

fizikai szemle

KESZTHELYI LAJOS

2023/3

magreakciók
Mössbauer-effektus
biofizika
protonpumpa

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

A Matematikai és Természettudományi Értesítőt az Akadémia 1882-ben indította
A Matematikai és Fizikai Lapokat Eötvös Loránd 1891-ben alapította

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat havonta megjelenő folyóirata.

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

Megbízott főszerkesztő:

Iglói Ferenc

Szerkesztőbizottság:

Asbóth János, Biró László Péter, Czitrovszky Aladár, Gyürky György, Horváth Dezső, Horváth Gábor, Kiss Ádám, Kopasz Katalin, Neda Zoltán, Ormos Pál, Pálfalvi László, Rábóczki Bence, Simon Ferenc, Simon Péter, Sükösd Csaba, Szabados László, Szabó Gábor, Takács Gábor, Trócsányi Zoltán, Ujvári Sándor

Műszaki szerkesztő:

Kármán Tamás

A folyóirat e-mailcíme:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

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

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>



A címlapon:

Keszthelyi Lajos (1927–2022) 2011-ben, a Szegedi Biológiai Kutatóközpont megalakításának 40. évfordulóján.

TARTALOM

- Sólyom Jenő:** Keszthelyi Lajos (1927–2022) 73
A huszadik század egyik meghatározó magyar kísérleti fizikusára emlékező szám bevezetője
- Ormos Pál:** Keszthelyi Lajos élete 74
Tudós, aki kétszer jutott fel a csúcsra – a temetésen elhangzott búcsúbeszéd szerkesztett változata
- Barna B. Péter:** Elmaradt beszélgetés Keszthelyi Lajossal 77
Az egykori évfolyamtárs és kolléga rendbagyó visszaemlékezése egy elképzelt beszélgetés keretében
- Bagyinka Csaba, Nagy Dénes Lajos, Vincze Imre:** Keszthelyi Lajos szerepe a Mössbauer-spektroszkópiában 85
A Nobel-díjat nyert módszer első hazai demonstrálása és úttörő alkalmazásai
- Szőkefalvi-Nagy Zoltán:** „Ott fenn a hegyen” 91
– emlékezés Keszthelyi Lajosra
Magfizikai kutatások a Központi Fizikai Kutatóintézet gyorsítóinak felhasználásával
- Ormos Pál:** Keszthelyi Lajos ismerkedése a bakteriorodopszinnal 95
A Szegedi Biológiai Kutatóközpontban végzett első biofizikai kísérletek
- Dér András:** Keszthelyi Lajos, a karizmatikus vezető és tanítómester 101
Tudományos élet és biofizikai vizsgálatok a Szegedi Biológiai Kutatóközpontban

KÖNYVESPOLC

- Sólyom Jenő:** Fizika Magyarországon 1945–1959 (Patkós András) 107

REFLEKTORFÉNYBEN

- Patkós András:** Sólyom Jenő 108
Beszélgetés a Keszthelyi Lajos által inspirált, fentebb ismertetett könyv szerzőjével

J. Sólyom: Lajos Keszthelyi (1927–2022)

P. Ormos: The life of Lajos Keszthelyi

B. P. Barna: Missed conversation with Lajos Keszthelyi

Cs. Bagyinka, D. L. Nagy, I. Vincze: The role of Lajos Keszthelyi in Mössbauer spectroscopy

Z. Szőkefalvi-Nagy: “Up there on the hill” – memory of Lajos Keszthelyi

P. Ormos: Lajos Keszthelyi’s acquaintance with bacteriorhodopsin

A. Dér: Lajos Keszthelyi, the charismatic leader and teacher

BOOKS

Jenő Sólyom: Physics in Hungary 1945–1959 (A. Patkós)

IN THE SPOTLIGHT

A. Patkós: Jenő Sólyom

Fizikai Szemle
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését támogatják:



EMBERI ERŐFORRÁSOK
MINISZTERIUMA



Nemzeti Kulturális Alap



KESZTHELYI LAJOS (1927–2022)

Keszthelyi Lajos 2022. december 9-én bekövetkezett halálával nemcsak a magyar fizikusok doyenje távozott el, hanem egyben az egyik legkiemelkedőbb magyar kísérleti fizikus, akinek tudományos munkássága hét évtizedet ölelt át. Első cikke a *Fizikai Szemlében* jelent meg 1951-ben a Cserenkov-sugárzás ismertetéséről, az utolsó a *Bioelectrochemistry* folyóiratban 2022-ben a biológiai membránok nemlineáris elektromos válaszáról. Közben pedig eredeti ötleteivel maradandót alkotott és iskolát teremtett a fizika több területén, a szcintillációs detektorok fejlesztésében, a magfizikai reakciók vizsgálatában, a magfizika módszereinek más területeken, például a kondenzált anyagok tulajdonságainak vizsgálatára történő alkalmazásában, majd a biofizikában.

A *Fizikai Szemle* ezen száma az ő emléke előtt tiszteleg egykori tanítványainak, későbbi munkatársainak írásaival, illetve egy különleges, elképzelt beszélgetéssel, amelyben Barna B. Péter, volt évfolyamtársa és végzésük utáni első néhány évben kollégája emlékezik vissza az együtt töltött évekre. Ebből, valamint Ormos Pál és Szőkefalvi-Nagy Zoltán írásából Keszthelyi Lajos életének legfontosabb eseményei is kirajzolódnak.

Annak az 1946-ban indult matematika–fizika szakos tanárjelölti évfolyamnak volt a tagja, amely a szokásos öt év helyett négy év után kapta meg diplomáját, annyira szükség volt a frissen végzettek-re, és amelynek legjobbjait már egyetemista korukban kiválasztották, hogy később az egyetemen, illetve az akkor még csak tervezett KFKI-ban oktasanak és kutassanak. Ennek az évfolyamnak volt Barna B. Péter és Keszthelyi Lajos mellett tagja többek között Groma Géza, Nagy Károly, Szabó János és Voszka Rudolf. Keszthelyi Lajosra elsősorban kutatóként, intézetvezetőként emlékezünk, de szívesen tanított is, amíg az 1956 utáni megtorlások egyik lépéseként meg nem szüntették a tanszéket, ahol másodállású tanársegéd volt.

Korai kutatói éveiben két személynek volt jelentős hatása pályája alakulására. Faragó Pétert az Eötvös-kollégium tanáraként ismerte meg, ő volt témavezetője aspirantúrája idején, az *Atomok és atomi részecskék* című könyve azon előadások anyagából fejlődött ki, amelyeket Faragó külföldre távozása után ő folytatott. A szcintillációs számlálók készítése volt az iskola, ahol megtanulta a kísérleti berendezések építésének titkait. A munkatársak visszaemlékezéséből jól látjuk, mennyire fontosak voltak számára pályája során a saját készítésű kísérleti eszközök. A másik személy pedig Simonyi Károly volt, akinek révén kezdett magfizikával foglalkozni. Súlyos csapásként élte meg, amikor 1957

végén olyan helyzetet teremtettek a KFKI-ban, hogy Simonyi kénytelen volt eltávozni. Keszthelyi mellette való nyilvános kiállítását rossz szemmel nézték, de közvetlen politikai retorzió nem érte, mivel addigra ő már az intézet egyik nagy tekintélyű kutatójává érett. Hiszen már 1957-ben megjelent a *Nuclear Physicsben* a Szőkefalvi-Nagy Zoltán által is említett, *Erő Jánossal* közös, de Keszthelyi ötletén alapuló cikke, amely elsőként számolt be részecskegyorsítóval végzett magyar magfizikai kísérletről nemzetközi folyóiratban.

A jellegzetesen magfizikai munkák után érdeklődése hamarosan a magfizikai módszerek más területekre való alkalmazása felé fordult. Ez legmarkánsabban a Mössbauer-jelenséggel kapcsolatos vizsgálatokban érhető tetten. Jellemző rá, hogy a Mössbauer-effektus 1957-ben történt felfedezése, 1958-as publikálása után, 1961-ben nemcsak ismertette azt és annak alkalmazásait a *Magyar Fizikai Folyóiratban*, hanem 1962-ben már az első, *Demeter Istvánnal* és *Dézi Istvánnal* közös saját mérési eredményei is megjelentek a *KFKI Közleményeiben*. *Bagyinka Csaba*, *Nagy Dénes Lajos* és *Vincze Imre* cikke részletesen ismerteti ennek történetét, valamint Keszthelyi Lajos – munkatársaival együtt elért – későbbi eredményeit.

A magfizikához köthető az az ötlete, hogy a baljobb szimmetria biológiai anyagokban megfigyelt sérülése (homokiralitás) a paritásviolációval lehet kapcsolatban. Bár az ötlet végül nem igazolódott be, érdeklődése teljesen új irányba fordult, miután előbb részmunkaidőben, majd főállásban a Szegedi Biológiai Központba került. A biológiai membránokon keresztüli energiatranszport, illetve töltéstranszport vizsgálata lett a kedvenc témája. Ezzel kapcsolatos munkásságát, eredményeit a *Szemle* mostani számában két cikk, Ormos Pálé és *Dér Andrásé* mutatja be.

Élete utolsó két évtizedében Keszthelyi Lajost nagyon foglalkoztatta a múlt emlékeinek megőrzése. Több cikket közölt egykori mestereiről, Faragó Péterről és különösen Simonyi Károlyról. Ennek jegyében javasolta, hogy gyűjtsük össze a magyar fizika 1945 utáni újraindulásának még fellelhető emlékeit. Kezdeményezésének gyümölcse lett, ha nem is egészen az eredeti elképzelés szerint, az a könyv, amelyről ebben a számban olvasható a könyvismertetés. A szerző nagy sajnálatára Lajos a könyvet már nem vehette kézbe. A kézirat nyomdában volt, amikor a halálhír érkezett. Így utólag is legyen ez a könyv és a *Fizikai Szemle* ezen száma az ő emlékének szentelve.

Sólyom Jenő

Keszthelyi Lajos 1927. február 15-én született Kaposváron. Szabó édesapja megfelelő életkörülményeket tudott biztosítani két fiúgyermek neveléséhez, édesanyjának a háztartás és a gyerekek gondozása volt a feladata. Békés kisvárosi gyermekkorra volt. Családi környezetét a magas fokú természetes intelligencia jellemezte, szülei folyamatosan, életének jóval későbbi szakaszában is bölcs tanácsokkal segítették fontos döntéseiben. Élete az első világháborút követő turbulens események által meghatározottan zajlott, a hátralevő évszázad valamennyi fontos eseménye markánsan megjelent sorsában.

Kaposvári gimnáziumi éveinek nagyobbik része a két világháború közötti prosperitás jegyében telt, jól érezte magát abban a világban, nagyon szerette például a cserkészetet – szívesen emlegette Mókus Őrs-béli kalandjait. A fizika iránti érdeklődése is ekkoriban ébredt, olvasmányai eredményeképpen az atomfizika vált élete céljává. Az idilli tervezetést keresztülhúzta a második világháború. Jóval idősebb bátyja katonaként a frontra került, ott eltűnt, soha többé nem hallottak róla, hiánya a családot soha nem gyógyuló sebként kínoztta. A család további tagjai: édesapja katonaként, édesanyja és ő, Kaposváron és környékén vészték át az eseményeket. A megszállás során orosz tisztek költöztek házukba, így bizonyos védetség alatt a további borzalmak megkíméltek őket.

Érettségije egybeesett a háború végével, ekkor álmainak megfelelően beiratkozott a Pázmány Péter Tudományegyetem matematika–fizika tanári szakára, és egyúttal felvételre jelentkezett a nagy tradíciójú Eötvös Kollégiumba is. E Kollégium a legkiválóbb diákoknak nyújtott nemcsak szállást, hanem az egyetemnél mélyebb, komolyabb oktatást is. Ráadásul, mivel a Kollégiumot valamennyi szakon tanuló diákok lakták, a széles műveltség automatikusan ragadt az ott lakókra. A hely színvonalát mi sem jellemzi jobban, mint hogy igazgatója az oktatási miniszter *Keresztury Dezső* volt.

E megemlékezés a Keszthelyi Lajos temetésén elhangzott búcsúbeszéd szerkesztett változata.



Ormos Pál 1975-ben végzett fizikusként a szegedi József Attila Tudományegyetemen. Biofizikus kutató, az MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpont Biofizikai Intézetének kutatóprofesszora. 2010 és 2017 között a kutatóközpont főigazgatója volt. 1998-ban választották az MTA levelező tagjává, 2004 óta az MTA rendes tagja. Kutatási területe a fehérjék szerkezet-működés kapcsolata, a biológiai energiaátalakítás, illetve az optikai manipuláció fejlesztése és biológiai alkalmazása. Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat elnöke.



Keszthelyi Lajos feleségével, Lándori Sárával 2003-ban.

Az egyetemen és a kollégiumban kiváló oktatást kapott, nagy intenzitással habzsolta az új ismereteket. Ráadásul, ekkoriban kezdett a politikai környezet nyomasztóvá válni, ez elől is a tanulás jelentette a menedéket. A kor legkiválóbb fizikusai, matematikusai oktatták őket: *Turán Pál*, *Hajós György*, *Pócza Jenő*, *Bay Zoltán*, *Fejér Lipót*, *Riesz Frigyes*. Kollégiumi fizikatanára *Faragó Péter* volt, ő később is fontos szerepet töltött be életében. Nagyon jó oktatást kapott. Azt is nagyra értékelte, hogy a képzés lényeges eleme volt a műhelygyakorlat. Itt tanult meg kísérleti eszközöket készíteni – e tudás kulcsfontosságúnak bizonyult későbbi kísérleti fizikusi pályáján: egyéni tudományos ötleteit jellemzően úgy valósította meg, hogy a szükséges berendezéseket is maga készítette el.

Híres kollégista társai például *Vekerdy József*, *Brusznai Árpád*, *Kardos Pál*, *Garay András* voltak.

Az ország kommunista hatalomátvétele az Eötvös Kollégiumot sem kímélte. Néhány menetben kizárták az ideológiailag nem megfelelő diákokat. Keszthelyi Lajos ugyan soha nem foglalkozott intenzíven a politikával, karakán modora, nem titkolt értékrendje, barátai melletti kiállása azt eredményezték, hogy már az első kollégiumi tisztogatás áldozatául esett, kizárták. Kiemelendő, hogy ekkor a vele együtt kizárt bölcsész társával, *Brusznai Árpáddal* költözött a Szent Imre kollégiumba, ahol fél évig szobatársak voltak. *Brusznai Árpád* 1956-ban Veszprémben a forradalmi tanács elnökeként a békés megoldásért küzdött, óvta a fiatalokat az erőszakos cselekedetektől, sőt, több AVH-s életét is megmentette. Ennek ellenére – vagy mert a jóság megbocsáthatatlan a brutális hatalomnak, még ingerli is – a híres per után, 1958-ban kivégezték.

1950-ben végezte el az egyetemet. Végzés után a Pázmány Péter Tudományegyetem (1950. szeptember 15-e óta Eötvös Loránd Tudományegyetem) Fizikai Intézetében kapott munkát. Első feladata a nem sokkal korábban felfedezett szcintillációs számláló hazai megépítése, valódi világszínvonalú feladat volt.



A protonokat gyorsító K-800-as kaszkádgenerátor targetje mellett Erő Jánossal (balról) a KFKI-ban.

1951-ben indult a szovjet mintájú aspirantúra program: három év ösztöndíj, tudományos munka, amely disszertációban végződik és kandidátusi címmel, valamint a címért kapott jelentős fizetéskiegészítéssel jár. Kivételes tehetsége köztudott lehetett, mert rossz politikai múltja ellenére beválogatták az aspiránsok kiválasztott csoportjába. Először *Jánossy Lajos*, majd *Faragó Péter* lett a témavezetője.

Ebben az évben feleségül vette *Lándori Sára* fizikus évfolyamtársát. Szeretettel éltek együtt Sára 2011-ben bekövetkezett elhunytáig. A házaseletet társbérletben kezdték, és bár sok kellemetlenségük volt, a magánéleti és szakmai sikerek közepette boldogan teltek napjaik. Intenzív társasági életet is éltek hasonló korú és érdeklődésű fizikustársaikkal (például *Groma Géza*, *Nagy Judit*, *Bitskei Margit*, *Marx György*, *Erő János*, *Gécs Mici*, *Nagy Károly*, *Szabó János*).

1954-ben elnyerte a fizikai tudomány kandidátusa címet. Bár gyerekkori álmai szerint a Központi Fizikai Kutatóintézet (KFKI) Atomfizikai Osztályába szeretett volna kerülni, a párt a vegyiparba irányította. Szerencséjére azonban ott nem volt szükség speciális szakértelmére, így végül mégis sikerült a KFKI-ba jutnia, ráadásul *Simonyi Károly* professzor kezei alá. Ezt a Paradicsomba jutásként élte meg. A KFKI-ban töltött évekről avatott ismertetést adnak ottani munkatársai, most azért ki kell emelni, hogy 1962-ben elnyerte a fizikai tudományok doktora címet is: ez 35 éves korban (egy kísérleti fizikus esetében) különlegesen nagy teljesítmény, rendkívül tehetséges és sikeres kutatót jellemmez.

Bár kutatói éveit folyamatos sikerek kísérték, az átpolitizált életű KFKI-ban egy idő után nem tudott feljebb jutni a ranglétrán. Az persze köztudott volt, hogy nagyon tehetséges, és nagyon széleskörű az érdeklődése – még biológiai irányultságú kutatásokat is kezdeményezett. Ezért aztán érdeklődéssel fogadta, amikor Marx György és *Ladik János* javaslatára *Straub*

F. Brunó, a meghatározó magyar biokémikus, aki akkoriban szervezte az MTA új biológiai kutatóközpontját Szegeden (ez egy KFKI nagyságrendű intézmény volt a biológia területére), felkérte az ottani Biofizikai Intézet vezetésére. Megtetszett az ötlet, és – először félállásban – igazgatóhelyettes lett Szegeden 1973-ban: tehát 46 évesen döntő változás állt be tudományos életében. Ténykedését azzal kezdte, hogy alaposan felmérte a lehetőségeket: mik az időszerű tudományos kérdések, és melyek azok, amelyeket Magyarországon is művelni lehet a rendelkezésre álló emberi és anyagi eszközökkel. Nagy gonddal megtervezett külföldi tanulmányúton megismerkedett a legfontosabb kutatókkal, kutatási területekkel – ez később nagy hasznára vált, jól megalapozta biofizikusi életét. Erre az időre esik egy jellegzetes további ismerkedése is: egy úton megismerkedett a nagyhatalmú szovjet biokémikussal, *Ovcsinnjikovval* (ő még az SZKP Központi Bizottságának is tagja volt). Tőle hallotta, hogy a nagy Szovjetunióban már ugyanolyan sok pénzt költenek a biológiára, mint a fizikára – beleértve a nagy fizikai eszközöket (gyorsítók, reaktorok) is. Ettől még Lajos előtt is nagyot nőtt a biológia becsülete.

