molekuláris fluoreszcencia tárgykörének pontosabb körülírását tűzi ki céljául. [50] Az 1963-ban elfogadott disszertáció megfogalmazza a felhasznált apparátus exakt módon történő alkalmazásának feltételét is: az összefüggések csak gyengén abszorbeáló oldatokra érvényesek.

Az értekezés foglalkozik keverékkoldatok fluoreszcenciájának tárgyalásával is. Kimutatja, hogy a keverékkoldatok fluoreszcenciajellemzői két paraméter bevezetésével az egyes oldott anyagok fluoreszcencia-jellemzőiből meghatározhatók.

A disszertáció - címének és célkitűzésének megfelelően - elsősorban elvi jellegű vizsgálatokat kíván végezni. Megállapításai azonban hasznos szempontokat adnak a fluoreszcencia-analízis célját szolgáló mérőműszerek konstruktőreinek, és a molekuláris lumineszcencia gyakorlati felhasználóinak egyaránt. "A gyakorlati fluoreszcencia vizsgálatok elősegítése céljából olyan mérési és kiértékelési eljárásokat is kidolgoztunk, melyek megfelelnek a fluoreszcencia tökéletesített fenomenológiai elméletének, a modern spektrofotometriai eszközök birtokában könnyen alkalmazhatók, és nem járnak fáradtságos numerikus számításokkal."/[50] 162.old./

A "Szegedi Iskola" első nagy kutatási programja a belső fluoreszcenciajellemzők meghatározása volt. A végrehajtás során bizonyos közelítések és elhanyagolások váltak szükségessé, az eredmény alkalmazhatósága azonban meghaladta az ismert egyéb módszerekét. Agranovics és Konobejev ugyan exaktabb eljárást dolgoznak ki, az f/λ' valódi spektrumfüggvény azonban csak egy integrálegyenletrendszer többszöri iteráció útján történő közelítő megoldásával kapható meg. A két eljárás alkalmazhatóságát Ketskeméty a következőképpen értékeli: "A később kidolgozott Agranovics-Konobejev féle elméletet a miénkkel összehasonlítva kitűnik, hogy az utóbbi a szekundérfluo-

reszcencia hatásainak számbavétele szempontjából könnyebben kezelhető."

A program végrehajtása során a szegedi fizikusok számos területen járultak hozzá a lumineszcenciára vonatkozó ismeretek finomításához és korrekciójához. Gáti és Szalay kimutatták, hogy a rotációs depolarizációra vonatkozó ismert összefüggések által szolgáltatott adatok azért térnek el a mérési eredményektől, mert figyelmen kívül hagyták a szekundér lumineszcenciát. A koncentrációs depolarizációra vonatkozó elméletek finomítására Ketskeméty több javaslatot tesz. Korrigálja a molekulatávolságot megadó Förster-képlet levezetésében előforduló hibát, mely egy $\mathcal{T}^5$ -ös faktor $\mathcal{T}^6$ -al való téves helyettesítéséből származik. Ketskeméty igazítja ki a relatív polarizációs fokot megadó Galanyin-féle képletben egy $\sqrt{\mathcal{T}}$ szorzófaktor elhagyásából származó hibát. A polarizáció fokát csökkentő két lényeges hatás vizsgálatát tűzi ki céljául Szalay László 1964-ben megvédett akadémiai doktori disszertációja. [52]

Már Ljovsin 1925-ben publikált megfigyelései kétségtelenné tették, hogy a molekulák forgómozgását nem a makroszkópikus viszkozitás befolyásolja elsősorban. A rotációs depolarizáció folyamatára sokkal lényegesebb hatást fejt ki a molekula közvetlen környezetére jellemző lokális viszkozitás. Az oldott fluoreszkáló részecskéknek az oldószerrel való kölcsönhatását vizsgálva Szalay és Szöllősy a polarizációs fok és az oldószer dielektromos relaxációs ideje között kaptak összefüggést. A Debye-féle formula felhasználásával levezetett képlet vizes fluoreszcein és alkoholos tripaflavin oldatokra jól alkalmazható, és lehetőséget ad a nehezen mérhető relaxációs idő egyszerűbb meghatározására. A rotációs depolarizáció vizsgálata tehát a molekulák mikrokörnyezetére vonatkozóan szolgáltat fontos információkat.

A koncentrációs depolarizáció folyamán energia megy át egy gerjesztett molekuláról egy azonos minőségű, gerjesztetlen

molekulára. Az energiavándorlás kérdése központi problémája a molekuláris fizikán túlmenően a biológiának is. Az energiavándorlás biológiai vonatkozásaival már több mint két évtizede behatóan foglalkozott Szent-Györgyi Albert. A kérdéskörnek a fizika eszközeivel történő vizsgálata azonban ~~ek~~zaktabb módszerek alkalmazására nyújt lehetőséget.

A disszertáció lényeges eredménye az energiavándorlásra jellemző adatnak, a kritikus molekulatávolságnak kiszámítására szolgáló, tökéletesített összefüggés levezetése. Továbbfincimítja az energiaátmenetben résztvevő molekulák arányát megadó Förster-Ore formulát. A korrigált képlet jól alkalmazható olyan fluoreszkáló oldatokra is, melyekre vonatkozóan a korábbi mérési eredmények a számított adatoktól lényegesen eltértek.

Budó idézett székfoglalója is érinti a fotolumineszcencia egy fontos, további tanulmányozást igénylő kérdését, az oldatokban lejátszódó energiavándorlás jelenségét. A folyamat lényegét a koncentrációs depolarizáció mechanizmusának leírásával jellemezzük.