Első kutatási témája a biológiai aszimmetria eredetének kiderítése lett: ez az irány Garay András, a Biofizikai Intézet akkori igazgatója által kezdeményezett, és egy fizikus számára is jó kihívást jelentő terület volt. A megválaszolandó kérdés az volt, van-e kapcsolat a biológiai aszimmetria és a gyenge kölcsönhatás paritásviolációja között. A kérdésre a válasz a *nem* lett, és a jelenségre végső magyarázat nem született, de a téma nemzetközi szakértőjévé vált, évekkel azután, hogy újabb témákon kezdett dolgozni, többször felkérték összefoglalók írására.

Új érdeklődése egy biológiai energiaátalakító fehérjemolekula, a bakteriorodopszin protonpumpa működésére irányult. E témában akkoriban a Biofizikai Intézetben is folytak vizsgálatok, világszerte nagyon intenzíven kutatott terület volt. Első, egyedül végzett munkájával rögtön érdekes új eredményeket ért el, sőt, új irányzatot is meghonosított. Megállapította, hogy a bakteriorodopszint tartalmazó membrándarabkák állandó elektromos dipólmomentummal rendelkeznek, ezek elektromos térben orientálhatók, valamint, hogy milyen az egyes molekuláris komponensek elhelyezkedése a membránban. A lehetőség, hogy már kis állandó elektromos térben a bíbor-membrán-fragmentumok, és ezáltal a bakteriorodopszin-molekulák gyakorlatilag tökéletes orientációját lehet elérni, óriási további lehetőségeket nyitott a protonpumpa vizsgálatára. Elektromos és optikai vizsgálatokkal a szerkezetre és a működésre vonatkozó kísérletek hosszú időre elfoglalták Keszthelyi Lajost és munkatársait. A következő munkákat már társszerzővel végezte: az elektromos térben orientált részecskéken sikerült jellemezni a protonpumpálás során lezajló töltésmozgás lépéseit, azokat hozzá tudták rendelni



Dudits Dénessel, Alföldi Lajossal és a 75. születésnapján köszöntött Straub F. Brunnóval 1989. január 4-én. Keszthelyi Lajos ezen nap délutánján vehette át Láng Istvántól, az MTA főtitkárától az SZBK főigazgatói kinevezését.

a fehérjemolekula mozgásához. Az első ilyen közlemény nagy sikert aratott, szerves folytatásként jó néhány további követte. A témán egyre több munkatárs kezdett dolgozni, Lajos növekvő munkacsoportjának jellegzetessége lett. Eredményeikkel beépültek a nemzetközi kutatói közösségbe, a rendszeres tematikus konferenciák nagyra értékelt tagjai lettek. Fontos kiemelni, hogy megbecsültségük egyik lényeges eleme volt egyéni látásmódjuk, kísérleti megközelítésük: ennek pedig egyik oka az volt, hogy maguk építették kísérleti eszközeiket, ezért olyan kísérleteket is végeztek, amelyek másoknak eszébe se jutottak. Ez is Lajos egyik intézetvezetési alapkoncepciójának a gyümölcse. 1975-ben a Biofizikai Intézet igazgatója lett, ezt a pozíciót 1994-ig töltötte be, közben négy éven át az Szegedi Biológiai Kutatóközpont (SZBK) főigazgatói teendőit is ellátta.

A tudós életpálya csúcsa a tagság a Magyar Tudományos Akadémián. Üstökösszerű karrierjére tekintve azt gondolnánk, fiatalon elérte ezt a stációt is. Sajnos, az átpolitizált kommunista élet az MTA-t sem kímélte, Lajos egyszerűen nem lehetett MTA-tag az intenzív kommunizmusban. Szerencsére, a nyomás enyhülésével elhárult az akadály: 1982-ben Keszthelyi Lajost az MTA tagjává választották. Ez a dátum akár az MTA rendszerváltásának is tekinthető: Lajossal együtt lett akadémikus *Kosáry Domokos*, aki 1956-ban börtönben volt, illetve *Szabad György*, ő 1990-ben a Parlament elnöke lett.

Ezt követően Keszthelyi Lajos már teljes elismertségekben részesült. Megkapta a megérdemelt kitüntetések, a fontosabbak: Bródy Imre-díj (1958), Akadémiai díj (1968), Eötvös Loránd-díj (1978), Széchenyi-díj (1993), Akadémiai Aranyérem (2007), A Magyar Érdemrend középkeresztje a csillaggal (2012).

Fontos tudományos közéleti tisztségeket is betöltött 1980 és 1985 között az Eötvös Loránd Fizikai Társulat alelnöke, 1985 és 1996 között a Magyar Biofizikai Társaság alelnöke, illetve elnöke, 1993 és 1995 között az MTA elnökségének tagja volt.

Keszthelyi Lajos életét a tudomány színterében teljesen kitöltötte. Nyugalomba vonulása után egészsége megkopott: látása megromlott, járása nehezzé vált – de szelleme egészen haláláig teljesen friss maradt. Az SZBK professor emeritusa volt, de egy idő után már nem tudott eljönni a szegedi intézetbe. Ennek ellenére, folyamatosan a tudományos problémák foglalkoztatták, tartotta a kapcsolatot munkatársaival, intenzíven dolgozott. Ennek ékes jelképe a tény, hogy 2022-ben, élete utolsó évében is megjelent egy kiváló közleménye, amelyben a bakteriorodopszin protonpumpa felületi kémiai reakcióit elemzi. A közleményt természetesen társszerzőkkel írta (a fő társszerző *Dér András*, egyik legkedvesebb munkatársa), de elkészültében meghatározó szerepe volt, és rangos folyóiratban jelent meg. E tény rendkívül ritka, egészen különleges a világ tudományában.

Keszthelyi Lajos elhunytával kivételes ember és tudós élete zárult le. Életműve az egyetemes tudományt gazdagítja. Akik dolgoztak vele, vagy akárcsak ismerték, azoknak örök élmény a kapcsolat a nagy egyéniséggel, és a későbbi generációk számára is példakép tiszteletet parancsoló, inspiráló személyisége.

Keszthelyi Lajos a *Fizikai Szemlében*

- A Cserenkov-sugárzás (Faragó Péterrel) – 1951/3/7
- Szcintillációs számláló antracénnel – 1952/93
- A 30 éves Compton-effektus – 1954/46
- Az elemek periódusos rendszere – 1955/40
- Magfizikai mérések a fizikus képzésben (Gécs Máriával) – 1956/68
- Atommag-nívók élettartamának mérése (Berkes Istvánnal) – 1960/262
- A szabad neutrínó kísérleti kimutatása – 1961/47
- Belső mágneses terek – 1968/1
- Anomális víz – 1970/193
- Mit tudhattunk meg a jégről magfizikai módszerekkel – 1970/243
- Levél – 1970/256
- Perturbált szögkorrelációk és szögeloszlások mérése – 1972/274
- Ünneprejtés? (Magfizika) – 1972/288
- Hozzászólás Pál Lénárd: Fizika és társadalom cikkéhez – 1975/121
- Fizika és biológia – 1975/238
- A napenergia hasznosítás problémái – 1976/281
- Marx György: Életrelő atomok – könyvismertetés – 1979/120
- Ernst Jenő, 1895–1981 (Tigyi Józseffel) – 1981/428
- Fizika és biológia. A biofizika, mint határtudomány (Tarján Imrével) – 1983/333
- A biomolekulák aszimmetriájának eredete – 1986/73
- A proton transzlokáció mechanizmusa bakteriorodopszinban – 1990/5
- Biofizika a Fizikai Szemlében – 1991/33
- Békésy György, a fizikus – 1999/367
- A biológiai homokiráltság (Szabóné Nagy Andreával) – 2000/73
- Simonyi Károly, 1916–2001 – 2001/322
- Gyurka és a biofizika – 2003/29
- Simonyi Károly... – 2003/46
- Faragó Péter – 2005/67
- Emlékezés a Mössbauer-effektus hazai alkalmazásának első éveire – 2006/254
- Jubileum – 50 éves az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Sugárvédelmi Szakcsoportja – 2012/271

ELMARADT BESZÉLGETÉS KESZTHELYI LAJOSSAL

Barna B. Péter
Energiatudományi Kutatóközpont

Lajos 2019 őszén felhívott telefonon és elmondta: javasolta az MTA Fizikai Tudományok Osztályának, hogy próbáljunk meg összegyűjteni írásokat, visszaemlékezéseket arról, 1945 után miként indult újra az egyetemi fizikaoktatás és kutatás. Tájékoztattott, hogy az osztály ezt elfogadta és *Sólyom Jenő*t kérte fel ennek koordinálására. Ezért Jenő majd keresni fog engem is, mint e munkálkodás egyik résztvevőjét. Jenővel és Lajossal a készülő anyag részleteiről, emlékeinkről, a megtalált adatokról sokszor beszéltünk. A COVID járvány miatt azonban csak telefonon. Sólyom Jenő azután egy nagyon alapos, irattári anyagokkal adatolt, sok vonatkozásban a történések összefüggéseit, indítékait is feltáró-valószínűsítő tudománytörténeti munkával [1] ajándékozott meg bennünket. Lajossal készültünk arra, hogy a járvány enyhülésével majd összefövünk és Jenő dolgozatának egyes fejezeteit részletesen is megbeszéljük. Elsőként azonban Sólyom Jenő és *Groma István A 70 éve végzett matematika-fizika szakos évfolyam(ok)* címmel írt dolgozatáról [2] beszélgettünk volna, hiszen ez érintett bennünket a legközvetlenebbül. Erre a beszélgetésre azonban sajnos már nem került sor.

Most, Keszthelyi Lajosra emlékezve, arra érzek késztetést, hogy az elmaradt, s így most már egy csak elképzelt beszélgetés keretében felidézzem pályája, pályánk indulásának kezdeti, meghatározó szakaszát. Azt a sok élményt jelentő, nagy lelkesedéssel, belülről fakadó tenni akarással, odaadással végzett munkálkodássorozatot, amelyet a háború borzalmainak átvészélése után, igen mostoha, nehéz körülmények között, a politikai és társadalmi-gazdasági rendszer átalakításának harcaival, értelmetlenségeivel terhelt időszakban vele együtt megéltünk. De amelyre mindig boldogan emlékeztünk. Az elképzelt beszélgetésben Lajos válaszaiként, megjegyzéseiként a tőle kapott önéletrajzának részeit használnom fel. Előfordul, hogy néhány részlet vagy mondat azonos, vagy hasonló megfogalmazásban már szerepel Lajos *Természet Világa* című folyóiratban megjelent dolgozatában is [3].



Barna B. Péter fizikus, az ELKH Energiatudományi Kutatóközpont professor emeritusa, az MTA Eötvös József-koszorúval kitüntetett doktora. Kutatási területe a vékonyrétegek, nanorendszerek vizsgálata, modellezése. Elnyerte az International Union for Vacuum Science, Technique and Applications (IUVSTA) Science-díját. A nemzetközi tudományos közélet aktív résztvevője. Közel 70 nemzetközi konferencia és iskola szervezésében vett részt, számosnak elnöke volt. Az IUVSTA tiszteletbeli elnöke.

Ilyesféle lehetett volna a beszélgetés, természetesen sokkal színesebb, eredetibb, de vitatkozóbb is. Megvitatóbb és elgondolkodtatóbb. Lajos mindig a pontosságra, egyértelműsége törekedett, arra, hogy világossá váljon, amiről beszélünk, amit mondunk.

Kezdjük a beszélgetést.

B.B.P. Bevallom, nagyon meghatódtam, amikor kezembe került Sólyom Jenő és Groma Pista *A 70 éve végzett matematika-fizika szakos évfolyam(ok)* címmel megjelent dolgozata [2]. Ezek közül azon évfolyam tagjai voltunk, amelyik négy tanulmányi év után kapott tanári oklevelet. Különösen is meghatott, hogy Jenőék felfigyeltek a – lényegében évfolyamunk tagjaiból kialakult – szűkebb társaságunkra, a még hallgató korunkban elkezdett munkánkra és életre szóló barátságunkra, kiemelve első eredményeinket is. Erről a társaságról, amelyik 1949-től 1959-ig *Pócza Jenő* és *Faragó Péter* közvetlen munkatársaként is dolgozott a Kísérleti Fizikai Intézetben és aktívan részt vett a fizikusképzés megindításában, kidolgozásában, így írnak: „...első feladatuk egy repülőgép roncsainak eltávolítása volt a laborból... Szinte semmi nem állt rendelkezésükre. Ennek ellenére pár hónap alatt 12 új mérést állítottak össze a következő tanév laboratóriumi gyakorlatai számára. A labor megépítésében végzett megfeszített tempójú munka egy életre szóló barátságot alakított ki közöttük. Évtizedek múltán is összejöttek egy szalonnasütésre, vagy egy délutáni beszélgetésre. Pedig többüket komoly megpróbáltatások érték.” Ezek között a kísérletek között volt a Franck–Hertz-kísérlet, valamint az e/m mérése Bush és Hull-féle módszerekkel. Úgy emlékszem, Te a Hull-módszerrel végzett mérést készítettél el, én a Franck–Hertz-kísérletet. Számomra nagy élmény volt, amikor negyedéves hallgatóként Pócza tanár úrral és *Kovács József* üvegtechnikussal megbeszéltük az elektroncső és a kísérleti berendezés felépítését, elkészítésének módját, buktatóit, majd elkészíthettem a kísérleti elrendezést úgy, hogy az „hallgatóálló” is legyen. Azután az izgalom veled, meg a többiekkel együtt a tanév, a laboratóriumi gyakorlatok kezdése előtt néhány héttel, hogy vajon működik-e a kísérlet, a feszültség függvényében megjelennek-e az elektroncső áramában a Franck–Hertz-csúcsok. Mindnyájunk számára az alkotás, a tudományos és a kísérleti munka első, közös nagy élménye volt ezen laboratóriumi gyakorlatok elkészítése és mindennapos használatba vétele.

Groma Pistáék úgy gondolták, hogy az általuk felismert barátság e megfeszített tempójú munka során alakult ki. Pedig ez a munka és annak eredménye már meglévő barátságunkra épülhetett, ahogyan Te is

szoktad emlegetni. Emlékszel rá? Másodéves korunkban, az 1947–48-as tanévben érdekes módon találtunk egymásra. Ekkor történt, hogy *Békésy György* tanársegéde, *Cornides István* hirdetett meg egy, ma talán elnéző mosolyt kiváltó kötelező tárgyat: műhelygyakorlatok.

K.L. A kockareszelés tudományának elsajátításával kezdtük. A fizikusi szemlélet kialakulását segítette a műhelygyakorlat, azt, hogy egy fizikusnak ismernie kell az eszközeit, azokat – szükség esetén – magának is el kell tudnia készíteni, mert csak így lehet igazán újat alkotni. Az ismeretlen felé a járt utak nem vezetnek, új gondolatok, új elképzelések és ahhoz új eszközök szükségesek. Ez az idea származott át hozzánk, hozzám, aki ezt az ideát mindig, talán nem is tudatosan, követte.

B.B.P. A műhelygyakorlatnak azonban további szerepe is volt életünk, pályánk, barátságunk alakulásában. Cornides Pista ugyanis nagyon jó pedagógus is volt, kiemelkedő tanáregyeniség. Emlékszel? Minden gyakorlaton jelen volt. Figyelte, ki hogyan dolgozik, jól fogja-e, tartja-e a reszelőt, s hogyan áll a munkához. Szinte minden hallgatójával elbeszélgetett, és tiszteleten alapuló közvetlen kapcsolatot, szinte barátságot alakított ki már az első órák során. Emlékszel? Mi is úgy „jártunk”, hogy barátaiavá fogadott bennünket. Tulajdonképpen a műhelygyakorlat során, ebben a légkörben vált évfolyamunk is közösséggé, akik azután együtt éltük meg egyetemi életünk szinte minden történéseit. Együtt vacogtunk télikabátban vizsgák előtt ’46 és ’47 telén a fűtetlen, olajozott csomagolópapírral beragasztott ablakokkal ékeskedő folyosókon a vizsgákra várva, vagy ültünk télikabátban, nyaksállal, sapkában, kesztyűvel az ugyanilyen állapotú tantermekben a Múzeum-körúti épületben is. Itt történt meg, hogy Lipi bácsi, a neves matematikus *Fejér Lipót*, amikor télikabátban, sállal, kalapban ülve a katedrán, elmélyedve a Fourier-sorok gyönyörűségében, fejből diktálta az arra a napra rendelt egyenleteket, egyszer csak elnémult, meredten nézett a papírral beragasztott ablakokra, amikor egy elhaladó villamos éles csengetése teljesen elnyomta az egyébként is gyenge hangját, s azt mondta: „Hát tisztelt hallgatóim! Hiszen mi az utcán vagyunk!”

K.L. A tanulás mellett igazán kellemes, élénk társadalmi életet is éltünk. Baráti körünkhöz tartozott *Groma Géza*, *Nagy Judit*, *Bitskei Margit*, *Tóth Laja*, *Lándori Sára*, *Cornides István*, *Nébli Vendel*, *Bráda Ferenc*, *Marx György*, *Koczás Edit*, *Ziegler Mária*, *Náray Zsolt*, *Pásztóhy Évi*, *Ada-Winter Péter* stb. Nagy tettünk is akadt: szerveztünk egy Mikulás-estet másodéves korunkban. Zene, történet, ajándékozás szerepelt a műsorban, némi csipkelődéssel fűszerezve. *Riesz* professzor egy antennát kapott, mert szerinte a professzor sugározza az ismeretet antennaként, azzal nem foglalkozik, hogy a hallgatóság veszi-e, érti-e. Ezért kevesen hallgatták. *Novobátzky* professzornak



Keszthelyi Lajos (középpött) a Tátrában 1956 tavaszán Cornides Istvánnal és egy prágai fizikus kollégával. (A tulajdonos Cornides Istvánné engedélyével.)

angyal (*Pásztóhy Évi*) vitte a kőtáblára vésett Maxwell-egyenleteket mennydörgés közepette. A táblák Mózes tízparancsolat táblájára emlékeztettek. A táblák még mindig megvannak, legalábbis a Puskin utcában, ahonnan az egyetem a Lágymányosra költözött, még megvoltak. A társaság tagjaiból több házasság is kialakult. Például az enyém *Lándori Sára*val.

B.B.P. Elárulom, a „kőtáblákat” *Nagy Karcsival* (aki azután *Novobátzky*tól megörökölte) készítettük gipszből *Groma Gézáéknál*.

De a kockareszelés-gyakorlatoknak még további szerepe is volt barátságunk, életünk, pályánk alakulásában. *Cornides István* kirándulásai.

K.L. *Cornides*, aki állítólag nagy túratapasztalatokkal rendelkezett, egyszer olyan meredek le-föl útra, úttalan útra vitt bennünket, hogy alig tudtunk kikeveredni. Nagyon elfáradtunk. Szerinte ezt szándékosan szervezte így, hogy állóképességünket megvizsgálja. Szerintem akkor ő is eltévesztette az utat.

B.B.P. Mindkettő lehetséges. Azt hiszem az első túránkra gondolsz. November eleje lehetett, amikor *Cornides* egy keddi gyakorlaton meghirdette, hogy a hétvégére kirándulást szervez a Börzsönybe. Szombaton a 2 órakor induló vonattal utazunk *Diósjenőre*, mondta, alvás a Nagy-hideg-hegyi turistaszálláson vaságyban szalmazsákon. Mindenkit szívesen lát. Feltétel az esetleges viszontagságok elviselése. Ebből aztán ki is jutott. Csendes őszi eső esett végig, amiben a szedett-vedett, a háborúból megmaradt, vagy segélycsomagokból juttatott, nem éppen túrázásra készült ruhánk teljesen átázott, amikor a sáros-csúszós terepen, esetenként négykézláb mászva, csalánoktól összecsípett kezekkel végre feljutottunk a Nagy-Hideg-hegy csúcsára, a turistaházhoz. A tök sötétben néhányszor „elvesztettük a turistautat”, s ilyenkor csipkebokros terepeken is át kellett küzdeni magun-

kat. Mindezek után az álmából éjfélkor felzörgetett gondnok morcosan közölte: sajnos az összes vaságy foglalt. Szalmazsákokat tud adni, amiket feltehetünk az étterem asztalai tetejére. Azután feltöltötte a fűrészpontos dob-kályhát, hogy melegedjünk, ruháinkat száríthassuk. Ettől azután ázott kutyaszaggal lett teli az étterem. De reggel 6 órakor fel kell ám kelni, mondta szigorúan, hogy hét órától az asztalok már szabadok legyenek. Én is nagyon elesett voltam, s magamban fogadkoztam, én több kirándulásra biztosan nem megyek Cornides-szel. Reggel korán aztán minden megváltozott. Kimenve a turistaházból, csodás kép tárult elénk. Ragyogott a nap. A fák ágain, megmaradt levelein csillogó-villogó esőcseppek, a völgyeket, a Duna völgyét borító hatalmas fehér ködtengerből kiálló csúcsok látványa nagy közös élményünk lett, meg a hazafelé utazás, beszélgetés, nagy népdalozás a vonaton, ami még az előző nap keserveit is szép élménnyé varázsolta. Azután egyik túra követte a másikat.

K.L. Sokat jártunk kirándulni. Pilis, Börzsöny, Mátra, Bükk, tehát az ország legszebb részein. Több emlékezetes esemény megragadt a fejemben. A Börzsönyben történt. Egy kisebb patakon keltünk át. Tóth Laja, aki mindig udvarias akart lenni, a lányok számára egy nagyobb követ hozott és dobott a patakba. A felfröccsenő víz jól eláztatta a lányokat.

Láttunk olyan dombokat, ahonnét az egyik részről már kivágták a fákat, a maradék éles emelkedést mutatott. Ezt elneveztük Károlyházy-hegynek, arról a fiatalabb kollégáról, akinek a homloka felett élesen meredt felfelé a kefefrizura.

B.B.P. Időközben néhányan elmaradtak a kirándulásokról. Mi pedig egyre jobban megismertük egymást. Kiderült az is, hogy csaknem mindannyian egyházi iskolába jártunk és cserkészek voltunk.

Egy másik kirándulás, balról jobbra: Vermes Miklós, Keszthelyi Lajos és Marx György.



Úgy emlékszem, az egyetemre már az Eötvös Kollégium tagjaként iratkoztál be. Kollégiumi élményeidről, az ott ért hatásokról, találkozásaidról, tapasztalataidról sok mindent elmondtál visszaemlékezésedben [3]. Érdemes lenne azonban néhányat felidézni, újra megélni.

K.L. Megérkeztem a kollégiumba sok várakozással és sok félelemmel. A kollégiumi rend szerint egy „dögész” családban kaptam helyet. A családapá *Mikolás Miklós* negyedéves matematikus, a családanya (ugye furcsa, de így neveztük) *Herczeg Tibor*, aki végül csillagász lett, továbbá *Békési András*, szintén matematikus meg én alkottuk a családot. Nem panaszkodhatom, jól bántak velem, persze felsőbbrendűségüket a tanár urak éreztették a gólyával. Elegáns körülmények között éltünk. Két szoba közül az elsőben dolgozhattunk íróasztalunk mellett, a másikon aludtunk. Ez bizony nem tűnt diákszállásnak, inkább úri szállónak. Minden a tanulást segítette. Az egyetemre beiratkoztunk és az akkori szokások szerint a dékán kezét fogott minden új diákkal. Olyan hírek is jártak, hogy ilyenkor egy tízforintost kell a kezébe nyomni, persze ez csak a gólyák ijesztgetésére szolgált. Mindenesetre, a kézfogás komoly jelkép, amely az egyetemi polgár rangját jelentette.

B.B.P. Szerencsémre, hozzám a tízforintos hír nem jutott el, mert akkor bizony visszahőköltem volna.

K.L. Rajtam kívül még két dögész tartozott az évfolyamunkhoz. *Moravcsik Mihó*, az egyetem latin–görög professzorának a fia, és *Papp Géza*, aki szintén olyan alulról jött, mint én. Mihóval jó kapcsolatunk alakult ki, igazán sokat köszönhetek a nagyon művelt, a családban jól felkészített, tehetséges óriásnak, 2 méter és 8 mm magas volt. Mihó bevezetett a hangversenyek, az opera világába. Vasárnap hajnalonként sort álltunk az Opera pénztáránál jegyekért. Boldogságot adott a vidéki gyerekeknek a kultúra habzsolása, jó barátok szava, a furcsa kollégista figurák figyelése.

Néhány nevezetességet megemlítek.

Moravcsik Mihály (Mihó) 1948-ban elhagyta az országot, tanulmányait Amerikában fejezte be. Az elméleti magfizika professzora lett Eugene, Oregonban. Tudományosan az amerikai fizikai életben a Nobel-díjasok alatti igen magas szintet érte el. Hirtelen, korán halt meg Olaszországban.

Garay András biológus, erős egyéniség. Vele összefonódott az életem. Első biofizikus lépéseimet vele együtt tettem meg. 1975-ben disszidált, akkor örökölt meg tőle a Szegedi Biofizikai Intézet igazgatóságát.

Izsák Imre egy évvel utánam jött, gólyaként egy családban lakott velem. Világhírré tett szert a műholdak pályaszámításával kapcsolatban. Párizsban halt meg 36 éves korában. Pletykászinten az is terjed, hogy esetleg valamelyik titkosszolgálat ölte meg. A Hold túlsó oldalán egy kráter örökíti meg nevét és munkásságát.

A három irodalmár, *Fodor András*, *Lator László* és

Domokos Mátyás. Ők meghatározó szereplői lettek a század második fele magyar irodalmának. Fodor András alattam járt a kaposvári gimnáziumban. A másik kettő makói. Fodor András óriási érdeme naplója, amelyet 1944–45-től csaknem minden nap írt. Ebből nagyon fontos, a kort ábrázoló köteteket állított össze. Az irodalmi élet tükre ez. A kollégium életéről kigyűjtött és publikált részek nem regényes formában, de hűen adják vissza a kollégium végnapjait.

B.B.P. A Kollégiumnak saját tanrendje is volt és saját tanárai.

K.L. A fizikát Faragó Péter oktatta. Ő az Egyesült Izzóban elektronsokszorozókkal foglalkozott, és általában az elektronika érdekelt. Nálunk az integráló és differenciáló elektromos körökkel kezdte. Nekem erről teljesen hiányoztak az ismereteim, nehezen fért a fejembe a dolog. Nehéz heteket éltem át. Kétségekkel tettem el, hogy jól választottam-e pályát. Az a vonzódás, amelyet olvasmányaim az atomfizikáról hoztak, kevésnek bizonyult. A felsős kollégisták csak növelték bizonytalanságomat. Kinevettek, amikor azt mondtam, hogy atomfizikus szeretnék lenni. Először november elején utaztam haza. Kétségeim akkorra már annyira felerősödtek, hogy el akartam hagyni a pályát. Szüleimnek elmondtam, hogy inkább orvos szeretnék lenni és nem atomfizikus. Ezt a tanulmányt abbahagyom. Ők bölcsen, szeretettel párosulva azt tanácsolták, hogy maradjak. Mennyi bölcsesség van az egyszerű emberekben, ma már értem. Jót tanácsoltak, a biztos útra biztattak, amit már megkezdtem, és amit be is tudok fejezni majd. Nekik lett igazuk.

Lassan jöttek már haza a hadifoglyok. Mindennap vártuk bátyám megérkezését. Nem jött és még hírt sem kaptunk felőle. Máig sem tudjuk, mi történt vele, hogy végződött az élete. Azóta vagyok egyke, nagyon hiányzik a rokonság, a testvér és annak gyermekei.

A következő évben gyötrelmes politikai változások történtek. Édesapámért kellett izgulnom, aki szabósegéd létére régi, hűséges szocdemként veszélybe került. A szocdem párt és a kommunista párt egyesülésekor nemet mondott, még gyalázó cikk is jelent meg róla a kaposvári újságban. Ennél több nem történt, munkája mindig akadt bőven. Az én egyetemi tanulmányaimat mindvégig tudta segíteni.

A kollégiumban is megkezdődött az előkészület a fordulat évére, 1948-ra. Ott is megalakult a kommunista szervezet. Szétvált a társaság, teljesen nyíltan kezdtek uralkodni a kommunisták. Tisztogatást akartak a házban. Hamarosán elkészült egy lista azokról, akiket el kellett távolítani a kollégiumból. A tízek egyik tagjaként engem is kiszemeltek. Gólyácska, sajnos, meg kell válnunk tőled, mondta kedvesen mosolyogva *Majdik*. A tízeket *Tolnai Gábor* behívatta



Garay Andrással, a Biofizikai Intézet 1975-ig igazgatójával 2003 szeptemberében.

a minisztériumba, és ott – legalábbis nekem – azt mondta, hogy problémák merültek fel a viselkedéssel kapcsolatban, azt ajánlja, hogy a békesség kedvéért mondjak le a tagságról. Én ezt megtettem és így békésen távozhattam az év végén a kollégiumból. Később kiderült, hogy a legszerencsésebb utat választottam, a legszerencsésebb időben. Egy évvel később már népítélettel, megalázva, durva ordítások között rúgták ki a következő társaságot.

B.B.P. 1948-ban aztán nagy változás történt az egyetemi fizikaoktatásban is. Ez határozta meg a mi életünk, pályánk alakulását is.

K.L. Az egyetem sem maradt ki a politikai indíttatású változásokból. Professzorok mentek, professzorok jöttek. A fizika területén például *Rybár* ment. A később Nobel-díjat nyert Békésy Svédországba, majd Amerikába emigrált. Tanársegéde, Cornides István vitte az ügyeket tovább. '48-ban két új, mondjuk, hogy kutató, jött az egyetemre, nem professzorként, az Egyesült Izzó Kutató Laboratóriumából, amely *Bay Zoltán* távozása után szétszéledt. Pócza Jenő a *Rybár*-, Faragó Péter a Békésy-tanszéket vette át. Mai ismereteimmel meglepő a váltás, mert mindkettő kiváló emberként, oktatóként, kutatóként működött. A párhűség még mutatóban sem látszott náluk. Miként választották őket, ma is rejtély számomra. Mindenesetre az egyetem nyert velük.

B.B.P. Én is többször elgondolkodtam, hogy miért választották őket. Ennek talán két oka lehetett. *Bay Zoltán Az élet erősebb* című könyvéből [4] tudhatjuk, hogy az új rendszer tudománypolitikájának egyik meghatározó személyisége akkoriban *Tarján Rezső*, a Tungsram korábbi mérnöke volt. Tarján közvetlenül megtapasztalhatta azt a lendületes, nagy lelkesedéssel, tenni akarással végzett munkát, amely 1945 tavaszától a Tungsramban is folyt, s amelynek Pócza és Faragó szintén részese volt. Elképzelhető, hogy Tarjánban ekkor nem a politikai, hanem az a szempont győzött, hogy megtalálják azokat, akik alkalmasak és képesek, meg

elkötelezettek is lehetnek a tervbe vett fizikusképzés megvalósítására. És ami szintén lényeges lehetett, láthatta, hogy mindketten nagy lelkesedéssel és odaadással vettek részt a gyár újjáépítésében. Ezért eshetett választásuk a tanárszakot végzett, ipari és egyetemi oktatói tapasztalattal egyaránt rendelkező Pócza Jenőre és Faragó Péterre. Ezt az akkori nagy lelkesedést, tenni akarással végzett munkát Bay Zoltán hitelesen örökítette meg [4]. Érdemes magunk számára is felidézni: „Magyarországon ezekben az időkben elfogta az embereket a tett vágya. A lelkesedés, hogy valami szebbet, jobbat építsünk magunknak a jövőre. ... Épült a magyar vasút, épült a főváros, épültek a magyar gyárak. Az emberek éhezve, fázva mentek rohammunkára. Újra indult a szellemi élet. *Szent-Györgyi Albert* megszervezte a Természettudományi Akadémiát. A fűtetlen laboratóriumokban lelkes tudományos munka indult. Az én munkatársaim éjjel-nappali munkában váltották egymást, dolgoztunk a Hold-kísérleten. A Tungsram-gyár rohamosan épült. A gépgyárunk, ugyancsak éjjel-nappali munkával, egymás után építette meg azoknak a gépeknek a mását, amelyeket az oroszok elvittek. Az egyes osztályok vezetői boldogan jelentették, amikor a produkció emelkedett. A húsz százalék, a harmincöt százalék, mind örömet jelentett.”

De ne sajnáljuk az időt és idézzük fel Bay további, a helyzetet, lehetőségeket, az akkori teendőket felelősséggel elemző gondolatait is. „Nem kellett volna mást tenni, csak hagyni továbbmenni ezt a folyamatot. Ezt az élet maga hozta létre, az emberi vezetésnek nem lett volna más feladata, csak az, hogy ne akadályozza. Amikor ilyen szerencsés folyamatok vannak az életben, akkor az elmélet, a rendszer, a hatalom ne tegyen mást, mint hogy lássa be, hogy ő kicsiny az életnek ehhez a nagy csodájához képest, álljon félre és szemlélje áhítattal az élet felsőbbrendűségét.”

Szinte megborzongok, amikor ezeket olvasva újból felidéződik és tudatosodik bennem, hogy ez a tettvágy az országban akkor szinte általános volt, és ugyanezt éltem meg én is saját szűkebb környezetemmel, és – ha megvizsgálom magam – ez a lelkesedés, tettvágy, a vállalt feladatok minél teljesebb elvégzésére irányuló törekvés, az eredmények fölötti öröm és a Bay-féle gondolkodásmód sajátom is maradt. De kitűnt, hogy ez sajátja volt kiránduló társaságunk megmaradt tagjainak is, akik közül aztán számosan nyertek felvételt 1949 elején a Sólyom és Groma által leírt Intézeti Iskolába [2], majd a Kísérleti Fizikai Intézetbe nyertek felvételt és a Póczával és Faragóval 1959-ig együtt dolgozó társaságunknak lettek tagjai. Idézzük fel őket: Bitskei Margit, Bráda Ferenc, Groma Géza, Lándori Sára, Nagy Judit, Nébli Vendel és Tóth Lajos. Ezért lehetett mindig öröm és élmény számunkra a közös munka, és az együtt-dolgozás Pócza Jenővel meg Faragó Péterrel. De ez volt az életre szóló barátságunk szilárd alapja is, amire Sólyom Jenő és Groma Pista felfigyelt [2]. Ezért tudtunk mindig boldogan

emlékezni életünknek erre, a nem éppen nyugodt, békés körülmények között megélt időszakára. Baráti társaságunkhoz tudott kapcsolódni aztán 1950-ben a szintén égő lelkesedéssel és odaadással dolgozó *Gémesi József*, akit Pócza Jenő hívott meg a tanszékre.