Ismert tény, hogy a Fluoreszkáló anyag koncentrációját növelve a polarizációs fok csökken. A jelenség oka az, hogy a primér gerjesztésű molekulák a felvett energiát átadják a közelükben lévő, gerjesztetlen molekuláknak. A transzfer azonos anyag molekulái között játszódik le, és igen gyors, 10^{-8} s - 10^{-9} s időtartamu folyamat. A gerjesztett molekulák energiája tehát még a lumineszcenciafoton kilépése előtt átadódik más, rendezetlenebb oszcillátorok halmazával reprezentálható molekulacsoportnak. A folyamat természetes következménye a kilépő fluoreszcenciafény alacsonyabb polarizációs foka.

A fenti kérdéskör vizsgálatát tűzi ki céljául Dombi József kandidátusi értekezése. [53]

A gázkeverékekben történő szenzibilizált fluoreszcenciát vizsgálva megállapítja, hogy az energiavándorlás ütközések, vagy elsődlegesen gerjesztett centrumok által emittált fotonoknak a szenzibilizált molekulák által történő elnyelésével nem magyarázható meg. Az ilyenirányú értelmezési kísérletek kudarca arra mutat, hogy a gerjesztési energia sugárzásmentes továbbítása az átadást létesítő folyamat.

A koncentrációs depolarizáción túlmenően a koncentrációs kioltás, vagy a biológiai rendszerekben lejátszódó fotokémiai folyamatok is értelmezhetők sugárzásmentes energiaátadással.

A keverékoldatokban lejátszódó energiaátadási folyamatok a molekulák közötti kölcsönhatás dipolus-jellegére utalnak. Az értekezés finomítja a keverékoldatok fluoreszcenciajellemzőire vonatkozó korábbi összefüggéseket. Módszert dolgoz ki az energiaátadásban szerepet játszó részfolyamatok relatív gyakoriságának meghatározására. Az elméleti eredmények kontrollját egy saját konstrukcióju mérőműszer segítségével végzi el. A vizsgálatokat a disszertáció négy keverékoldatra vonatkozóan ismerteti.

A luminszcencia hatásfokára vonatkozó ismereteket egy lényeges területen egészítik ki Budó, Horvai, Ketskémty és Farkas Éva 1964 és 1970 között publikált eredményei. Számos - luminszkáló oldaton elvégzett - mérés szerint a fluoreszcencia hatásfoka az anti-stokesi tartományban meredek esést mutat. Több kutató tette vizsgálat tárgyává, hogy a termodinamika főtételei megszabnak-e a hatásfokra egy olyan felső korlátot, melynek létezése az anti-stokesi esést általánosan érvényes törvényszerűség rangjára emeli.

Budó és Ketskémty vizsgálataiknál az irreverzibilis folyamatok termodinamikájának Prigogine-féle megfogalmazásából indulnak ki, mely szerint egy rendszer entrópiájának belső változásokból adódó része nem lehet negatív. Az entrópiánövekedés a sugárzás elnyelésének, kibocsátásának és a hőfejlődésnek megfelelő részekből tevődik össze. Matematikai át-

alakítások után a hatásfokot, továbbá egy integrált tartalmazó egyenlőtlenséghez jutnak. Sorbafejtést végezve, megfelelő számú tag figyelembevételével a hatásfokra egy olyan felső korlátot kapnak, mely mind kis, mind nagy /de nem lézer/ gerjesztési intenzitásoknál érvényes.

Horvai Rezső kandidátusi disszertációjában [54] eljárást ad arra vonatkozóan, miképpen lehet tetszésszerű gerjesztési intenzitásnál meghatározni a felső korlátot. Az előállított reláció azonban bonyolultabb alakú a Budó és Ketskeméty által megadott összefüggéseknél. A kísérleti eredmények Horvai számításaival egyező értékeket szolgáltatnak.

A hatásfokot korlátozó küszöbérték-függvény létezését újra igazolták Ketskeméty és Farkas Éva 1970-ben megjelent publikációjukban. [55]

Az elméleti alap kiegészítését a kis koncentrációjú oldatok vizsgálata tette szükségessé. Ezekre a hig oldatokra ugyanis nem teljesül Budó és Ketskeméty azon - levezetés közben felhasznált - feltevése, hogy a közeg teljes mértékben homogén. Ezért a szerzők egy új modellt választanak és a levezetésben nem használják ki a közeg homogenitására vonatkozó feltevést. Ily módon is elő tudnak állítani egy frekvenciától függő felső korlátot. A rodamin B-n, tripaflavinon, fluoreszceinen és eozinon elvégzett mérések az elmélettel teljes összhangot mutatnak.

A felsorolt eredmények kétségtelenné teszik, hogy az entrópiatörvénynek a lumineszcencia-folyamatokra való alkalmazása a hatásfokra egy frekvencia-függő felső korlátot szolgáltat.

A sokoldalú eredmények, melyek egyaránt termékei a team-munkának és az egyéni teljesítménynek, a szakterület művelőinek messzemenő figyelmét váltották ki. Ugy vélem, hogy a fejezet címében szereplő "Szegedi Iskola" megnevezés igen

érzékletesen fejezi ki a lumineszcenciakutatás szakmai közvéleményének értékelését és megbecsülését.

A szerteágazó eredményeket maradéktalanul számbavenni egy disszertáció kereteit messze meghaladó vállalkozás lenne. Befejezésül azonban szeretném bemutatni a lumineszcenciakutatók egy gyakorlati alkalmazását. Nem állítom, hogy a példa a "Szegedi Iskola" elméleti eredményeinek a legjellemzőbb felhasználását szemlélteti. Kétségtelenül érzékelteti azonban, milyen távoli területeken is nyithat lehetőséget nagy teljesítőképességű vizsgálati eljárások bevezetésére a fizika kisugárzása.