De folytassuk a korábbi gondolatot. Pócza és Faragó egyetemre kerülésének másik oka az a reménység lehetett, hogy majd be tudják szervezni őket a Pártba is. Póczát azután, ahogyan annak idején hozzánk is eljutott a híre, igyekeztek is megnyerni párttagnak. Erre Pócza hagyatékában, az 1956-ban kiadott személyzeti anyag iratai között található utalás. Azt hiszem, ezt még nem ismered. *Freud Géza*, az Elméleti Fizikai Tanszék tanársegédje, aki a kari pártszervezet belső köréhez tartozhatott, *Dr. Pócza Jenő egy. int. tanár* címmel, 1951. május 1-jén kézírással készített egy jelentést [5]. Ezzel kezdődik: „Igen pozitív az állásfoglalása a szocializmus építésének konkrét feladataival szemben. Lelkesen, öntevékenyen vett részt a Fizikai Intézet építési munkáinak megtervezésében, annak támogatásában és ellenőrzésében. A Kis. Fiz. I. előadási anyagot teljesen átdolgozta és korszerűsítette, tudományos nivóra emelte.” Majd a három oldalas jelentés vége felé foglalkozik a tagjelölti kérdéssel. „A Párt vezető szerepét elfogadja, bár előfordult, hogy Pártunk helyi kérdésekben elfoglalt álláspontját nem értette meg. A munkás és paraszt fiatalok tanulmányait őszintén, meggyőződésből, lelkesedéssel segíti. Másrészt kispolgári sértődékenysége többször sérelmi politikára ragadtatta; itt az elvt.-ak hibát követtek el (b., esetben én is!), mert nem politizáltak Póczával szemben. Megítélésem szerint ez a sértődékenység lényegesen csökkent, és ha a Párt tagjelöltjeként belülről nézné a Párt politikáját, annak helyi körülményekre való alkalmazását nagyban elősegítené, meggyőződne, hogy a Párt hallgat az ő véleményére.” Majd a jelentés d) pontjában így ír: „A TTK pártszervezete Póczát jó munkája alapján fel akarta kérni, hogy lépjen be a Pártba. Pócza ezt visszautasította, mert az alapszervben dolgozó fizikus elvt.-ak iránti sértődöttsége erősebbnek bizonyult, mint a Párt országos politikája iránti rokonszenv.” Pócza megnyerése érdekében történhetett az is, hogy 1951-ben felterjesztették kitüntetésre [6], amit nem kapott meg. S mivel 1956-ig többszöri próbálkozás és pályázat kiírása után sem akadt Póczán kívül más, akit a fizikusképzés megszervezésére a TTK alkalmasnak talált, illetve aki vállalta volna, a Párt kénytelen volt eltűrni, hogy párton kívüliként az egyetemen maradjon. Így maradhattunk addig mi is „tűrt”-ként egyetemi alkalmazottak és folytathattuk nagy lelkesedéssel megkezdett munkánkat.

Bár Te 1951-ben Faragó Péter aspiránsa lettél a KFKI-ban, de helyileg a Puskin utcában dolgoztál, 1958-ig továbbra is részt vettél a fizikusképzésben először aspiránsként, majd mint a KFKI alkalmazottja, félállásban. Baráti társaságunkhoz változatlanul kötődöttél, hiszen feleséged, Lándori Sára továbbra is ve-

lünk dolgozott a Fizikai Intézetben.

K.L. Laborgyakorlatokat vezettem. Olyan év is akadt, amikor két gyakorlatot is vezettem, egyet a harmadéveseknek, egyet a negyedéveseknek.

B.B.P. De ragadjunk le egy pillanatra aspirántúránál.

K.L. Szovjet mintára megindították az aspiránsképzést. Egyetemet végzettek jelentkezhetek. Három év ösztöndíj, tudományos munka, amely disszertációban végződik és kandidátusi címmel, valamint a címért kapott fizeteskiegészítéssel jár. Csábító lehetőségek, de én nem jelentkeztem, mert úgy gondoltam, hogy kétes politikai múltam miatt zárt ajtókra találnék.

A vizsgabizottság a Puskin utcai új emelet egyik végén, Jánossy szobájában ülésezett, én a másik végén dolgoztam. 1951 februárjában történt. Úgy dél körül egy küldönc jött a Bizottságtól, hogy menjek át vizsgázni. Meglepődve, de átmentem. Ott kérdeztek egy s mást és mondták, hogy felvesznek és Jánossy aspiránsa leszek.

B.B.P. Jól érezted. Az ajtót két kollégánk valóban be akarta zárni előtted, akik a pártszervezet belső köréhez tartoztak. De a dolgok menete, meglepő módon, ahogyan elmondtad, más irányba fordult. Erre utal Freud Géza előbb említett jelentésének [5] c) pontja: „Pál és Ádám elvt.-ak kieszközölték, hogy Keszthelyit és Gromát bocsássák el az intézetből. Pócza ezt indokolatlannak és igazságtalannak látta; azóta Keszthelyi aspiráns és Groma tanársegéd, mindketten jól dolgoznak; ez Póczát látszik igazolni.”

K.L. Aspiránsi feladatnak Jánossy a μ -mezonok számlálását jelölte meg számomra. Cserenkov-sugárzásra alapozott számlálót kellett volna készíteni. Első lépésként egy körülbelül 25 cm átmérőjű üveggömböt kellett volna belülről beezüstöztetni, hogy a kevés Cserenkov-fotont, amelyet a mezonok keltenek, összegyűjtse egy multiplifier fotokatódjára. Semmiképpen sem sikerült az úgy, hiába erőlködtem. Biztosan ügyetlenségem mutatkozott meg ebben. (.....) Jánossy valószínűleg megunt a szerencsétlenkedésemet és elpasszolt Faragó Péterhez.

B.B.P. Az aspiránsi időszak alatt is sok mindent meg lehetett tapasztalni az újjáalakított egyetemi életből, s a kialakuló tudományos életből is, amelybe aztán szintén beléptünk.

K.L. Peregték a napok, folyt a munka. Amit apámtól tanultam, hogy mindig dolgozni kell, azt betartottam. Amit vállaltam, azt teljesíteni kell. Az aspiránsi idő három

évre korlátozódott: ezalatt le kellett vizsgázni szakmából, idegen nyelvből (természetesen oroszból) és ideológiából, ami a dialektikus materializmust, a Szovjetunió párttörténetét és a napi politikát jelentette. Hogy az utóbbiban megfelelő eredményt érjünk el, segítséget is kaptunk: talán havonta, de lehet, hogy gyakrabban is, marxista szemináriumokon kellett részt vennünk. (Ezek az összes, különböző szakterületeken dolgozó aspiráns együtt vett részt. B.B.P.) Rengeteget gyötrődtem a szemináriumokon, mert a vezető, bizonyos *Simonovitsné*, elvárta, hogy szerepeljünk, számoljunk be a kiadott olvasmányokról, kommentáljuk azokat, vitatkozzunk. Nekem a feladat nem ment. Feltűnt nagy hallgatásom, talán undorom is. Tulajdonképpen megcsinálhattam volna álságosan, amire vártak, de egyszerűen nem ment a fejembe a sok blabla. Amivel az ember nem tud azonosulni, azt, úgy látszik, a feje is kitesztíja. Ha ma visszatekintek, akkori szemináriumi társaim közül nagyon sokan csináltak óriási pártkarriert. Többükről lassan kiderül az is, hogy a karriert nem igazán a teljesítményüknek, hanem helyezkedésüknek köszönhetik. Jó érzés számomra, hogy én mindenért megdolgoztam. Semmiféle helyezkedés nem vitt előbbre a pályámon.

Be kell számolnom az ideológiai vizsgáról, mert élenken él emlékeim között. Nyár eleji meleg napon jöttünk össze, már nem tudom hol. Orromon nagy lázkiütés, apró hólyagocskák halmaza díszelgett. Nagyon zavart, de ennél még jobban a vizsga, ami rám várt. Sokat tanultam, olvastam, de semmi sem maradt a fejemben a szörnyű ostobaságokból. Összejött a társaság, *Rényi Kató*, az egyik vizsgázó újságolta, hogy férje, *Rényi Alfréd* matematikus előző nap elolvasta az anyagot, felkészült a vizsgáztatásra. Borzadtam, nemcsak a vizsgától, de a lázkiütéstől is talán. Mi történhet velem, biztosan megbukom és akkor nem lehetek kandidátus, nem juthatok előbbre. Sorra kerültem, húztam egy té-

Ormos Pál és Szőkefalvi-Nagy Zoltán között 2011-ben, az SZBK megalakításának 40. évfordulóján.





Ritoók Zsigmonddal a Godot Irodalmi Esten 2013. március.

telt: Sztálin elvtárs békepolitikája. Csak annyira emlékeztem, hogy azt mondta, hogy a béke megmarad, ha a népek kezükbe veszik a béke ügyét. Kész, mit lehet erről még halandzsázní. Izzadtam, Rényi kérdezett, én feleltem, amit tudtam. Végül jóindulattal elbocsátott egy közepessel. Ennél többre nem is vágytam.

B.B.P. De részt kellett vennünk a *Fogarasi Béla* filozófus által szervezett előadás-sorozatokon is. Egy ilyen előadásról Bay Zoltán is megemlékezik említett kötetében [4]. Az előadás címe *Dialektikus materializmus az elméleti fizikában* volt. Bay ilyeneket ír róla: „Az előadást Fogarasi Béla (Kossuth-díjas egyetemi tanár, a Tudományos Akadémia tagja – B.B.P.) vezette be, a párt egyik fő ideológusa. Elmondta, hogy a dialektikus materializmus mindent átfogó tudomány. Ugyanúgy érvényes a fizikában, mint a biológiában vagy a szociológiában, a tudomány bármely területén. Ez az előadás része annak a sorozatnak, amellyel a kommunista párt azt mutatja meg, hogy a dialektikus materializmus minden tudomány alapja.” Érdemes újból elolvasni Bay Zoltán kötetét, ahol erről az előadásról további részleteket is leírt.

Eddig sokszor előhoztuk, hogy milyen nagy, mara-dandó élményt jelentett számunkra az 1949 és 1959 között végzett közös munka. Adósak vagyunk magunknak még azzal, hogy megnézzük, értékelték-e vajon munkánkat hivatalos helyeken is? Ez természetesen elsősorban a tanszék és Pócza Jenő munkásságának értékelése keretében jelenhet meg. Erre vonatkozóan Pócza Jenő hagyatékában vannak dokumentumok, de utalás található az ELTE Egyetemi Tanács jegyzőkönyveiben is. Kiválasztottam néhányat.

Novobáztzy Károly a Temészettudományi Karhoz 1952. április 8-án Pócza Jenő tanszékvezető egyetemi tanári kinevezésére benyújtott javaslatát [7] ezzel a záradékkal fejezte be: „Hivatottabb személy erre az állásra ma Magyarországon nincs.” Indoklásai között szerepel: „A laborok munkatervének összeállítását teljes odaadással vállalja, neki köszönhető, hogy a nehéz be-

szerezési viszonyok ellenére, új és modern feladatok beállíthatók. Munkatársaival együtt valóságos kémhálózatot szervezett meg, amely a beszerzési lehetőségeket éber figyelemmel kíséri. Laborprogramjában vannak feladatok, amelyeknek beállíthatóságát más laborok vezetői felszerelési szempontból lehetetlennek tartották.” A pályázatot értékelő bizottság Pócza Jenő kinevezését támogató egyhangú javaslatában [8], az indoklások között társaságunkra vonatkozóan ezt olvashatjuk: „....a múltnak egyetlen laborja helyett az első évben műhelygyakorlatok, a többi évfolyamban pedig egyenként jól felszerelt laboratóriumok kezdhették meg működésüket. Ma már a vegyészlaboratórium is ketté van választva és a középiskola követ-

telményeinek megfelelő demonstrációs labor is működik.”

Az MTA III. osztályához tartozó Fizikus Főbizottság 1955. október 19-én tartott látogatásának jegyzőkönyvében [9] ez szerepel: „... a Főbizottság megállapította, hogy a hallgatók gyakorlati képzése ma már kellő színvonalat ér el. A laboratóriumi képzés céljaira szolgáló berendezések nagy részét az intézet dolgozói és a hallgatók házilag készítették el. A berendezések, mérőműszerek házi készítése nagy és körültekintő, továbbá lelkes munkát igényelt.”

K.L. A szcintillációs számláló építését is elkezdtem. Nekem jutott feladatul a szükséges elektromos egységek, gyors erősítő és részecskeszámláló megépítése és az egész berendezés összeállítása. A Puskin utca és a Rákóczi út sarkán, *Láng Tibor* kis üzletében vásároltuk az elektroncsöveket, ellenállásokat, kondenzátorokat. A szükséges dobozokat magam készítettem, így megszerezve Faragó Péter dicséretét, amely szerint a részecskeszámláló, a szkéler úgy néz ki, mint egy lépegető exkavátor. Lehet, de működött!

B.B.P. Had idézzem fel a lelkes munka egyik epizódját. Az új előadási kísérletek összeállítása, előkészítése gyakorta az éjszakába nyúlt, hogy a kísérlet a Pócza vagy Cornides által megkívánt színvonalon, biztonságosan menjen. Ilyenkor az intézetben aludtunk asztalok tetején. Természetesen engedély nélkül, amit esetleges szabotázs elkerülése érdekében nem is szoktak engedélyezni. Így korán fel kellett kel-nünk, hogy csínytevésünket ne vegyék észre. Az egyik alkalommal elaludtunk, s a felmosóvíz csatlakozásának és a takarítónő kétségbeesett kiáltozására – Jaj Istenem! Jaj Istenem! A Groma tanár úr meghalt! – riadtam fel. Géza ugyanis szobájában, a bejárati ajtóval szemben lévő asztalának tetején aludt fehér köpenyvel letakarva, kezét a mellén összekulcsolva, mint a ravatalon.

Itt van egy másik utalás munkánkra. A minisztérium 1953-ban ellenőrizte a kísérleti fizika vizsgák lefolyását a három egyetemen. A Pócza Jenő vizsgáz-

tatásáról készült jelentés [10] ezzel a mondattal zárul: „A hallgatók tudása általában magas színvonalú, itt volt a legjobb a három egyetemen hallgatott vizsgák közül.” Ehhez nyilvánvalóan hozzájárult a tanulókori és laboratóriumi gyakorlatok eredményessége is.

K.L. Oktatásban tanulóként elsőéveseknek és laborgyakorlatot harmadéveseknek vezettem. Az első valóban fizikusként induló évfolyam egyik felének vezettem a tanulókört. Itt ismételtük az előadást, példákat oldottunk meg, gyakoroltuk az anyagot. Ma is örülök annak, hogy nagyon kiváló diákok jöttek össze, közülük sokkal ma is létezik szoros kapcsolat. Többen magas szintre emelkedtek, hárman tagjai az Akadémiának. *Leboniczki Tibor* alias *Lovas István*, *Németh Judit*, *Mráz-Zimányi József*.

B.B.P. Az ELTE Egyetemi Tanácsa üléseinek jegyzőkönyveiben is találunk utalásokat munkánkra. Példaként hoztam az 1956. február 10-én tartott ülés jegyzőkönyvéből a következőket [11]. Olvasom: „Az I. évesek zöme rendkívül szorgalmas és igyekvő, de képességeik tekintetében nem a legkiválóbbak. Jó vizsgaeredményeik nagy részben szorgalmuk és a tanszemélyzet áldozatos munkájának következménye. Az I. évesek patronálása terén kiemelkedően jó munkát végeztek a kísérleti fizikai intézet tanársegédei, akik 3-4-es csoportokban foglalkoztak az I. évesekkel.” Illetőleg [12]: „A hallgatók bevonása a tudományos munkába az elmúlt fél év folyamán jelentős mértékben javult. Egyre több hallgató vesz részt a tanszékek tudományos munkájában, részben a Tudományos Diákkörök keretén belül. Öröndetes, hogy ebben a fél évben a diákköri tagok létszáma – a hallgatólétszám csökkenése ellenére – jelentős mértékben megnövekedett és ezen belül a népi származású hallgatók arányszáma is megfelelő. E hallgatók zöme a Kísérleti Fizikai Intézet által irányított diákkörökben vesz részt.”

Az Egyetemi Tanács 1959. december 14-i ülésének jegyzőkönyvében van aztán az utolsó, bennünket érintő bejegyzés, az egyetem személyzetisének felszólalása [13]. Úgy emlékszem, ezt még nem láttad: „... a T.T.K.-n 10 éves probléma volt a kísérleti fizikai tanszék káderproblémája. Tíz éven keresztül nem nyúltunk hozzá, holott tudtuk, hogy ott nem minden megy rendben sem szakmai, sem politikai vonalon. Az ellenforradalom után került arra sor, hogy ezt a tanszék felszámoljuk, és érdekes, hogy nem dőlt össze a világ, a fizika oktatása tovább megy, sőt olyan vonalon, ami a mi rendszerünknek kívánatos.” A felszámolást Sólyom Jenő és Groma István röviden összefoglalta [2]. De erről ne ejtsünk több szót.

Javaslom, hogy beszélgetésünket Pócza tanár úr 1956 őszén írt feljegyzésében [14] található gondolatával fejezzük be: „1948-ra esett a Budapesti Tudományegyetem Fizikai Tanszékéről Békésy, Barnóthy, Forró, a Műszaki Egyetem Fizikai Tanszékéről Bay, Gombás, Papp kívándorlása. Ekkor kerültem a Kísérleti Fizika Tanszékre azzal a hittal, hogy lehet Magyarországon is fizikát csinálni és kezdetben azokkal az égő lelkesedéssel bíró jószándékú emberekkel körülvéve csodákat műveltünk.”

Ezzel búcsúzzunk el egymástól is. Adjunk hálát az Úr Istennek, hogy pályánkon így indított el bennünket. Gondoljunk hálával Pócza Jenőre, Faragó Péterre, Cornides Istvánra és Novobáztzy Károlyra, és emlékezzünk baráti társaságunk tagjaira, Bitskei Margitra, Bráda Ferencre, Gémesi Józsefre, Groma Gézára, Lándori Sárára, Nagy Juditra, Nébli Vendelre és Tóth Lajosra. akikkel ezt a csodás időszakot együtt élhettük meg.

Epilógus

Keszthelyi Lajos a tenni akarás, a fegyelmezett, kontrollált gondolkodás, az értelem embere volt, és Istenben hívő.

Ajándékként éltem és élem meg, hogy pályánk indulásának időszakában együtt dolgozhattam Lajossal, hogy barátságunk egy életen át töretlen volt. Kívánom, hogy az utánunk következő nemzedékek példaként tudjanak tekinteni Keszthelyi Lajosra.