Faredin Imre és Sárkány Béla egy 1957-ben írt cikkben, [56] valamint 1959-ben megjelent két további közleményben [57], [58] számolnak be a fluorimetria egy klinikai /laboratóriumi/ alkalmazásáról. Az adrenalin az emberi szervezet működésének szabályozásában kitüntetett szerepe van. A azövetek és a vérplazma azonban oly kis mennyiséget tartalmaznak e fontos hormomból, hogy kimutatásához a kémiai eljárás nem elég érzékeny. A biológiai titrálás megfelelő lenne, ám adrenalin és noradrenalin egymás mellett történő meghatározása esetén nehézkessé és pontatlanná válik. Mivel az adrenalin egy oxidációs származéka /illetve etiléndiaminnal képezett vegyület/ 435 nm-es hullámhosszú megvilágításra sárgászöld fluoreszcenciafényt ad, fluorimetrikus úton meghatározható.

A szerzők a harmadik közleményben összefoglalják a fluorimetriás eljárással szerzett kedvező tapasztalatokat. Az alábbi idézet igen beszédesen szól arról, mit tett a laboratóriumi vizsgálatok eszköztárának gazdagításáért a "Szegedi Iskola".

"Hazánk orvosi laboratóriumaiiban mindeztideig nem terjedhettek el ezek a vizsgálatok... mert nem foglalkoztak behatóan e nagy lehetőségekkel kecsegtető, igen érzékeny eljárásokkal."

A Kísérleti Fizikai Intézet munkatársainak egyrészre a hatvanas évek végén kezd meg egy új kutatási terület művelését. A lézerkutatás kibontakozása ugyan kilép a disszertáció megszabott időhatárai közül, az elért eredmények jelentősége és a lumineszcenciakutatással való kapcsolódásuk mégis kívánatossá tesz egy rövid áttekintést.

A rubin, majd folyadéklézerekkel folytatott vizsgálatokat követően az intézet kutatóinak figyelme a gázlézerekre irányult. Az 1974-ben megkezdett kutatások az alacsony nyomású nitrogénlézer kifejlesztése területén jelentős eredményekhez vezettek. A többszáz kilowatt csúcsteljesítményű, 10 nanoszekundum időtartamú impulzusokat produkáló, 337 nm-en sugárzó nitrogénlézer lehetővé teszi festéklézerek előállítását is. A nagymolekulájú anyagot /pl. rodamin 6 G-t etilalkoholban/ tartalmazó festékkoldat széleskimenetű sugárzása 30-35 nm sáv szélességű. /A festéklézer sáv szélessége azonban meglehetősen széles határok között változtatható./ A kifejlesztett berendezések mind az alapkutatás, mind az alkalmazott kutatás területén számos vizsgálat hatékonyabb módszerekkel való elvégzésének lehetőségét kínálják. A lézernyaláb alkalmas pl. a molekulák Raman-szinképének nagy intenzitással történő előállítására, ezért a spektrum felvételének ideje kb. 10^3 -szorosan rövidül le. Az új módszerek lehetővé teszik rendkívül kis koncentrációjú oldatok lumineszcenciájának vizsgálatát is.

A kifejlesztett műszerek felhasználhatók a biológiai, genetikai kutatásokban, a környezetvédelem területén. Az eljárás alkalmas kismennyiségű vitaminok / B_1 ; B_2 ; B_{12} ; K vitamin/ kimutatására, vagy élelmiszeripari termékek nagy pontosságú minősítő vizsgálatára. /Pl. sör nitrozamin vagy bor hisztamin tartalmának meghatározására./ Az érzékeny eszközök kiválóan felhasználhatók vízminőségi ellenőrzések végzésére is.

Összefoglalás

Jelentős fizikusegyéniségek pályafutását követve tekintettük át a Szegeden végzett fizikai kutatás fél évszázadának történetét. Mindenki egyéni sorsát éli át, a négy életút - különbözőségei ellenére - mégis mutat egy rokonvonást. Fröhlich, Gyulai, Bay és Budó széles körökben ismertté váló első eredményeit a fizikai kutatás egy-egy nemzetközi centrumában éri el. Iskolateremtő, nagy tudósok irányítása és saját intuiciójuk vezérli őket a modern fizika megoldásra váró nagy kérdéseihez. A szeszélyes szerencse, mely néha a legnagyobbakat is évtizedek kudarc-sorozatával csúfolja meg - gondoljunk az öregedő Einstein önmagába zárkózására, vagy Dirac-nak a hetedik évtized végén elmondott önvallomására - kedvez nekik. Sikereket érnek el; egy-egy kialakuló tudományterület alapvető felismerései fűződnek kutatásaikhoz. Éveket töltenek a modern fizika kialakítóinak szellemétől áthatott intézetekben, munkára serkentő gondolatimpulzusok állandó áramában. A második otthonukká vált idegen tudományos műhelyekben az ismeretlenbe behatoló kutatót a kor legjobban felszerezett laboratóriumai támogatják.

Az ösztöndijas évek eltelnek, és a sikeres fiatal tudós dönteni kényszerül. Keressen-e lehetőséget a megkezdett munka külföldi folytatására, vagy válassza a fizikusnak igen keveset ígérő magyar egyetemek katedráját? Bár sok ellenpéldát is láthatnak, a második alternatívát választják mind a négyen. Fröhlich, Gyulai és Bay Szegedre térnek vissza. A tiszaparti civis-városba, ahol már 1928-ban készletre érzi magát a rector magnificus, hogy nyilvánosan elmagyarázza: az oktatók nem egész napot kitöltő órarendi elfoglaltsága nem jelenti azt, hogy a fennmaradó időben a szellem is tétlenkedik. Nem tudjuk, hogy a professzori időbeosztást görbe szemmel figyelő szorgos szegedi polgárokat meggyőzte-e

az érvelés, az azonban kétségtelen, hogy a fizikai kutatás szegedi uttörői kitöltik munkanapjaikat. Témát, szemléletet, igényességet és kísérleti technikát hoznak magukkal. Terveket és fejlett tudományos élet hazai megteremtésének igényét. A valósággal való szembesítés elég lehangoló. "Bár a magyar fizikusok rendelkezésére álló anyagi eszközök mindig szerények voltak - mondja az Akadémia 1926-os centenáriumi ülésén Pogány Béla - a viszonyok sohasem voltak még oly katasztrofálisak, mint a jelen pillanatban, mikor az anyagi eszközök értéke praktikusán nulla. A fizika művelésére pedig éppúgy vonatkoznak Montecuccoli szavai, mint a háborúra: ahhoz pénz kell!