Irodalom

1. Sólyom Jenő: *Fizika Magyarországon, 1945–1959. A fizikai kutatás és egyetemi oktatás újjászervezése*. Typotex kiadó, 2023. https://interkonyv.hu/konyvek/solyom_jeno_fizika-magyar-orszagon-1945-es-1959-kozott/
2. Sólyom Jenő, Groma István: A 70 éve végzett matematika–fizika szakos évfolyam(ok). *Fizikai Szemle* 70/11 (2020) 384–388.
3. Keszthelyi Lajos: Fizikusok és Matematikusok az Eötvös Collegiumban. Emlékek, gondolatok egy könyv olvasásakor. *Természet Világa* 145 (2014) 457–461.
4. Bay Zoltán: *Az élet erősebb*. Csokonai Kiadó – Püski Kiadó, Budapest, 1990.
5. Freud Géza: *Dr. Pócza Jenő egy. int. tanár, Bp. 1951. május 1-én. Kézírt írott feljegyzés, eredeti, Pócza Jenő hagyatékában, az 1956-ban kiadott káderanyagban.*
6. *Dr. Pócza Jenő, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Fizikai Intézet egyetemi docensének kitértetési javaslata*. 1952. február 28-án, aláíró Fodor Pálné, Felsőoktatási Minisztérium Kádernyilvántartás, O.M. 29, Pócza Jenő hagyatékában, az 1956-ban kiadott káderanyagban.
7. Novobáztzy Károly: *Tisztelt Kar! Levél, Felsőoktatási Minisztérium Kádernyilvántartás, O.M. 29, Pócza Jenő hagyatékában, az 1956-ban kiadott káderanyagban.*
8. *A véleményező bizottság jelentése*, aláíró Novobáztzy Károly, Budapest, 1952. június 30. Felsőoktatási Minisztérium Kádernyilvántartás, 1571/KS, O.M. 29, Pócza Jenő hagyatékában, az 1956-ban kiadott káderanyagban.
9. Magyar Tudományos Akadémia III. Osztályának levele Pócza Jenőhöz, 1995. okt. 31., 27002/1955., ikt. szám, Pócza Jenő hagyatékában, az 1956-ban kiadott káderanyagban
10. Cser Andor: *Jelentés Pócza Jenő docens kísérleti fizika vizsgájáról*. 1953. január 23. Felsőoktatási Minisztérium Kádernyilvántartás, 1016/Köv. OM29, Pócza Jenő hagyatékában, az 1956-ban kiadott káderanyagba
11. https://library.hungaricana.hu/hu/view/ELTE_ET_1955-56/?pg=219&layout=
12. https://library.hungaricana.hu/hu/view/ELTE_ET_1955-56/?pg=221&layout=
13. https://library.hungaricana.hu/hu/view/ELTE_ET_1959-60/?pg=172&layout=s
14. Pócza Jenő 1956. szeptember 10-én kézzel írott feljegyzésének géppel átirat másolata, Pócza Jenő hagyatékában.

KESZTHELYI LAJOS SZEREPE A MÖSSBAUER-SPEKTROSKÓPIÁBAN

Bagyinka Csaba – Szegedi Biológiai Kutatóközpont
Nagy Dénes Lajos – Wigner Fizikai Kutatóközpont
Vincze Imre – Wigner Fizikai Kutatóközpont

E cikk szerzői (B.Cs., N.D.L. és V.I.) mindhárman *Keszthelyi Lajos* tanítványai, akik pályafutásuk egy-egy meghatározó szakaszában az ő munkatársai voltak. Utólag visszatekintve érdektelen, hogy szervezetiileg éppen mikor, melyik intézetben dolgoztak, hiszen Lajos szinte valamennyi magyar Mössbauer-csoport spiritus rectora volt – még azoknak is, amelyeket közvetlenül soha nem irányított. N.D.L. 1966 januárjában kezdte meg diplomamunkája készítését Lajos csoportjában a 2022 januárjában elhunyt *Dézi István* témavezetésével. V.I. 1967 szeptemberétől alkalmazta kutatásaiban a Mössbauer-spektroszkópiát, míg B.Cs. 1970-től készítette szakdolgozatát Keszthelyi Lajos irányításával a KFKI-ban; 1972-től már, mint az SZBK tudományos segédmunkatársa

A szerzők köszönetüket fejezik ki *Kutnyánszky Anikónak*, a Wigner FK Könyvtár vezetőjének és munkatársainak azért, hogy az MTMT-t kiegészítették Keszthelyi Lajos néhány korábban nem ismert Mössbauer-spektroszkópiái közleményével.



Bagyinka Csaba (1949) biofizikus, az MTA doktora, a Szegedi Biológiai Kutatóközpont nyugalmazott tudományos tanácsadója. Fő kutatási területe a redox fehérjék szerkezetének és működésének vizsgálata különböző fizikai módszerekkel. Munkahelye az SZBK Biofizikai Intézete.



Nagy Dénes Lajos (1944) kísérleti szilárdtestfizikus, az MTA doktora, a Wigner Fizikai Kutatóközpont kutató professor emeritusa, az ELTE TTK Fizikai Intézet nyugalmazott egyetemi tanára. Fő kutatási területe anyagtudományi alkalmazások modellanyagainak vizsgálata magfizikai módszerekkel, elsősorban Mössbauer-spektroszkópiával. Első munkahelye a KFKI volt, és összesen mintegy hat évnyi tartós németországi távolléteitől eltekintve mindig a KFKI-ban, illetve annak utód szervezeteiben dolgozott.



Vincze Imre fizikus, az MTA rendes tagja, az ELTE egyetemi tanára, a Wigner FK emeritus kutató professor. Kutatási területei: híg és koncentrált ötvözetek, Heusler-ötvözetek, fémközi vegyületek elektron- és mágneses szerkezete; hiperfinom tér szisztematika; amorf ötvözetek lokális atomi szerkezete, mágneses tulajdonságai; spinűvegek; nanoszerkezetű anyagok mágneses tulajdonságai (előállításuk: párologtatás, mechanikai ötvöztetés és darálás, hőkezelés; kisszemcsés és nanokristályos ötvözetek, vékonyrétegek).

dolgozott a KFKI-ban, majd 1974-től az SZBK Mössbauer-laboratóriumában, amely 1977-ben megszűnt.

Keszthelyi Lajos nevével persze nem itt találkozunk először. Két, 1959-ben, illetve 1964-ben megjelent alapvető könyvét (*Atomok és atomi részecskék* [MTMT 33544795],¹ *Szcintillációs számlálók* [MTMT 20439464]) már egyetemi hallgatóként is jól ismertük és rendszeresen forgattuk.

Lajos rendkívüli gondot fordított a fiatalok nevelésére. Csoportjában, sőt a KFKI Magfizikai Főosztályának teljes, általa vezetett Magfizika I Laboratóriumában – akkoriban ritka kivételként – minden fiattól elvárta az egyetemi doktorátus megszerzését. A Magfizika I hetente tartott szemináriumain a fiataloknak is rendszeresen kellett előadást tartaniuk. Ez szólhatott saját munkáról, de lehetett egy frissen olvasott cikk kritikai ismertetése is. Jó volt fiatal kutatónak lenni Keszthelyi Lajosnál.

Lajos tevékenysége a Mössbauer-spektroszkópiában oly mértékben szerteágazó (még akkor is, ha azt a hetvenes évek közepe után a kísérleti formában többé nem művelte), hogy meg sem kíséreljük annak minden részletében való bemutatását. Ehelyett néhány fontosabb témakört emelünk ki és írunk le részletesebben külön fejezetekben, míg a többit csak röviden említjük; esetenként el is hagyjuk.

A Mössbauer-effektus demonstrálása Magyarországon

Rudolf Mössbauer 1958-ban publikálta két közleményét a ¹⁹¹Ir 129 keV-es γ -fotonjai általa 1957-ben, doktori munkája keretében megfigyelt visszalökődés-mentes magrezonancia-abszorpciójáról [1, 2]; a felfedezést 1961-ben Nobel-díjjal ismerték el. A módszer valódi sikertörténete 1959 végén kezdődött, amikor *Pound* és *Rebka* [3], illetve *Schiffer* és *Marshall* [4] (az első szerző eredeti nevén *Schiffer János Pál*; ő is 2022-ben távozott az élők sorából) elsőként figyelték meg a Mössbauer-effektust az ⁵⁷Fe 14,4 keV-es γ -kvantumain.

¹Ebben a cikkben Keszthelyi Lajos saját publikációira MTMT-azonosítójuk megadásával hivatkozunk. Az MTMT nyilvános keresőfelületén (<https://m2.mtmt.hu/gui2/>) a „Közlemény” keresőablakba beírva az MTMT azonosítót, majd a „Keresés” mezőre kattintva megtaláljuk a kiadvány MTMT-ben rögzített bibliográfiai adatait. A hamis találatok kiszűrése végett célszerű a rövidebb azonosítókat bevezető 0 számjeggyel 8 jegyűekre kiegészíteni.

Lajos azonnal felismerte az ^{57}Fe -rezonanciában rejlő alapkutatói és alkalmazási lehetőségeket. Elhatározta, hogy reprodukálja a Pound–Rebka-kísérletet; ebbéli szándékában Mössbauer is megerősítette. Visszaemlékezéseiben [MTMT 23116, MTMT 1912994, MTMT 1408490] részletesen leírja a terv megvalósításának buktatóit, majd azok megoldásait. Az első sikeres mérés 1960 novemberében történt a csoporthoz akkor csatlakozott Dézsi István radiokémikus közreműködésével. Ma már elborzadva olvassuk, hogy az effektus 1960. december 5-én, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat klubestjén lezajlott bemutatójáról titkosszolgálati jelentés készült. Az ^{57}Fe Mössbauer-effektusának megfigyeléséről és az azzal kapcsolatos fejlesztésekről Lajos és munkatársai 1961 és 1966 között további négy közleményben [MTMT 1408508, MTMT 22992, MTMT 23007, MTMT 33623690] számoltak be, amelyek célja elsősorban a módszer hazai megismertetése volt.

Lajos és munkatársai az első, nemzetközi visszhangot is kiváltó eredményt a Mössbauer-spektroszkópiában azzal érték el, hogy kimutatták a Mössbauer-effektust a ^{159}Tb 58 keV-es nívóján [MTMT 22952, MTMT 23011]. 1962-ben már működött a KFKI kutatóreaktora, ami lehetővé tette a sugárforrás előállítását dúsított $^{158}\text{Gd}(\text{NO}_3)_3$ -ból kiindulva a $^{158}\text{Gd}(n,\gamma)^{159}\text{Gd}$ magreakció útján. Az így kapott, 18,5 órás felezési idejű ^{159}Gd forrás természetesen csak a telephelyen

tett lehetővé Mössbauer-méréseket, amelyeket az ^{57}Fe rezonanciával kalibráltak. Az 1965-ös cikkben [MTMT 23011] leírt, részletes vizsgálatokat is lehetővé tevő forrást a csoporthoz 1963 márciusában csatlakozott *Molnár Béla* készítette, aki 2014-ben bekövetkezett haláláig számos hazai és külföldi Mössbauer-csoport számára végzett hasonló feladatokat.

Lajos csoportja más Mössbauer-rezonanciákat is használt a hatvanas-hetvenes években. A ^{197}Au 77,3 keV-es nívójának gyakorlati jelentőségét az a tény adta, hogy az annak gerjesztéséhez szükséges 19,9 órás felezési idejű forrást úgy lehetett a $^{196}\text{Pt}(n,\gamma)^{197}\text{Pt}$ reakció segítségével reaktorban előállítani, hogy az semmilyen radiokémiai utómunkálatot nem tett szükségessé, sőt a lebomlott forrást újra fel lehetett aktiválni [5, MTMT 1397120].

Ugyancsak a KFKI reaktorában készültek 1967-ben dúsított ^{160}Gd -ból a $^{160}\text{Gd}(n,\gamma)^{161}\text{Gd}$ magreakció segítségével azok a 6,95 nap felezési idejű, 25,6 keV-es fotonokat kibocsájtó ^{161}Dy források, amelyekben a radioaktív ^{161}Dy magok végül is Gd_2O_3 mátrixban foglaltak helyet; a radiokémiai munka ebben az esetben is Molnár Béla teljesítménye volt [MTMT 15532].

A csoport ebben az időben $^{119\text{m}}\text{Sn}$ -forrásokat is használt, de azokat külső szállítótól szereztek be.

Lefagyasztott vizes oldatok

Mivel a Mössbauer-effektus csak szilárd fázisban figyelhető meg, azonnal felmerült a kérdés, hogy lehetne-e azt folyadékok (például oldatok) szerkezetének vizsgálatára is használni. 1963-ban Lajos azonnal felfigyelt arra, hogy *Kerler* és munkatársai [6] lefagyasztott oldatokon mértek Mössbauer-spektrumokat. A lehetőség ismeretében Dézsi István kezdeményezte, hogy a technikát vassók lefagyasztott vizes oldataira alkalmazzák. A téma ettől kezdve elsősorban István nevéhez kötődött, és igen hosszú időn át produkált rendkívül izgalmas eredményeket.

Az első, 1964 végén beküldött közleményükben [MTMT 23004] még csak a Kerler-módszer alkalmazásáról volt szó -191°C -ra hirtelen lefagyasztott mintákon, de az olvasónak már itt is feltűnhet, hogy a Mössbauer-effektus nagysága a felmelegítés során -70°C -on néhány esetben a kimutathatóság határa alá csökkent. 1965-ben jelent meg téma alapcikke [MTMT 23005], amely Lajos mellett Istvánt is egy csapásra világszerte ismertté tette (*1. ábra*). A szerzők itt figyelték meg és elemezték azt a *2.a ábrán* bemutatott megfigyelésüket: a gyorsfagyasztott minták spektrumvonalai -100°C körül kiszélesednek, majd az effektus -90°C -on teljesen eltűnik. Tovább melegítve a mintát, újra megjelenik a Mössbauer-spektrum, és végleg csak -45°C körül tűnik el ismét. Az eredeti interpretáció részben helyes volt, később azonban részben revízióra szorult. A szerzők felismerték, hogy

1. ábra. Az 1965-ös *Physics Lettersben* megjelent, nemzetközi ismertséget hozó cikk első oldala.

Volume 18, number 1

PHYSICS LETTERS

1 August 1965

MÖSSBAUER EFFECT STUDY OF PHASE TRANSITION IN ICE

I. DÉZSI, L. KESZTHELYI, B. MOLNÁR and L. PÓCS
Central Research Institute for Physics, Budapest, Hungary

Received 8 July 1965

In a recent publication [1] some results of Mössbauer-effect measurements on solidified solutions of various iron salts in water have been reported. The intensity of the effect at two temperatures, namely -191° and -71°C , indicated unusual behaviour, but different for different salts. Further investigations were performed to clear up these phenomena by a more thorough study of the temperature dependence. The experimental conditions were the same as in ref. 1. The solutions were measured upon their sudden solidifying, first at -191°C , then the temperature was gradually increased. The duration of a measurement was about 1.5 hr.

The temperature dependence of the Mössbauer pattern for $\text{Fe}(\text{ClO}_4)_2$ salt is shown in fig. 1. The data of line width Γ , the intensity of the effect R and quadrupole splitting Δ are illustrated in fig. 2,

where the results of the measurements on FeCl_2 salt are shown too. These results exhibit very marked changes in the vicinity of -85°C : (1) Γ is broadening nearly up to this point after which it becomes narrower. (2) R is gradually diminishing and disappears at this point. (3) There is a jump in the value of Δ . (4) The development of the effect, after disappearing at -85° – -90°C , takes some time generally 0.5 to 1 hr (not shown). Similar results were obtained in solidified water solutions of FeSO_4 , $\text{Fe}(\text{NH}_4\text{SO}_4)_2$, FeCl_3 and in frozen heavy water solution of FeCl_2 .

These far-reaching changes may be explained by the phase transition in ice. A number of authors, in particular, König [2], Blackman and Lisgarten [3] studied the modifications and phase transitions in ice. According to these authors,

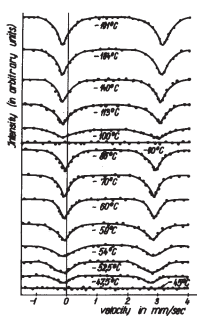


Fig. 1. Mössbauer patterns as a function of temperature for $\text{Fe}(\text{ClO}_4)_2$ solution.

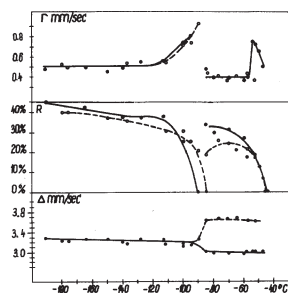
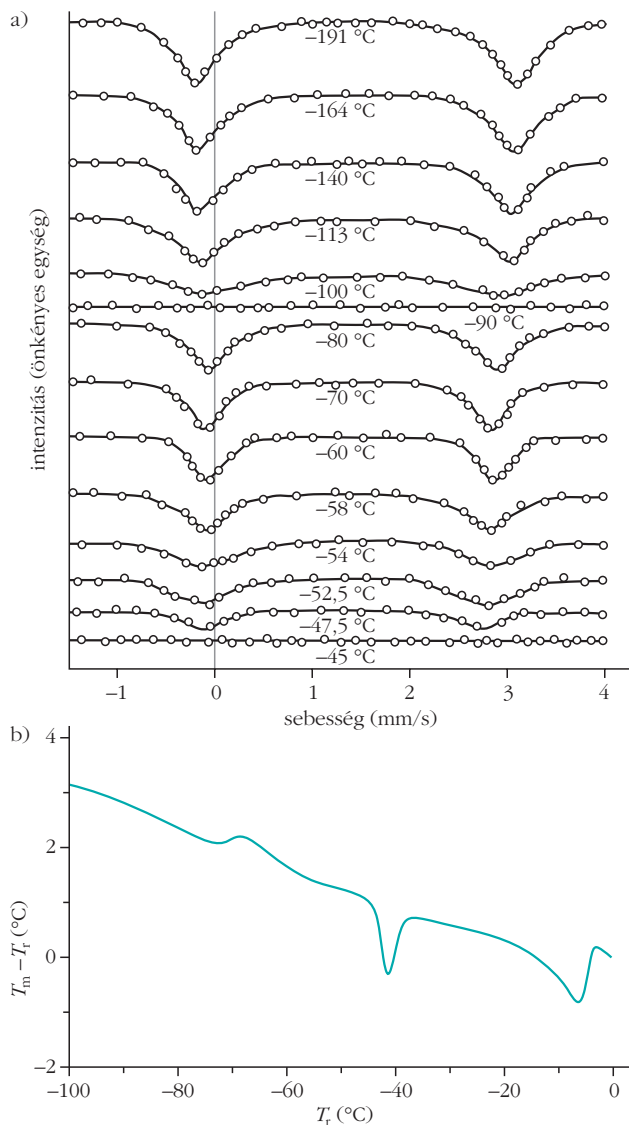


Fig. 2. Temperature dependence of Mössbauer effect intensity R , line width Γ and quadrupole splitting Δ for $\text{Fe}(\text{ClO}_4)_2$ (• full line) and FeCl_2 (○ dashed line) solutions.