1910-ben mondotta egy nagynevű német professzorom tanítványai előtt: Mintegy húsz évvel ezelőtt még lehettek olyan fizikusok, akik büszkék voltak arra, ha jelentéktelen segédeszközökkel érdemlegeset produkáltak. Ez már akkor is olyan kedvtelés volt, mely idővel egyetlen varázsát, az újszerűséget is elvesztette. Ma az ilyen igyekezet egyenesen céltalan, mert az olcsó kísérleteket már mind végrehajtották." [59]

A hazatérő Fröhlichnek, Gyulainak és Baynak nem állnak rendelkezésére költséges eszközök. A fizikai intézet felszereltsége kétségkívül lényegesen javul az első, nehéz évtized elmúltával, a kutatóeszközök korszerűsége tekintetében azonban aligha mérhető Szeged Baltimore-hoz, Göttingenhez vagy Berlinhez. A szegedi fizikai kutatás uttörőinek és továbbfejlesztőinek hervadhatatlan érdeme, hogy a kor színvonalán álló fizikai kutatásokat ültetnek át és honosítanak meg az új egyetemen. Nem perifériális témák, a fizika fejlődésének fősodrától távoleső kutatások foglalkoztatják őket. Ott folytatják kutatásaikat, ahol félbeszakította munkájukat a hazatérés, és sokkal szerényebb eszközökkel is képesek szerencsésebb körülmények között megkezdett kutatásaikat továbbfejleszteni. Fröhlich Szegeden alkalmazza - világviszonylatban az elsők között - a lumineszcenciafény polarizációs fokának mérésére a fotocellát, és ezzel a kísérleti techni-

ka érzékenységet több nagyságrenddel megnöveli. A zselatinban oldott festékfoszforok lumineszcenciafényének polarizáltságát szintén idehaza mutatja ki. A polarizációs színkép fogalmának kialakítása, melynek megalkotása Vavilov és Ljovsin mellett Fröhlich nevéhez is fűződik, jórészt hazai kutatások eredménye.

Gyulai Zoltán életművében szinte elvalaszthatatlanul kapcsolódnak össze a szilárdtestfizika terén elért külföldi, illetve hazai eredményei. Röntgenezett kristályok fotovezetésénél az elektronkiváltás kvantumszerűségét ugyan Göttingenben ismeri fel; a teljesértékű bizonyítást azonban egy évtized múlva, idehaza fejezi be. Németországban dolgozza ki az additív színezés egy igen egyszerű módját. Kimutatja továbbá, hogy az additív színezés és a röntgenezés azonos F centrumokat hoz létre. Felismeri az alkáli-halogenideken az F-F' és F'-F átalakulást, és értelmezi a kőszórkristály természetes kék és ibolya elszíneződését.

Szegedi korszaka során ugyanezeket a jelenségeket az anyagszerkezet oldaláról vizsgálja meg Gyulai. A Gyulai-Hartly effektus felfedezése mély bepillantást tesz lehetővé az alkálihalogenid kristályok vezetésének mechanizmusába. Az ólomklorid pasztillák vezetőképességét vizsgálva felfedezi, hogy a KCl adalék megváltoztatja az aktivációs energiát. Fröhlichel közösen fedezi fel a zselatin festékfoszforokon észlelhető gerjesztési jelenségeket. A Gyulai-Hartly effektushoz kapcsolódva kezdi meg kristályszerkezeti és kristálynövekedési vizsgálatait.

A fizikus teljesítményét minősíti gondolatainak kisugárzása, műveinek utóélete is. Fröhlich Pál munkásságát a magyar fotolumineszcencia-kutatás alapvetésének tekinthetjük. A "Szegedi Iskola" kialakulása életművének folytatása és betetőzése. Gyulai Zoltán kutatásai hosszú évekre ellátják témával tanítványait és munkatársait. Tarján Imre, Morlin Zoltán, Somló Ágnes, Voszka Rudolf, és Malicskó László 1950

és 1970 között számos publikációt jelentetnek meg szincen-
trumok keletkezésére, a szineződés mechanizmusára, kristályok
fotovezetésére, rekrisztallizációs folyamatokra vonatkozóan.
A Gyulai-Hartly effektus vitatott témakörét több külföldi
fizikus is megvizsgálja. Az effektus kiterjesztését és hő-
mérsékletfüggésének kimérését Caffyn és Goodfellow az öt-
venes években végzi el.[60]

Bay Zoltán Szegeden eltöltött évei a nagy magyar fizikus
tudományos pályafutásának viszonylag kis hányadát teszik ki.
Világszerte ismert tudományos alkotásához, az elektronsok-
szorozón alapuló részecskeszámláló megszerkesztéséhez a gon-
dolai impulzust mégis az itt töltött évek során végzett vizs-
gálatai szolgáltatták.

Woldemar Voigt-nak Pogány Béla által idézett véleménye nyil-
ván igaz. A fizikai kutatás már a század elején sem nélkü-
lőzhette a költséges eszközöket. A kategórikus állítások
azonban figyelmen kívül hagyják a kivételeket. Egyre gyérü-
lő számban ugyan, de maradtak olyan kutatási területek, me-
lyeken aránylag egyszerű eszközökkel is lehetett eredményt
elérni. Hevesi György például - bár a világ legkorszerűbb
laboratóriumai állnak rendelkezésére - igen szerény appará-
tust alkalmazva produkálja a biológiai kutatást alapjaiban
forradalmasító felfedezéseit. A három szegedi fizikus alko-
tószellemében abban is megmutatkozik, hogy szerény kísérleti
lehetőségeikhez szerencsés invencióval megtalálták az al-
kalmas kutatási területeket. Így tudtak kapcsolatot tartani
a fejlődéssel, a fizikai haladás élvonalával.

A kísérleti fizikai intézet történetének első korszaka -
- némi kerekítéssel - közel negyedszázadot ölel fel. Ugyan-
ekkora időtartamra terjed ki a második, Budó professzor ne-
véhez fűződő, általa inspirált kutatások korszaka.

Az a kép, melyet a szegedi fizikai kutatások második nagy
korszakáról kíséreltem megrajzolni, nem lehetett olyan rész-

letgazdag, mint az első periódus korábban megadott története. 1925 és 1942 között, melyet - némi értelmi átfogalmazással - az "inter arma silent Musae" többéves időszaka követ, 33 cikk jelenik meg Fröhlich, Gyulai, Bay és munkatársaik tollából. Dombi József idézett [46] dolgozatának igen részletes irodalomjegyzéke csak az 1955-1970-es időszakból 113 fotolumineszcenciára vonatkozó publikációt sorol fel. A fluoreszcencia témaköréből 1954 és 1969 között 7 kandidátusi, 2 akadémiai doktori értekezés készült, és ugyanezen témakörből tartja akadémiai székfoglaló előadását 1961-ben Budó professzor is.

A számok mechanikus összevetése már érzékelteti, hogy a második korszak produkcióval valamelyest is arányos ismertetése önmagában is túllépné a disszertáció kereteit, ha az első időszak tárgyalásánál követett részletességet szeretnénk továbbvinni. Az oldalszámok arányai tehát nem kívánnak maximum-magasságokat jelezni. Az első nagy korszak eltérő mértékű részletezése azonban nem szubjektív mérlegelés következménye.

Néhány éve meglehetősen sok szó esik történelmi tudatunk ki-fejlődésének elmaradottságáról. Történelmi múltunk megőrzésének azonban szerves része szellemi életünk történéseinek számontartása is. Tudománytörténeti emlékeink megővésében sajnos - gondoljunk az Eötvös-hagyaték siralmas pusztulására - meglehetősen hagyagságot mutattunk. A szegedi egyetem alapítását követő években végzett kutatásokat egyre jobban távolítja tőlünk a múló idő. Részesei - Bay Zoltánnak, a magyar fizika Nestorának kivételével - nem élnek már. A tárgyi maradványok gyérülnek; az életművek maradandó értékű elemeit egyre nehezebben azonosítható módon nyelik el a tudományterület magasba szökkenő építményeinek alapjai. Egyre kisebb a valószínűsége annak, hogy a sárguló lapokat felüsse egy érdeklődő keze, és genezisükben keresse meg a már kristályossá tisztult gondolatok eredetét. E tények azonban nem csökkentik az alkotók érdemét, és nem mentenek fel

a kötelesség alól, hogy megőrizzük a magyar fizika, közelebbről: a Szegeden maradandó értékeket alkotó fizikai kutatás emlékeit. A disszertáció szerzőjét ez az elgondolás irányította, mikor részletesebben dolgozta fel a fizikátörténeti multtá vált éveket.

Azok a kutatások, melyeket a kísérleti fizika második nagy tiszaparti honfoglalása során Budó professzor indít meg, napjaink történetéhez vezetnek el. A professzor halálával történő zárás ezért mesterséges cézura, mely kibontakozó folyamatokat szakít meg önkényesen vagy vág ketté. A folyamatosságot néhány rövid kipillantással próbáltam érzékelteni.

Az átfogott korszak felső határának kis időbeli distanciája nem teszi lehetővé, hogy a második szakasz tevékenységét az elsőnél adott távlatból értékeljem. Szeretném azonban disszertációm a korszakot nevével fémjelező Budó professzor arcképvázlatával zárni.

Budó Ágoston tudományos munkásságának a lumineszcencia körébe vágó részét a "Szegedi Iskola" tevékenységénél foglaltam össze. Ezuttal más nézőpontból kiindulva, a kísérleti fizika legjelentősebb magyar tankönyvszerzőjének, a professzornak az arcélét szeretném felvázolni.

Az emberiség nemzedékről-nemzedékre átörökitett tudásanyagának továbbításában a legérdekesebb szerepet a markáns tanáregyéniségek töltik be. Budó Ágoston azok közé a professzorok közé tartozott, akiknek emléke eltörölhetetlen élességgel rajzolódik be tanítványaik élményanyagába. Csendesszavú, minden élénk gesztustól tartózkodó előadó volt. Tanítványait intellektusa erejével nyugozta le, és ennek a józan, vizsgálódó értelemnek tapinthatóan érzékletes jelenléte pissenéstelen csendre bűvölt százhusz hallgatót. Amint magas, fehérköpenyes alakja az előadó ajtajában megjelent, valami olyasmi következett be, mint amikor egy nagy

színész belép, és a szinpad egyszerre megtelik. A hasonlat csak a nagy egyéniség atmoszférateremtő hatására vonatkozik, hiszen Budó professzor mellőzte az átélés és megjátszás azon szolid színészi eszközeit is, melyek a tanári pályára szinte obligát kellékei. Tanítványai sokat, igen sokat tanultak tőle, de legmaradandóbb hatása gondolkodási módszerének átörökítésében rejlett. Halkan, lassan beszélt, nem töredezetten, de éreztük, hogy minden szót gondosan megválasztott. Stílusa nem volt színes, de kitűnően értett ahhoz, hogy a magyar nyelv gazdag kifejezőerejét teljes mértékben felhasználja a fizika gondolatainak továbbadására. Amit Budó professzor megfogalmazott, arról tudtuk, hogy azt nyelvileg tökéletesebben kifejezni nem lehet. A szavakkal történő megjelenítés nem mindig képes visszaadni a belül élő fogalom csillogó tökéletességét; a professzor előadásának minden mondata mégis szuggesztíven sugallta: elfogadni csak a gondolat legjobb nyelvi aproximációját szabad.