2. ábra. $\text{Fe}(\text{ClO}_4)_3$ lefagyasztott vizes oldata a) Mössbauer-spektrumainak és b) differenciális termoanalízisének hőmérsékletfüggése. T_m a minta, T_r pedig az inert referenciaanyag hőmérséklete.

a kiszélesedés oka a diffúzió [7], de a jelenséget tévesen hozták összefüggésbe a jég köbös-hexagonális fázisátalakulásával.

Ugyanez a tény megfigyelhetőnek bizonyult Sn és Dy sók esetében is [MTMT 15532]. Függetlenül az oldatba vitt sók, illetve a használt Mössbauer-átmenet megválasztásától, lassú visszahűtés esetén -90°C környékén a spektrumokban semmilyen változás nem volt tapasztalható, de egy újabb gyorsfagyasztás után ismét fellépett a kiszélesedés és a spektrumok eltűnése.

1967 augusztusának végén Kaliforniában, Asilomarban *Hyperfine Structure and Nuclear Radiations* címmel tartottak konferenciát, amelyre Lajos is meghívást kapott. A konferencián többek között a lefagyasztott oldatokon megfigyelt jelenségekről is beszámolt [MTMT 22955]. Itt ismerkedett meg *John Cameron*nal, a kanadai McMaster University (Hamilton) professzorával, ami egy hosszabb együttműködés kezdetét jelentette. Lajos Ca-

meron meghívására 1969. január közepétől egy évre Hamiltonba utazott, és „vitte magával” a lefagyasztott oldatok témáját, amelyet ott aztán nemcsak Mössbauer-spektroszkópiával, de a perturbált γ - γ szöghorreláció (PAC) módszerével is [MTMT 1411593, MTMT 33563745] tanulmányoztak. Cameron 1970 második felében Lajos meghívására öt hónapot töltött a KFKI-ban.

A további, elsősorban Mössbauer-spektroszkópiával és differenciális termoanalízissel (DTA) végzett mérések egyre inkább arra utaltak, hogy a megfigyelt jelenség az ionok körül kialakuló üvegállapotú szférával kapcsolatos, amely lefagyasztáskor a kristályos szerkezetű jégtől elkülönül. Mivel a spektrumok végleges eltűnése mindig az eutektikus hőmérséklet közelében következett be, kézenfekvő volt, hogy az eutektikus, üvegállapotú zárványok már a gyorsfagyasztás során kialakultak [MTMT 3177443, MTMT 15403, MTMT 1411589, MTMT 33563570, MTMT 1411584, MTMT 1411585, MTMT 1411583]. A 2.b ábrán látható DTA-görbén -90°C körül megfigyelhető exoterm csúcs a diffúziós folyamathoz, a -45°C körüli endoterm csúcs az eutektikum, míg a -5°C körüli endoterm csúcs a jég olvadásához rendelhető. Bár lefagyasztott oldatokat mind a mai napig számos csoport vizsgált és vizsgál Mössbauer-spektroszkópiával [8], ez az alapvető képünk azóta sem változott.

Mössbauer-mérések biológiai objektumokon

Keszthelyi Lajost még mielőtt 1972-ben a Szegedi Biológiai Kutatóközpontba (SZBK) került, érdekelte, hogyan lehetne a Mössbauer-effektust biológiai problémák megoldására felhasználni. Abban az időben a Mössbauer-méréseket kényelmesen és praktikusán az ^{57}Fe magon végzett mérések jelentették. A biológiában szerencsére a vas az egyik legjelentősebb szerves összetevő; sok helyen, sok biológiai molekulában (jellemzően fehérjékben) található meg. A problémát az okozta, hogy a vas százalékos előfordulása igen kicsiny. A mérésekhez ezért nagyon nagy mennyiségű biológiai anyagot kellett volna előállítani, és ennek feltételei Magyarországon akkor még nem álltak rendelkezésre, legalábbis az eddig még nem vizsgált Mössbauer-aktív anyagok esetében. A természetes vasat tartalmazó molekulákat viszont csak úgy lehetett volna ^{57}Fe -ben dúsítani, ha az élőlény teljes élete során csak ^{57}Fe tartalmú táptalajon nő, aminek viszont olyan anyagi vonzatai lettek volna, amelyeket nem lehetett vállalni. A vasatomok feldúsítása a már kitisztított biológiai anyagban pedig abban az időben szinte megoldhatatlan feladatnak tűnt, de még manapság sem egyszerű és megbízhatóan végrehajtható folyamat.

Ezért eleinte óvatos, csak diplomamunkákat eredményező próbálkozások voltak (különbözőképpen tartott állatokból származó, szárított vér és természetes vasat tartalmazó transferrin molekula Mössbauer-

vizsgálata); olyan munka, amelyből tudományos publikáció született volna, sokáig nem keletkezett. Lajos szovjet kooperációban fehérje nélküli, többféleképpen módosított porfirinvázat is tanulmányozott.

A biológusokkal folytatott konzultáció során végül a biológiai anyagok és különféle vassók kölcsönhatását találta ígéretes témának, ami a lefagyasztott oldatok Mössbauer-vizsgálatához hasonló technikákat igényelt; ez ráadásul ismerős terület is volt. Ez a téma annyira ígéretesnek tűnt, hogy az SZBK Biofizikai Intézete egy Mössbauer-spektrométert is beszerzett.

Az első ilyen publikáció mesterséges membránok és különféle vassók kölcsönhatását vizsgálta [MTMT 1909839]. Lecitinmembrán jelenlétében a Fe^{3+} sók Mössbauer-spektruma jelentősen különbözött a membrán nélküli spektrumtól. Ezt a membrán közelében fellépő pH-változással magyarázták. A következő mérésekben az előző mérést továbbfejlesztve, néhány, a baktériumok vasszívételében szerepet játszó molekula és a vas komplexét vizsgálta [MTMT 1090295, MTMT 1908635]. A mérési eredmények megmagyarázták, hogy a vas miképpen tud keresztüljutni a membránon a transzportermolekula segítségével, kihasználva a sejtmembránközeli tér pH-jának változását, ami $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ átalakulást indukál a komplexben.

Ezek a mérések azonban nem indokolták egy Mössbauer-spektrométer fenntartását és a drága, elbomló sugárforrás rendszeres vásárlását, ezért a Biofizikai Intézet két év múlva a készüléktől megszabadult, és ezzel itt a biológiai Mössbauer-mérések megszűntek. A későbbi szórványos, Keszthelyi Lajos támogatásával, de aktív közreműködése nélkül történő Mössbauer-kísérleteket a KFKI-val kooperációban végezték el.

Hiperfinom terek meghatározása a Mössbauer-szórás sugárzásának perturbált szögeloszlásából

Werner Meisel, a berlini (NDK) Zentralinstitut für Physikalische Chemie vezető kutatója a hetvenes évek elején figyelt fel arra a tényre, hogy a rozsdamentes acélból készült Mössbauer-abszorbensek és ^{57}Co Mössbauer-források vonalszélessége 1,5–2,5-szerese a természetes vonalszélességnek. Különféle illesztésekkel próbálta meg kideríteni, hogy ennek oka a hiperfinom kölcsönhatás melyik összetevője vagy összetevői eloszlásában keresendő.

Lajos Meissellel 1969-ben ismerkedett meg, és alighanem ekkor javasolhatta, hogy a kérdést ne csak Mössbauer-spektroszkópiával, hanem az időintegrális PAC módszerével is tanulmányozzák. Ilyen méréshez alapvetően egy gamma-kaskádra van szükség; a hiperfinom kölcsönhatásra vonatkozó információt a detektorpár vízszintes síkjára merőleges irányú, felfelé és lefelé mutató külső mágneses térben felvett

szögkorrelációs képek szögelfordulás-különbségének és összenyomódásának (attenuációjának) mértéke tartalmazza. A kézenfekvő megoldás, nevezetesen az ^{57}Fe 136,5 keV-es nívójáról a 14,4 keV-es Mössbauer-nívóra, majd onnan az alapállapotra vezető kaskádban kibocsátott 122,1 keV-es fotonok használata nem bizonyult elégségesnek [MTMT 33563510]. Van azonban egy másik lehetőség is: használható pusztán az alapállapot és a 14,4 keV-es nívó közötti átmenet, ha Mössbauer-szórást használunk, ismert irányban haladó rezonáns fotonnal gerjesztünk, majd a kibocsátott második fotont detektáljuk. E kísérlet elvégzésére érkezett Meisel Lajos meghívására 1976 januárjának közepén nyolc hónapra a KFKI-ba. A kísérlet sikerrel járt, és abból azt a következtetést vonták le [MTMT 1411579], hogy az egyvonalas spektrum kiszélesedésének fő oka a kvadrupólus kölcsönhatás, de nem zárható ki egy kis mágneses járulék sem.

A témát azonban nem ez az eredmény teszi érdekessé, hiszen – valljuk be – már akkor sem volt és később sem lett igazi jelentősége egy adott összetételű rozsdamentes acél hiperfinom téreloszlása elemzésének. Ilyen anyagokat a hetvenes évek közepétől sem abszorbensként, sem ^{57}Co forrásmátrixként senki nem használt. A valódi érték metodikai, de igen fontos. A Mössbauer-szórás ugyanis óhatatlanul Rayleigh-szórással is jár, és ha ennek szögeloszlása nincs korrekt módon figyelembe véve, az meghamisítja a mérés kiértékelését. Terjedelmi okok nem teszik lehetővé, hogy bemutassuk a Meisel–Keszthelyi-cikkben [MTMT 1411579] leírt korrekt eljárást, de mindenképpen ez az eljárás az említett vizsgálatok legfontosabb eredménye.

Egyiptomi cserépedények és üvegek

A hatvanas évek közepétől a hetvenes évek közepéig terjedő időszakban Lajos intenzív kapcsolatokat ápolott egyiptomi kutatókkal, elsősorban a kairói Al-Azhar Egyetem (AAE) munkatársaival. Ebben a fő együttműködő partner *Nabil A. Eissa*, az AAE néhai professzora volt, aki 1965-ben érkezett Magyarországra. Először Debrecenben, az Atomkiban neutronspektroszkópiával foglalkozott, majd 1966-ban Lajos Mössbauer-spektroszkópiái csoportjához csatlakozott, ahol első sorban ferriteken és lefagyasztott oldatokon dolgozott. Ez utóbbi munkáin [MTMT 23018, MTMT 15532, MTMT 2433612] alapult az 1974-ben benyújtott, majd sikerrel megvédett *Néhány vastartalmú anyag tanulmányozása Mössbauer effektus segítségével* című nagydoktori értekezése is.

Kairóba hazatérve Nabilnak sikerült pénzt szereznie egy Mössbauer-laboratórium felállítására. A KFKI Műszaki Szakigazgatásának mérnökei 1968-tól korszerű Mössbauer-spektrométereket fejlesztettek azok kiegészítő egységeivel (kályhákkal, kriosztátokkal stb.) együtt, amelyekből közel ötven berendezésegyüttest

adtak el szerte a világon; sok ilyen ma is működik. Ezek közül az egyik első kapta meg Nabil 1970 áprilisában. Sem a telepítés, sem az azt követő kutatómunka nem volt egyszerű feladat; ebben az időben ott még mindennaposak voltak a váratlan, több órás áramszünetek. Lajos azt javasolta Nabilnak, hogy elsősorban olyan témával foglalkozzék, amely Egyiptomhoz, az egyiptomi kulturális örökséghez kapcsolódik. Így indult el az ókori cserépedények és üvegek vizsgálata Mössbauer-spektroszkópiával [MTMT 33563584, MTMT 1411582, MTMT 3307207, MTMT 33563516], amely Nabil nevét széles körben tette ismertté.

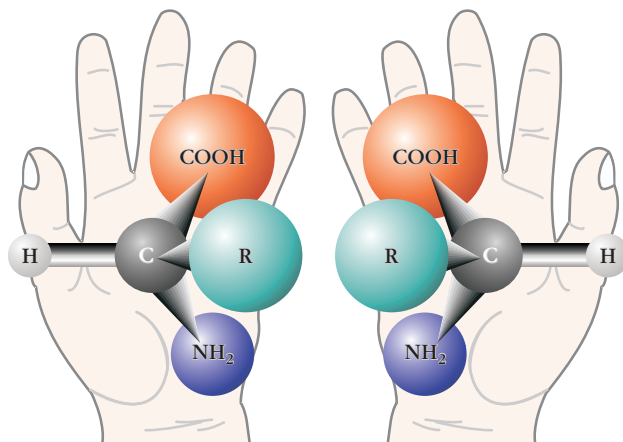
Cirkulárisan poláros γ -sugárzás abszorpciója L és D aminosavakban

1848-ban a 26 éves *Louis Pasteur* a kor divatos vizsgálati eszközét, a polarizált fényt használva felfedezte, hogy a szintetikus előállított borkősav két tükörszimmetrikus izomerből (azonos kémiai tulajdonságú, eltérő szerkezetű változatból) áll, amelyek a poláros fény síkját azonos mértékben, de ellenkező irányban forgatják. Pasteur azt is felismerte, hogy a szőlő erjedésekor keletkező borkősav csak az egyik izomert tartalmazza, optikailag tiszta, és hogy ez az élő szervezetek tulajdonsága.

Ezzel megszületett a sztereokémia, amely az atomok térbeli elhelyezkedését vizsgálja azonos összegképletű molekulák esetén. Királisnak nevezzük azokat a molekulákat, amelyek egymásnak tükörképei, de forgatással nem hozhatók fedésbe, mint azt a 3. ábra mutatja.

A fehérjemolekulák aminosavakból állnak, amelyek a glicin kivételével királisak (a glicin szimmetrikus szerkezetű, azaz akirális), de biológiailag aktív molekulákban csak a balkezes, L-változat fordul elő (L a latin *laevus* = bal szóból). A szénhidrátok, a nukleinsavak, a dezoxiribonukleinsavban (DNS) található cukor építőkövei pedig jobbkezesek (D a latin *dexter* = jobb szóból). Homokiralitásról akkor beszélünk, ha egy rendszerben a királis molekulák egymeműek; ilyenek az élet szempontjából létfontosságú biomolekulák: az élet homokirális. Laboratóriumi szintetizálás esetén azonos mennyiségben keletkezik jobb- és balkezes, kémiai azonos tulajdonságú aminosav, mint például a híres 1953-as Miller–Urey-kísérletben [9]. Nincs megnyugtató magyarázat arra, hogy miképp alakult ki a biológiai homokiralitás, a tükörszimmetria megsértése. Felvetődött a gyenge kölcsönhatás szimmetriasértése, a longitudinálisan polarizált β -részecskék keltette cirkulárisan polarizált fékezési sugárzással való kölcsönhatás stb., mint az aszimmetria létrehozója.

A kérdés élénken foglalkoztatta Keszthelyi Lajost; a *Fizikai Szemlében* is többször írt erről [MTMT 3177430, MTMT 1408495]. 1974-ben a következő briliáns kísérletet javasolta és hajtotta végre a KFKI-ban e cikk egyik szerzőjével (V.I.) együtt annak vizsgálata,

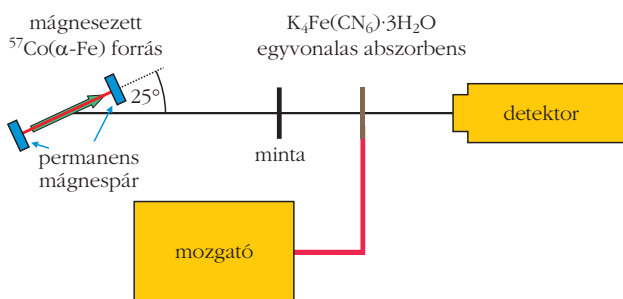


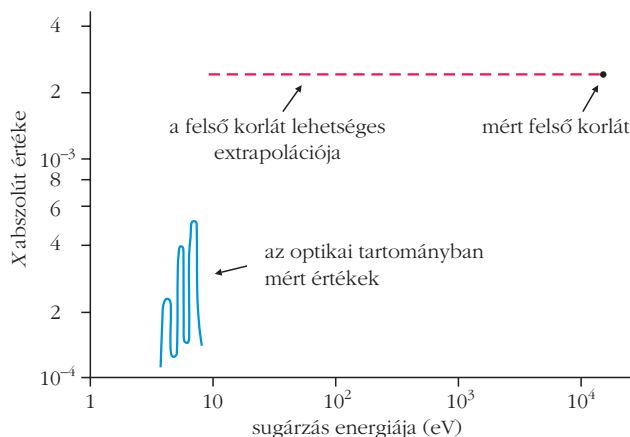
3. ábra. Királis molekulapár szemléltetése (forrás: Wikipédia).

tára, hogy a cirkulárisan polarizált kis energiájú fékezési sugárzás elnyelődése magyarázhatja-e a biomolekuláknál megfigyelt optikai aszimmetriát [MTMT 101576, MTMT 33563508].

Az ^{57}Co bomlása során keletkező ^{57}Fe mag 14,4 keV energiájú sugárzása azzal párhuzamos mágneses térben négy különböző energiájú vonalat eredményez, amelyek egyvonalas abszorbensű hagyományos Mössbauer-berendezéssel felbonthatók. Ezek a $3/2-1/2$ spinű átmenetnek megfelelően 100%-ban cirkulárisan polarizáltak (az első és a harmadik vonal jobbra, a második és a negyedik pedig balra). Ez lehetővé teszi, hogy ugyanazon a mintán egyidejűleg mérjük a jobb és bal polarizáltságú sugárzás abszorpcióját (kiküszöbölve a minta esetleges szennyezettsége és az elektronika bizonytalansága hatását). Az abszorpció ellentétes előjelű a megfelelő vonalpárookra, ami a mérés belső ellenőrzését teszi lehetővé. Miután nem állt rendelkezésre legalább 5 T erősségű szupravezető mágnes (a szórt tér esetleges hatásának kiküszöbölése egyébként is gondot jelentett volna), a kísérlet során egy ≈ 100 mT erősségű permanens mágnes által telítésig mágnesezett vasfóliába diffundáltatott ^{57}Co magokból létrejövő ^{57}Fe magok 33 T-ás $\mathbf{B}_{\text{hf}}$ hiperfinom terét használták a vonalak felbontására. A vasfólia síkja 25° -os szöget zárt be az optikai tengellyel. A

4. ábra. Aminosavminták Mössbauer-mérése elliptikusan (közel cirkulárisan) poláros fotonokkal. A rezonáns γ -fotonjait a sötétkéssel jelölt permanens mágnespár által telítésbe mágnesezett, pirossal jelzett $^{57}\text{Co}(\alpha\text{-Fe})$ forrás bocsátja ki. Az egyvonalas $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ abszorbens a minta és a detektor között található.





5. ábra. Az X aszimmetriaparaméter abszolút értékei a sugárzás energiájának függvényében triptofánmolekula esetében.

mérési elrendezés hasonló volt a *Frauenfelder* és munkatársai által használtakéhoz [10].

A forrásból kilépő rezonáns fotonok áthaladtak a vizsgált mintán, majd egy egyvonalas $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3 H_2O$ abszorbensen, és ezután érték el a detektort (4. ábra). A 25° -os bedöntés ugyan csökkentette a cirkuláris polarizáltságot és valójában elliptikus polarizáltságot [10, 11] eredményezett, de a cirkuláris komponens részaránya (90%) a mérésből közvetlenül meghatározható volt. A méréseket L- és D-tirozinon, valamint L- és D-triptofánon végezték, és egyetlen esetben sem találtak a mérés hibáját meghaladó különbséget a jobb és bal polarizáltságú γ -sugárzás elnyelődésében. A kétféle cirkuláris polarizáltságú fotonok abszorpciójának eltérését leíró X aszimmetriatényező abszolút értékeit mutatja triptofán esetére a 5. ábra a sugárzás energiájának függvényében, vázlatosan feltüntetve a korábbi, az optikai tartományban végzett mérések eredményeit is. Utóbbiak pontosságát Lajos és V.I. mérései közel egy nagyságrenddel meghaladták, még valószínűtlenebbé téve azt, hogy az élet aszimmetriáját polarizált fény okozta.

Ezeket az eredményeket Lajos több cikkben [MTMT 1090258, MTMT 1090341, MTMT 1090353] felhasználta a fékezési sugárzás lehetséges hatásának diszkussziójára novakitörés, meteoritokban talált vélhető aszimmetria stb. esetén.

A biológiai homokiralitás kérdése Mössbauer-mérések segítségével történő tisztázásának lehetőségére Lajos 1994-ben [MTMT 1090339, MTMT 1909353], majd 2003-ban [MTMT 1290486] ismét visszatért, felvetve az ^{57}Fe -n kívül más Mössbauer-izotópok használatának lehetőségét is.

Konferenciaszervező tevékenység

Elsősorban *Pál Lénárd* és Keszthelyi Lajos érdeme volt, hogy 1969 júniusában – az akkori „szocialista” országok között ritka kivételként – Magyarország valódi nemzetközi konferenciát szervezhetett Tihanyban a Möss-

bauer-spektroszkópia alkalmazásairól, amelynek résztvevői egyaránt verbuválódtak a „szocialista” országokból, az USA-ból, Nyugat-Európa szinte valamennyi országából, de – horribile dictu – még „Nyugat-Németországból”, sőt Nyugat-Berlinből is; ebben a tényben Lajos kiterjedt szakmai kapcsolatai fontos szerepet játszottak. 1989 szeptemberében ismét Magyarország rendezte a Mössbauer-spektroszkópusok legnagyobb, kétévenkénti világkonferenciáját, az International Conference on the Applications of the Mössbauer Effect (ICAME) soron következő eseményét; a konferenciát Lajos nyitotta meg [MTMT 1411565].

Végszó

A magyar Mössbauer-spektroszkópusok szervezete, a Magyar Mössbauer-laboratóriumok Hálózata 2014-ben történt megalakulása óta örökös tiszteletbeli elnökének tekintette Keszthelyi Lajost, aki a hálózat évenkénti előadói ülései közül az elsőn, 2014 novemberében részt vett és előadást is tartott. Emlékét hálatelt szívvel őrizzük.

Irodalom

A következő lista Keszthelyi Lajos Mössbauer-spektroszkópiái közleményeinek MTMT-azonosítóit tartalmazza megjelenési évek szerinti bontásban; használatuk módjának leírása a jelen cikk első oldalának lábjegyzetében található. **1961:** 1408508; **1962:** 22992; **1963:** 22952; **1964:** 23000; **1965:** 23004, 23005, 23003; **1966:** 23009, 23007, 23011, 33623690; **1967:** 23010, 23012, 23016; **1968:** 22955, 15532, 3177445, 15516, 23018, 2433612; **1969:** 15517; **1970:** 3177443; **1971:** 15403, 2184342, 33563745, 33563705, 1411589; **1972:** 3177440; **1973:** 1408506, 1411584, 1411585, 1411582, 1411583; **1974:** 1397120, 3307207, 33563516; **1975:** 1909839, 33563584, 33563570, 33563510, 101576, 33563508; **1977:** 1411579, 1908635; **1984:** 1090295; **1990:** 1411565; **1994:** 23116, 1290486; **1995:** 1909353; **2003:** 1290486, 1912994; **2006:** 1408490.

1. R. L. Mössbauer: Kernresonanzfluoreszenz von Gammastrahlung in Ir^{191} . *Z. Phys.* **151** (1958) 124–143.
2. R. L. Mössbauer: Kernresonanzabsorption von Gammastrahlung in Ir^{191} . *Naturwissenschaften* **45** (1958) 538–539.
3. R. V. Pound, G. A. Rebka, Jr.: Resonant absorption of the 14.4-keV γ ray from 0.10- μ sec Fe^{57} . *Phys. Rev. Lett.* **3** (1959) 554–556.
4. J. P. Schiffer, W. Marshall: Recoilless resonance absorption of gamma rays in Fe^{57} . *Phys. Rev. Lett.* **3** (1959) 556–557.
5. Blazsó T.: Mössbauer effektus a Cu_3Au ötvözetben. *KFKI Köz.* **12** (1964) 447–451.
6. W. Kerler, W. Neuwirth, E. Fluck, P. Kuhn, B. Zimmerman: Untersuchung komplexer und kovalenter Eisenverbindungen mit Hilfe des Mössbauer-Effekts von Fe^{57} . *Z. Phys.* **173** (1963) 321–346.
7. K. S. Singwi, A. Sjölander: Resonance Absorption of Nuclear Gamma Rays and the Dynamics of Atomic Motions. *Phys. Rev.* **120** (1960) 1093–1102.
8. A. Vértes, D. L. Nagy (editors): *Mössbauer spectroscopy of frozen solutions*. Akadémiai Kiadó, Budapest (1990).
9. S. L. Miller: A Production of Amino Acids under Possible Primitive Earth Conditions. *Science* **117** (1953) 528–529.
10. H. Frauenfelder, D. E. Nagle, R. D. Taylor, D. R. F. Cochran, W. M. Visscher: Elliptical Polarization of Fe^{57} Gamma Rays. *Phys. Rev.* **126** (1962) 1065–1075.
11. F. Tanczikó, L. Botyán, L. Deák, D. G. Merkel, D. L. Nagy: Sign determination of the hyperfine field by elliptically polarized Mössbauer source. *Hyperfine Interact.* **188** (2009) 79–84.

»OTT FENN A HEGYEN«

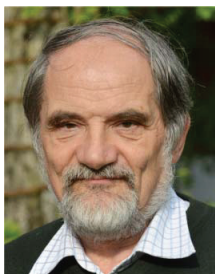
– EMLÉKEZÉS KESZTHELYI LAJOSRA

Szőkefalvi-Nagy Zoltán
Wigner Fizikai Kutatóközpont

Keszthelyi Lajos atomfizikus, magfizikus, biofizikus, vagy tömören fizikus, a Jóistentől kapott talentumokat eredeti, iránymutató gondolataival, új tudományos kutatási témák sokaságának kezdeményezésével, azok kiemelkedően eredményes művelésével és kutató nemzedékek nevelésével hálálta meg. Míg a 75. és 80. születésnapja alkalmából, az utóbbikor *Ormos Pállal* együtt, nagy örömmel méltathattam a *Fizikai Szemlében* Lajos munkásságát, most elvesztése készített arra, hogy emlékező cikket írjak arról az tudósról és barátról, aki – *Bencze Gyula* szavaival élve – „két-szer jutott fel a csúcsra”. Ez a kifejezés az első „hegymászásra” kétszeresen is találó, mivel az odavezető tudományos eredményeket Csillebércen, a városszer- te röviden csak KFKI néven ismert intézetben érte el. Írásomban tudományos munkásságának erről a szak- száról adok tömör áttekintést, személyes emlékeket sem nélkülözve. Az áttekintés nem terjed ki a Möss- bauer-effektus témakörére. Mivel valamennyi ötleté- nek, eredményének pusztá felsorolása is meghaladná a megengedett terjedelmet, meg kell elégednem, hogy azokról adok rövid összefoglalást, amelyeket – egy feljegyzése szerint – Ő is fontosnak tartott.

Lajos több mint két évtizedig az MTA Központi Fizikai Kutató Intézet, majd a KFKI Részecske- és Magfizikai Kutató Intézet meghatározó hatású szemé- lyisége volt, és ebből a hatóerejéből mit sem veszítve, húsz év után kötötte újból szorosra kapcsolatát az intézettel. 2008-as visszaemlékezésében erről így írt: „Számomra nagy örömet jelentett, hogy első munka- helyemre visszatérhettem. Professor Emeritus Instituti lettem annak jogaival és kötelezettségeivel. A jog fize- tés, ebédjegy, szoba, komputer, szóval minden, ami a jó érzéshez, a jó munkához kell. Egyik első kötelezett- ség: előadás az októberi Simonyi-szemináriumon. A *Mössbauer-effektus kezdetei Magyarországon* címmel

A cím *Szilvási Lajos* 1967-ben megjelent, azonos című regényére utal. Főszereplője egy, a KFKI-ban dolgozó (képzeletbeli) atom- fizikus. A mű nem csupán a nagyközönség körében, hanem a KFKI- ban dolgozók között is népszerű volt.



Szőkefalvi-Nagy Zoltán Eötvös József-koszorús fizikus, a Wigner Fizikai Kutatóközpont kutató professor emeritusa, az Állatorvostu- dományi Egyetem magántanára. 1962-ben végzett az ELTE fizikus szakán. Kutatómun- kája lényegében mindvégig a KFKI Van de Graaff-gyorsítójához kötődött. Előbb mag- spektruskópiái méréseket végzett, majd innyaláb-analitikai módszerekkel fémtar- talmú fehérjék nyomelemtartalmát, illetve COST-akciók keretében kulturális örökségi tárgyak elemösszetételét vizsgálta.

beszéltem. Lényegében 20 éve hagytam ott a KFKI-t, ennyi távollét után tértem vissza.” Azt már nem köte- lességből tette, hogy a régi KFKI-s kutatók számára szinte azonnal rendszeres veterántalálkozókat szerve- zett, hogy az ott elhangzó előadásokból megismerjék a korábbi intézeteikben folyó munkát és üdvözölhes- sék egymást.

Nevét, mint az *Atomok és atomi részecskék* című könyv szerzőjét már gimnazista koromban megismer- tem, ezért harmadéves egyetemi hallgatóként nagy örömmel fogadtam, hogy azok listáján, akiket *Pál Lénárd* professzor alkalmasnak tartott, hogy hetente feljárjanak a Központi Fizikai Kutató Intézetbe ismer- kedni a tudományos kutatómunkával – nevem mellett ez állt: „jelentkezzen ekkor és ekkor Keszthelyi Lajos- nál, a Magfizikai 1. Laboratórium vezetőjénél”. Ő na- gyon kedvesen fogadott. Megbeszéltük, hogy a hét melyik napján járjak fel, és rögtön „be is szállásolt” két munkatársa szobájába. Az alkalmat arra is kihasz- nálta, hogy pár szóban megvitassa az éjjeli Möss- bauer-mérések eredményeit, megmutatva nekem is a legújabb spektrumokat. Sokat nem értettem belőlük, de a „lefagyasztott oldat” szavakra világosan emlék- szem. Akkor nem is sejtettem, hogy ez a nap egy élet- re szóló kapcsolat kezdete lesz. Talán azért, mert is- merkedő hallgatóként jó benyomást keltettem, a kö- vetkező évben vállalta az általa célzottan kiírt *g-fakto- rok mérése és belső mágneses terek vizsgálata Cou- lomb-gerjesztéssel* című diplomamunka témavezetési- sét. Azt, hogy a címben foglaltak jelentéséről lényegé- ben fogalmam sem volt, valamennyire menthette, hogy kiderült, ez teljesen új kutatási téma, és szakdol- gozatom lett az első, bár ebben a formájában nem közölt írásos nyoma a témában elért eredményeknek. Végzés után felvételt kaptam a vezetése alatt álló Magfizika 1 Labortóriumba. Az idő múlásával kapcsola- tunk egyre szorosabbá vált, közelebb kerültünk egymáshoz. Tanítványból munkatárs lettem, majd azzal tisztelt meg, hogy barátjává fogadott. Az utolsó 10 évben pedig már VBTT-jévé, azaz Valóságos Belső Titkos Tanácsosává avanszáltam, és a legnagyobb megbecsülésnek éreztem, hogy tanácsaimat többnyire megfogadta, ezzel jelezve azt is, hogy a világ számos dolgaról hasonlóan gondolkodunk.

Keszthelyi Lajos kutatási stratégiája problémairá- nyítottságú volt. Kereste és jó érzéssel megtalálta azokat az érdekes problémákat, amelyek megoldása nemzetközi érdeklődésre számíthatott és a megoldá- sokhoz szükséges kísérleti eszközök is elérhetők vol- tak. De szívesen fogadott más tudományterületekről

érkező problémafelvetéseket is, különösen, ha azok megoldásához az RMKI-ban meglévő tudás és eszközpark érdemben hozzá tudott járulni. Így az intézet kutatómunkájában folyamatosan részt tudott venni akkor is, amikor idejének nagy részét már a Szegedi Biológiai Központban, az SZBK-ban töltötte. Szobája mindig várta, neve benne volt az intézet házi telefonkönyvében, és állandó belépője megmaradt azokban az években is, amikor semmilyen hivatalos kapcsolata nem volt az intézettel. A kevéssé tájékozottak számára Ő mindig KFKI-s maradt.

Vezetőként számára a munka és az elért eredmény volt a döntő. Ha valaki ezekben megfelelt, akár pingpongozhatott is az 3-as épület alagsorában elhelyezett asztalon, persze csak a sugárveszélyes munkaidő letele után. A pingpongszettekba gyakran, szívesen és eredményesen bekapcsolódott.

A témák munkáját (akkoriban így nevezték a kutatócsoportokat) rendszeres témabeszámolók keretében folyamatosan nyomon követte. Az érdemi beszámoló és vita végén ígéreteket kellett tenni, hogy mit terveznek megcsinálni a következő beszámolóig. A ígéreteket az azzal megbízott fiatal gondosan feljegyezte és a legközelebbi beszámoló természetesen azzal kezdődött, hogy Lajos szigorúan számon kérte az ígéreteket. Ha egy szemináriumi előadást unalmasnak tartott, azt onnan lehetett észrevenni, hogy elővett egy cigarettát, rágyújtott és tökéletes anti-dohányos technikával, belégzés nélkül fújta szanaszét a füstöt.

Számon tartotta és különböző módon ösztönözte munkatársai tudományos előmenetelét is. A kandidátusi disszertációt – némi lustaságot tapasztalva – belőlem például azzal az módszerrel „verte ki”, hogy az ígért határidők lejártakor egy-egy üveg Martinivel kellett vezekelnem. De a történethez az is hozzátartozik, hogy 60. születésnapomon egy üveggel megfelve visszaadta a „serkentőket”.

Mindezek ellenére, vagy talán éppen ezért, munkatársai nem csak tisztelték, de szerették is. Többször emlegette, hogy mennyire meglepte és meghatotta az a kitörő taps, amivel 60. születésnapján a köszöntésére összegyűltek fogadták, amikor belépett a terembe, és az azt követő zenés köszöntés.

Keszthelyi Lajos 1950-ben kapott fizikus diplomát és az ELTE Fizikai Intézetébe került demonstrátornak. A oktatás mellett – *Faragó Péter* javaslatára – hozzálátott egy, a világon alig két évvel korábban feltalált szcintillációs számláló megépítéséhez. Néhány hónap múlva felvették aspiránsnak. Mivel témavezetője Faragó Péter lett, a számláló építését a fizetéssel járó aspirantúra keretében folytathatta. Az elkészült antracén szcintilláló kristályos számlálóját β - és γ -sugarak detektálására ki is próbálta és a munkáról előadást tartott Debrecenben a II. Magyar Fizikus Vándorgyűlésen. Az előadás írásos anyaga pedig megjelent a *Fizikai Szemlében* [1]. Ez volt Keszthelyi Lajos első egy szerzős publikációja. A *Gamma sugarak abszorpciója*



Keszthelyi Lajos és felesége Lándori Sára Simonyi Károly emléktáblájánál, a Wigner Fizikai Kutatóközpont 3-as épülete bejáratánál.