Rendkívül higgadtan adott elő, modora rendithetetlen nyugalmat árasztott. A bosszúság árnyéka ritkán suhant át homlokán; ilyenkor azonban tudtuk, hogy valamit úgy fogalmazott meg, ahogy azt még Budótól sem fogadná el Budó Ágoston. Világos volt, hogy nem hallgatói miatt indignált, akiknek képzetlensége még nem alkalmas a feltáruló fizikai gondolat teljes mélységének átértésére. Nyilván magára neheztelt, és addig javította önmagát, amíg a kifejezés tovább nem finomítható tökéletességét el nem érte. A fokozatos, a tökéletlenebb megközelítést folyamatosan korrigáló módszert azonban pedagógiai fogásként is alkalmazta.

Mesteri avatottsággal bontotta ki hallgatóinak a fizika legmélyebb gondolatait. Ismereteket adott át és egyidejűleg szemléletet is fejlesztett. A tanárjelöltek a természettudományos gondolkodásmód alapjait és gondolatrendszerét a kísérleti fizika előadásain sajátították el. Jegyzeteit, tankönyveit az érdeklődő egyetemi hallgató és a végzett szakember egyaránt élvezettel forgatja. Gondosan, min-

den lényeges részletre kiterjeszkedve tárgyalja anyagát. A felölelt fizikai ismeretek téra lenyűgözően gazdag. Még akkor is célszerű a Kisérleti Fizika tankönyv megfelelő kötetének fellapozásával kezdeni a tájékozódást, ha tudjuk, hogy a részletes kifejtést a fizika valamely szűkebb területét tárgyaló kézikönyvben találjuk meg. Didaktikai felépítése mintaszerű, adatainak pontossága legendás. A művet gondos munkatársai befejezték, a nagy alkotás nem maradt csonkán. A professzor szemléletét, gondolatait, nem csendes szavai, élő beszéde közvetítik már. A holt betűk olvasóiban azonban feléled szelleme, visszaemlékeznek mosolyára, szemének csillanására és a szálló idő egy pillanatra megáll. Fejet hajtunk az előtt, ami az alkotó emberben a legtisztéletreméltóbb és halhatatlan: a gondolat előtt.

Ugy vélem, a disszertációban bemutatott ábraanyag némi kommentálást igényel. Az első felhasznált forrásmű megjelenésétől napjainkig hatvan esztendő tellett el. A fizikai jelölésmódok, közhasználatú mértékegységek ezalatt az idő alatt többször is változtak. A rajzokat az eredeti jelölésekkel vettem át; csupán a hosszúság zavaróan sokféle mértékegységét egységesítettem nanométerre. A mértékegységek kiírásában a hajdanvolt fizikusok általában nem követték a ma kötelező precizitást, ezért a "függő változó" tengelyének jelölése többször hiányos. Több esetben alkalmaznak önkényesen definiált mértékegységeket. Előfordul az is, hogy a függőleges tengely egyidejűleg két különböző mértékegységű / és léptékű/ mennyiség reprezentálására szolgál. Az eredeti szellemi alkotás iránti kötelező tisztelet szempontja vezérelt, ezért az ábrákat nem korrigáltam, és nem egészítettem ki. Az említett hiányok ugyanis - megítélésem szerint - a tudományos gondolat világosságát sehol sem árnyékolják be. Az eredeti ábrákról csak lényegtelen, az áttekinthetőséget zavaró részleteket hagytam el. A rajzokon egy-két olyan hibát is találtam, amit nem lehetett korrigálni, ezeket természetesen módosítás nélkül reprodukáltam.

A szerzők terminus technikusait - ahol az érthetőséget nem zavarták - igyekeztem megtartani. Ahol a szó ódon zengése túlságosan modorosnak tűnt, idézőjelet alkalmaztam. Az idegennyekvű szövegek azon szakkifejezéseit, melyekre magyar műszó nincsen, tükörfordítással adtam vissza. Amennyiben a szóösszetételt így túl idegennek találtam, ép nyelvérzékünk immun reakcióját itt is egy idézőjel kirakásával kívántam enyhíteni.

A disszertáció zárósoraiban szeretnék köszönetet mondani azoknak, akik az anyag összegyűjtésében és feldolgozásában számomra felbecsülhetetlen értékű segítséget nyújtottak.

Dr. Bay Zoltán, a George Washington egyetem professzora, a washingtoni National Bureau of Standards osztályvezetője, szegedi működésével kapcsolatos irodalmi tevékenysége pontos körülhatárolásával és erre vonatkozó anyagok átengedésével segítette munkámat.

Dr. Dombi József egyetemi docens, a fizikai tudományok kandidátusa, személyes tulajdonában lévő - egyes esetekben tudománytörténeti ritkaságnak számító - irodalmi anyag átengedésével támogatott. Mint a Kisérleti Fizikai Intézet egyik legrégibb munkatársa, személyes emlékeinek felidézésével adott vezérfonalat egy-egy terület feltárásának megkezdésére. Adatközlései, folyamatos jótanácsai nélkülözhetetlen támaszt nyújtottak.

Dr. Farkas Edit a fotolumineszcencia kutatás egyik speciális területén nyújtott segítséget adatok és anyagok szolgáltatásával.

Dr. Ketskeméty István egyetemi tanár, intézetigazgató, a fizikai tudományok doktora, lehetőséget adott a Kisérleti Fizikai Intézet vezetőinek birtokában, illetőleg hagyatékában lévő szakirodalmi ritkaságok átvizsgálására és fel-

használására. A művek egyrésze, melyekre figyelmemet felhívta, feltehetően egyedi példányban létező tudománytörténeti ritkaság.

Dr. Németh Béla a lézerkutatásra vonatkozóan bocsátott rendelkezésekre információkat, illetőleg szakirodalmat.

Dr. Szalay László egyetemi tanár, a Biofizikai Intézet igazgatója, a fizikai tudományok doktora, alapvető irodalom átengedésével, továbbá igen értékes tanácsaival segítette munkámat.

Valamennyiüknek ezuton szeretném köszönetemet kifejezni.

A hivatkozásokban szereplő irodalom jegyzéke

- [1] Beszámoló az 1921-27 évek tanulmányi munkájáról. Egyetemi gyűjtemény, Szeged.
- [2] Gyulai Zoltán: Emlékezés Tangl Károlyra és a volt kolozsvári fizikai intézetre. Fizikai Szemle 1968.
- [3] Ortway Rudolf: Farkas Gyula tudományos működése. Math. és Phys. Lapok. 1927.
- [4] Wigner Jenő levelei Ortway Rudolffhoz. Fizikai Szemle, 1972.
- [5] Beszámoló az 1930-31 év tanulmányi munkájáról. Egyetemi gyűjtemény, Szeged.
- [6] Gyulai Zoltán: A Hallwachs-effektusról szelénen. Math. és Phys. Lapok. 1912.
- [7] Gyulai Zoltán: NaCl kristályok fényelektromos vezetéséhez. Math. és Phys. Lapok. 1925.
- [8] Gyulai Zoltán: A quantumegyenlőség a NaCl kristályok elektromos vezetésénél. Math. és Phys. Lapok, 1925.
- [9] Gyulai Zoltán: Adalék a fényelektromosan vezető NaCl kristályok fényelnyeléséhez. Math. és Phys. Lapok, 1925.
- [10] Z. Gyulai: Zum Quantenäquivalent bei der lichtelektrischen Leitung in NaCl-Kristallen. Zeitschr. f. Phys. 32. 1925.
- [11] Tarján Imre: Szincentrumok alkálihalogenid kristályokban. Magyar Fizikai Folyóirat 1953.
- [12] Voszka Rudolf: A szincentrum-problémakör kialakulása és néhány időszerű kérdése. Fizikai Szemle, 1968.
- [13] Budó Ágoston: Gyulai Zoltán. Fizikai Szemle, 1968.
- [14] Z. Gyulai: Lichtelectrische und optische Messungen an blauen und gelben Steinsalzkrystallen. Zeitschr. f. Phys. 1925.
- [15] Z. Gyulai: Zur additiven Färbung von Alkali-halogenid Kristallen. Zeitschr. f. Phys. 1925.
- [16] Z. Gyulai: Über den Vorgang der Erregung bei der Lichtabsorption in Kristallen. Zeitschr. f. Phys. 1926.
- [17] Gyulai Zoltán: A fényelektromos vizsgálatok eredményei. Math. és Phys. Lapok. 1927.

- [18] Gyulai Zoltán, Hartly Domokos: Kőszó elektromos vezetőképesége egyoldalú nyomás alatt. Math. és Phys. Lapok. 1928.
- [18/a] Kiss József: A Gyulai-Hartly féle effektus az újabb eredmények tükrében. Fizikai Szemle. 1968.
- [19] Gyulai Zoltán: Adalék az ionvezetés mechanizmusának ismeretéhez. Math. és Term.tud. Értesítő. 1930.
- [20] Gyulai Zoltán: Az ólomchlorid elektromos vezetőképeségének hőmérsékleti függése KCl hatására. Math. és Phys. Lapok. 1930.
- [21] Gyulai Zoltán: Deformált NaCl kristályok elektromos vezetéséhez. Math. és Phys. Lapok. 1933.
- [22] Gyulai Zoltán, Ostap Stasiw: Additiv festésű KCl-kristályok elektronos vezetése. Math. és Phys.Lapok. 1933.
- [23] Gyulai Zoltán: Tulterhelt NaCl-kristályok elektromos vezetése és kristályos szerkezete. Math. és Phys. Lapok. 1935.
- [24] J. Boros, Z. Gyulai: Elektrische Ausmessung der Erholung verfestigter Steinsalzkrystalle. Zeitschr. f. Phys. 1935.
- [25] Z. Gyulai, P. Tomka: Zum Quentenäquivalent bei der lichtelektrischen Leitung in NaCl-Kristallen. Zeitschr. f. Phys. 1935.
- [26] Fröhlich Pál: A fénytörésről. Math. és Phys. Lapok. 1924.
- [27] P. Fröhlich: Die Polarisation des Fluoreszenzlichts von Farbstofflösungen. Zeitschr. f. Phys. 1925.
- [28] Ljovsin: Az anyagban végbemenő energiaátalakulás és átvitel fluoreszcencia esetében. Magyar Fizikai Folyóirat. 1954.
- [29] Fröhlich Pál: A foszforeszcencia egy új törvényszerűsége. Math. és Term. Tud. Ért. 1930.
- [30] P.Fröhlich, Z. Gyulai: Beiträge zur Kenntnis der Erregung von Gelatinefarbephosphoren. Zeitschr. f. Phys. 1937.
- [31] Fröhlich Pál, Gombay Lejos: Szilárd festékfoszforok negatív polározásu emissziójáról. Math. és Term. Tud. Ért. 1940.
- [32] H. Mischung: Lichtabsorption der Gelatine-Farbstoffphosphoren. Acta Chemica, Mineralogica et Phys. Tom: VI. Fa. 2-3. 1938. Szeged.

- [33] Mischung Ilona: Zselatinfoszforok abszorpciója és a Beer-féle törvény. Math. és Term.tud. Ért. 1940.
- [34] Gombay Lajos: Vizsgálatok a szilárd festékfoszforok vezetőképességéről. Math. és Term.tud. Ért. 1939.
- [35] L. Gombay: Neuere Untersuchungen über die Leitfähigkeit der Gelatine-Farbstoffphosphoren. Kolloid Zeitschrift 1942. Leipzig.
- [36] Bay Zoltán: Nagyintenzitású áramlökések ritkított gázokban. Math. és Phys. Lapok. 1930.
- [37] Bay Zoltán: A kondenzált kisülések új elmélete és kísérleti megvizsgálása. Math. és Term.tud. Ért. 1933.
- [38] Bay Zoltán: Kis mozgásoknak csuklólánc által való nagytásáról. Math. és Term.tud. Ért. 1935.
- [39] Bay Zoltán: Egy új rendszerű elektrokardiographról. Orvosi Hetilap. 1934.
- [40] Z. Bay, G. Papp: Über den Kerneffekt bei der Streuung von γ Strahlen. Zeitschr. f. Phys. 1938.
- [41] Z. Bay, Z. Szepesi: Über die Intensitätsverteilung der Compton-Streuung von γ -Strahlen. Zeitschr. f. Phys. 1938.
- [42] Ránki György: Magyarország gyáripára a második világháború előkészítésének éveiben. /1933-38/ Kandidátusi értekezés. Magyar Tudományos Akadémia kéziratára /továbbiakban: MTAK kéziratár/.
- [43] Vajda Pál: Hat évtized a fizikai kutatások szolgálatában. Fizikai Szemle. 1931.
- [44] Z. Bay: Elektronenvervielfacher als Elektronenzähler. Zeitschr. f. Phys. 1941.
- [45] Z. Bay, V. P. Henry, F. Mc Lernon: Simultaneity in the Compton Effect. Phys. Rev. 97. 1710. 1955.
- [46] J. Dombi: Fluoreszenzuntersuchungen im Szegeder Institut für Experimentalphysik. Acta Physica et Chemica 1971.
- [47] Ketskeméty, I., Gargya, L., Salkovits, E.: Acta Phys. et Chem. Szeged. 3, 16, 1957.
- [48] Ketskeméty István: Vizsgálatok az aluminium-morin lumineszcenciájáról. Kandidátusi értekezés 1954. MTAK Kéziratár.
- [49] Budó Ágoston: Vizsgálatok a molekuláris lumineszcencia köréből. Magyar Fizikai Folyóirat 1961.

- [50] Ketskeméty István: Az oldatok fluoreszcenciájának fizikai alapjai. Akadémiai doktori értekezés 1963. MTAK Kézirattár.
- [51] Szalay László: Oldatok fluoreszcenciájának polárosságáról. METESZ évkönyv 1964.
- [52] Szalay László: Vizsgálatok az oldatok fluoreszcenciájának polarizációjáról. Akadémiai doktori értekezés. MTAK. Kézirattár 1964.
- [53] Dombi József: Lumineszkáló keveréköldatokban lejátszódó energiaátadási folyamatokról. Kandidátusi értekezés. 1967. MTAK Kézirattár.
- [54] Horvai Rezső: Vizsgálatok a lumineszkáló oldatok hatásfokával kapcsolatosan, különös tekintettel a hatásfoknak a gerjesztő fény hullámhosszától való függésére. Kandidátusi értekezés 1967. MTAK Kézirattár.
- [55] I. Ketskeméty, É. Farkas: Neuere Überlegungen bezüglich der oberen Schranke der Fluoreszenzausbeute. Acta Phys. et Chemica. 1970. Szeged.
- [56] Faredin Imre, Sárkány Béla: Vérplazma és szövetek adrenalin tartalmának fluorimetriás meghatározásáról. Kísérletes Orvostudomány. 1958.
- [57] Faredin Imre, Sárkány Béla: Az adrenalin és noradrenalin egymás melletti fluorimetriás meghatározásáról. Kísérletes Orvostudomány. 1959.
- [58] Faredin Imre, Sárkány Béla: Szövetek adrenalin és noradrenalin tartalmának fluorimetriás meghatározásáról. Kísérletes Orvostudomány. 1959.
- [59] Pogány Béla: A Magyar Tudományos Akadémia hatása a fizikai tudományok fejlődésére az utolsó száz év alatt. Akadémiai Értesítő 1926.
- [60] J. E. Caffyn and F. Goodfellow, Nature, 176. 4483. 1955.

Felhasznált egyéb irodalom jegyzéke

- 1./ Barnóthyne Forró Magda: Tangl Károly a pedagógus. Fizikai Szemle 1968.
- 2./ Bay Zoltán: Szegedi kutatómunkájára vonatkozó személyes levélbeli közlései és információi.
- 3./ Budó Ágoston: Kisérleti Fizika I. Tankönyvkiadó 1962.
- 4./ Budó Ágoston: Kisérleti Fizika II-III. Tankönyvkiadó 1977.
- 5./ Charles Kittel: Bevezetés a szilárdtest fizikába. Műsz. Könyvkiadó 1966.
- 6./ Donald G. Fink. - Alexander Mc.Kenzie: Elektronikai Kézikönyv I-II. Műsz.Könyvkiadó 1981.
- 7./ Gyulai Zoltán 70 éves. Magyar Fizikai Folyóirat 489.o. 1957.
- 8./ Hajduska István: Budó Ágoston. Fizikai Szemle 1969.
- 9./ Hajduska István: Gyulai Zoltán. Fizikai Szemle 1968.
- 10./Malicskó László, Morlin Zoltán: Nyomás és hő hatására keletkező szincentrumok NaCl-ben. Magyar Fizikai Folyóirat 1962.
- 11./Novobátszky Károly: Hetvenöt esztendő. Fizikai Szemle 1966.
- 12./E.V.Spolszkij: Atomfizika. Akadémiai Kiadó 1958.
- 13./Szalay Sándor: Hevesy György. /1885-1966/. Fizikai Szemle 1967.
- 14./Zempléni Jolán: Az Eötvös Társulat története. /1891-1966/. Fizikai Szemle 1966.

15./ Egyetemi Évkönyvek az 1935-1943 évekből. Szeged. Egyetemi gyűjtemény.

16./ Ténrendek az 1922-1942 -es évekből. Szeged. Egyetemi gyűjtemény.