*NaI szcintilláló kristályban*¹ című értekezésével 1954-ben megszerezte a fizikai tudományok kandidátusa tudományos fokozatot. Faragó Péter segítségével a KFKI tudományos munkatársa lett a *Simonyi Károly* vezette Atomfizikai Osztályon. Ahogy visszaemlékezésében írta: „Bekerültem a paradicsomba. Kaptam egy kis szobát a hármass épületben, mindjárt a bejárat mellett. Egyedül, egymagamban lehettem benne. Odajártam dolgozni, de közben az Egyetemen laborgyakorlatokat is vezettem.” Amikor 2002-ben a 3-as épület lépcsőjénél lelepleztük Simonyi Károly emlékművét, külön örömet szerzett neki, hogy szeretve tisztelt mestere éppen az első szobája felé néz.

Az első magyarországi szcintillációs detektorok megépítésével, tulajdonságainak minden részletre kiterjedő, gondos felderítésével és ellenőrzésével Keszthelyi Lajos olyan korszerű és hatékony mérőeszközhöz jutott, amelynek birtokában most már saját kezdeményezésű, nemzetközi érdeklődésre számító eredményeket hozó tudományos feladat keresésébe foghatott.

A KFKI Atomfizikai Osztályán körülnézve elhatározta, hogy az akkor már elkészült, K-800 elnevezésű, 800 kV-os gyorsítófeszültség előállítására képes Cockroft-Walton-kaszkádgyorsítót használva magreakciókat fog létrehozni. A kis energiájú, analízatlan protonnyaláb közvetlen használata több okból sem látszott ígéretesnek. Tudta, hogy Simonyi Károly és munkatársai 1951 decemberében még Sopronban, az ott megépített Van de Graaff-gyorsító 450 keV energiájú protonnyalábjával sikeresen hajtottak végre mesterséges atommagalakítást a ${}^7\text{Li}(p,\gamma){}^8\text{B}$ magreakció révén. Ezt a kísérletet a kaszkádgyorsítóval is sikerült reprodukálni és Keszthelyi Lajos számára nyilvánvaló volt, hogy az így keltett nagyenergiájú γ -sugárzás „gamma-forrásként” széles

¹Mai helyesírással: *Gamma-sugarak abszorpciója NaI szcintilláló kristályban*. (szerk.)

körben használható lehet a (γ , nukleon) magreakciók vizsgálatára. Az irodalmat tanulmányozva azt találta, hogy γ -sugárzás segítségével érdemes lenne pontosabban megmérni a $^{127}\text{I}(\gamma, n)^{126}\text{I}$ fotoreakció hatáskeresztmetszetét. A mérésen gondolkodva az az eredeti ötlete támadt, hogy magát a NaI(Tl) szcintillátorkristályban lévő jódatomot használja céltárgynak. Azzal a megoldással pedig, hogy a besugárzás után külön mérőhelyen ugyancsak szcintillációs számlálással megmérték a kristályban a keletkezett ^{126}I magoktól származó aktivitást, nem volt szükség geometriai és önabszorpciós korrekciók figyelembevételére. A kapott 125 ± 6 mbarn hatáskeresztmetszet-értéket összevetve a neutronszámlálást végző mérések eredményeivel, értéket tudtak megadni, igaz elég nagy hibával, a $^{127}\text{I}(\gamma, 2n)^{125}\text{I}$ reakció hatáskeresztmetszetére is. Az eredményekről beszámoló tudományos közlemény 1957-ben megjelent a *Nuclear Physics* folyóirat 2. kötetében. Ez volt az első publikáció, ami Magyarországon mesterségesen gyorsított részecskékel végzett mérésekről rangos nemzetközi tudományos folyóiratban jelent meg [2]. Az ötletet, hogy a kristály anyaga egyszerre céltárgy és detektor, egy másik mérésben is hasznosította. „Gyorsító gamma-sugárforrásával” NaI(Tl), KI(Tl) és CsI(Tl) szcintilláló kristályokat sugárzott be és a $^{23}\text{Na}(\gamma, p)^{22}\text{Ne}$, a $^{39}\text{K}(\gamma, p)^{38}\text{Ar}$, a $^{127}\text{I}(\gamma, p)^{126}\text{Te}$ és a $^{133}\text{Cs}(\gamma, p)^{132}\text{Xe}$ reakciókat tanulmányozta. Ebben a méréstechnikailag sokkal nehezebb méréssorozatban a hatáskeresztmetszetek mellett már protonspektrumokat is mértek, mégpedig oly módon, hogy a mérő számlálók impulzusait oszcilloszkópra vitték és a jeleket filmfelvevővel rögzítették, majd a filmet kivetítve lemérték az amplitúdók magasságát, így határozva meg az amplitúdóspektrumot.

Az ezt követő években munkatársaival egy sor magspektroszkópiai problémát tanulmányozott a Cockroft–Walton-kaszkádgenerátor nyújtotta lehetőségek kihasználásával, de előtte még tett egy érdekes tematikai kitérőt a paritássértés felfedezése okozta izgalmas hangulatban. *Zimányi Józseffel*, az első olyan fiatal fizikussal, akit demonstrátorként tanított az egyetemen, meghatározták a ^8Li bomlása során keletkező β^- részecskék polarizációját a részecskék által Pb-abszorbensben keltett fékezési sugárzás cirkuláris polarizációjának mérésével. A radioaktív ^8Li atommagot a kaszkádgenerátorral kiváltott $^7\text{Li}(d, p)^8\text{Li}$ magreakcióval hozták létre. Eredményük az irodalomban közölt (β^- – antineutrínó) szögkorrelációs mérés eredményével együtt megerősítette, hogy az antineutrínó helicitása pozitív, azaz spinje mozgása irányával párhuzamos [3]. Bizonyára nem sejtette, hogy majd egyszer a biológiai aszimmetria jelensége miatt fordul újra a figyelme a gyenge kölcsönhatás felé.

1962-ben megszerezte a fizikai tudományok doktora fokozatot. Az értekezés azon mérések eredményeit foglalta össze, amelyekben munkatársaival a ^{12}C , az ^{16}O és a ^{20}Ne $N = Z$ típusú páros-páros atommagok γ -átmeneteit vizsgálta. Többek között megmérte a ^{12}C

mag 16,1 MeV energiájú gerjesztett állapotából az alapállapotba vezető E2-átmenet valószínűségét és a 4,43 MeV energiájú első gerjesztett állapotba vezető M1-átmenet valószínűségét. A ^{12}C mag ismert γ -átmeneteit összehasonlítva azt találta, hogy az átmenetek felgyorsulnak kollektív hatást mutatva. Az ^{16}O mag esetében a 15,55 MeV energiánál mások által talált nívó létezését vizsgálva kimutatta, hogy – amennyiben ez a nívó egyáltalán létezik – szélessége nagyobb 150 keV-nál, ellentétben az irodalomban talált állítással, miszerint a szélesség legnagyobb értéke 70 keV lehet. A ^{20}Ne mag esetében megállapította, hogy a 13,86 MeV energiájú nívó spinje és paritása 2^- és a $^{19}\text{F}(p, \gamma)^{20}\text{Ne}$ reakció átmeneti valószínűsége legalább $6 \cdot 10^{-5}$ -szer kisebb, mint az $^{19}\text{F}(p, \alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ reakció átmeneti valószínűsége [4–6].

Az üzembe állított 2,5 MV-os Van de Graaff-gyorsító analízált, finoman állítható és jó energiafelbontású nyálbja és a sokkal jobb energiafelbontású Ge(Li) detektorok lehetőséget teremtettek az akkoriban felfedezett izobár analóg rezonanciák tanulmányozásába való bekapcsolódásra. Ezen rezonanciák struktúrájának részletesebb meghatározásához a protonok rugalmas és rugalmatlan szórásán kívül e rezonanciák gamma-sugárzással való bomlását is vizsgálni kellett. Keszthelyi Lajos és munkatársai a $^{48}\text{Ti}(p, \gamma)^{49}\text{V}$ reakcióban az 1,007–1,013 keV protonenergiáknál lévő kettős, és az 1,361 keV protonenergiánál lévő egyedüli analóg rezonanciák γ -sugárzás spektrumainak részletes tanulmányozásáról szóló közleményükkel tették le névjegyüket a témában. Elágazási arányokat, vonalszélességeket mértek és hasonlítottak össze elméleti jóslatokkal [7].

Bár a magspektroszkópiai mérések során többször kihasználták a szögeloszlás- és szögkorreláció-mérések szolgáltatotta lehetőségeket a vizsgált gerjesztett állapotok spinjének, paritásának meghatározására, a mágneses nyomatékok úgynevezett perturbált szögkorrelációs (PAC) módszerrel elvégezhető mérésére – az ehhez szükséges erős mágnes hiányában – nem is gondolhattak. De, ahogy Keszthelyi Lajos visszaemlékezve elmesélte: „Egy őszi délutánon, valószínű, hogy 1963-ban, a könyvtárban ülve olvastam valamit, talán elméláztam, és hirtelen eszembe jutott, hogy az akkoriban már ismert belső mágneses terek igen nagyok például a vasba beötvözött aranyatommagok helyén. Ilyesmit már lehetett tudni a Mössbauer-effektusból, amellyel már intenzíven foglalkoztunk. Azt is tudtam ... hogy az atommagok gerjesztett állapotainak van mágneses nyomatéka, amely mágneses térben elfordul. Kapcsoljuk össze a két jelenséget! Forgassuk el a mágneses nyomatékot a belső térrel. Kiválasztottam az atommagot, arany-197, amelyet neutronbesugárzással arany-198-cá lehet alakítani. Bomlaskor higany-198 lesz, amely két gamma-sugarat bocsát ki egymás után. A két gamma között szögkorreláció van, amely a mágneses kölcsönhatás alkalmából elfordul. Ezt kell megmérni.” És megmérték. Ezzel egy újabb kutatási irány indult el, a g-fak-

torok mérése belső mágneses térrel (a g -faktor itt a gerjesztett magállapot spinje és mágneses nyomatéka közötti arányszám). De a mérésről beszámoló, a *Physics Letters* folyóirat 1964. február elsején megjelent *Measurement of the g -factor of the 412 keV state in Hg^{198}* című cikk [8] tudományos értékén túl, döntő változást hozott Keszthelyi Lajos életében. Minden ismeretség, személyes kapcsolat nélkül 1967-ben a szervezők meghívták a *Hyperfine Structure and Nuclear Radiations* konferenciára. Már elmúlt 40 éves, amikor először jutott ki Amerikába, és találkozhatott azokkal a fizikusokkal, akiknek addig csak a nevét ismerte. Tartós szakmai kapcsolatok jöttek létre, idővel életre szólóvá váló barátságok kezdődtek, végre személyesen is bekerült abba tudományos világba, ahová már régen tartozott. Az elgondolást kiterjesztette a néhány MeV energiájú protonokkal történő Coulomb-gerjesztés esete is, ahol egyszerűen a bombázó nyaláb irányához képesti szögeloszlás hiperfinom tér okozta elfordulását kell mérni [9]. Módszerei egyúttal új lehetőséget adtak a ferromágneses ötvözetekben fellépő nagy belső (hiperfinom) mágneses terek tanulmányozására.

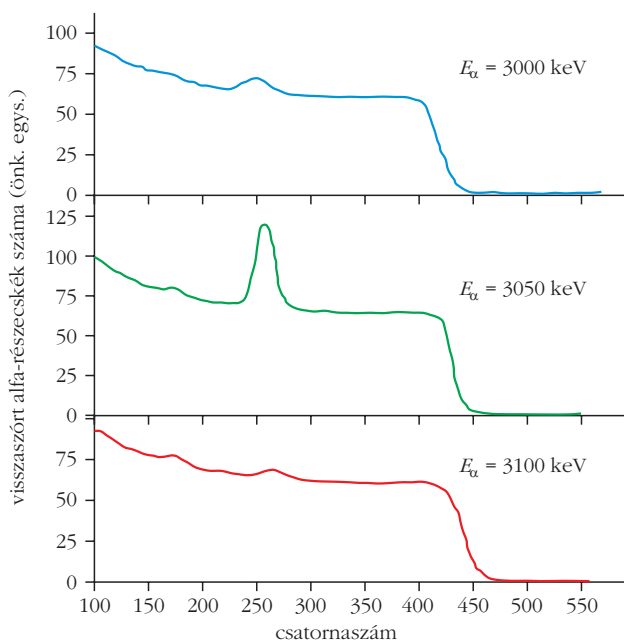
A KFKI-ban 1971-ben elindult *Ionimplantációs kutatások célprogram* keretében munkacsoport alakult Keszthelyi Lajos vezetésével, többek között azzal a céllal, hogy ion-visszaszórásos technikával ellenőrizni lehessen az implantált ionok mennyiségét, mélységi eloszlását. Erre a célra a széles körben használt alfa-részecskés Rutherford-visszaszórás (RBS) nagyon érzékeny akkor, ha könnyebb, kisebb rendszámú mátrixban nehezebb elemeket kell kimutatni. De a – több szempontból fontos – szilíciumlapkák felületi oxidrétegei esetében éppen fordított a helyzet, ahol a könnyebb oxigénatommagokról visszaszórt alfa-részecskék okozta csúcs alig emelkedik ki a nehezebb, fő alkotóelem szilíciumtól származó nagy, folytonos háttérből. Keszthelyi Lajos korábbi magfizikai olvasmányaiból emlékezett arra, hogy az $^{16}\text{O}(\alpha, \alpha)^{16}\text{O}$ rugalmas szórásban van egy sokkal nagyobb hatáskeresztmetszetű keskeny rezonancia 3,05 MeV környékén, aminek kihasználásával az oxigén kimutatási érzékenysége legalább egy nagyságrenddel megnövelhető. Az 1. ábra mutatja az ötlet használhatóságát. Pontosan nem világos „tudománypolitikai” okok miatt az eredmény sajnos csak egy szűkebb körű rossendorfi konferencia kiadványában jelent meg [10]. Bár Lajos így nem arathatta le a világhíresség dicsőségét, de az eljárás széles körben elterjedt.

A részecskék keltette karakterisztikus röntgensugárzás (PIXE) magyarországi meghonosítását – egyre növekvő szegedi elkötelezettsége miatt – már inkább csak felügyelőleg figyelte, de azonnal „kapcsolt”, amikor olyan biológiai problémával találkozott, vagy találták meg Őt, amelynek megoldásához érdembeli hozzájárulást látott az RMKI Van de Graff-gyorsítója nyújtotta mikroanalitikai lehetőségtől. Ilyen eset volt például, amikor az SZBK-ban arra voltak kíváncsiak,

hogy a szóba jöhető Mn-, Fe-, Cu- és Zn-ionok közül melyik van kötve az *Anacystis nidulans* nevű algából preparált szuperoxid dizmutáz metalloenzim (SOD) aktív centrumában. Ez az enzim alapvető szerepet játszik a sejtek – erősen mérgező, negatív O_2 szabad gyökök elleni – védekező mechanizmusában. A 2 MeV energiájú protonbombázással kapott PIXE-spektrumokból egyértelműen kiderült, hogy ez a SOD enzim vasat és csak vasat tartalmaz. Az oldatban lévő vas mennyiségét tömegszázalékban ugyan egyszerűen meg lehetett kapni, de Keszthelyi Lajos a biokémikusok számára hasznosabb adatra, a fehérjemennyiségre vonatkoztatott vasmennyiségre volt kíváncsi. A gyakorlatban ez azt jelentette, hogy ugyanazon a mintán a $^{14}\text{N}(\text{d}, \text{p})^{15}\text{N}$ reakció segítségével megmérte a nitrogéntartalmat, és így egy elfogadott szorzót használva a fehérjetartalmat. Ezt a megközelítést el is nevezte PIXE-RP módszernek [11].

Utolsó közös cikkünk 1985-ben jelent meg *Control of the trace element content of agricultural products by X-ray spectrometry* címmel a magyar kísérleti magfizika úttörőjének, Szalay Sándor professzornak ajánlva 75. születésnapja alkalmából az *Acta Physica Hungarica* folyóiratban [12]. Annak a Szalay Sándornak, aki egyik opponense volt Keszthelyi Lajos kandidátusi értekezésének, és amikor a balatonvilágosi MTA-üdülőben megkérdezte tőlem, hogy hol fogok dolgozni, válaszomra, hogy Keszthelyi Lajosnál azt mondta, nagyon jó, mert Ő a legjobb kísérleti magfizikus a fiatalok között! A visszaemlékezést Keszthe-

1. ábra. Az alfa-részecskék ^{16}O atommagokon való rugalmas szórásakor 3050 keV energián jól ismert rezonancia található, amely lehetővé teszi az oxigénionok mennyiségének pontosabb meghatározását. Az ábra a szilícium-oxidról visszaszórt alfa-spektrumokat mutat a rezonancia alatt, a rezonancián és felette. Az oxigén csúcs területe a rezonancián mintegy tízszer nagyobb, mint azon kívül (a [10] 2. ábrája alapján készült).



lyi Lajos 2007-ben, az Akadémiai Aranyérem átvétele után mondott szavainak idézésével zárom:

„Végül feleségemről mondok néhány szót. Ő közreműködött abban, hogy első munkám során barkácsolt szcintillációs számlálókából a Gamma gyárban és újabban a Mediso cégben, természetesen nagymértékben továbbfejlesztve, ipari termék lett. A Mediso ebben az évben nyerte el az Innovációs Nagydíjat. Valahogy így jutunk el az ideáktól a realitásig.”

Irodalom

1. Keszthelyi L.: Szcintillációs számláló antracénnel. *Fizikai Szemle* 2 (1952) 93–96.
2. J. Erő, L. Keszthelyi: Cross section of the $^{127}(\gamma, n)^{126}$ reaction. *Nucl. Phys.* 2 (1956) 371–381.
3. L. Keszthelyi, J. Zimányi: Polarisation of β -particles in ^8Li -decay. *Il Nuovo Cimento Serie X*, 10 (1958) 909–910.
4. L. Keszthelyi, I. Fodor: Investigation of the 16,1 MeV excitation level of C^{12} . *Nucl. Phys.* 10 (1959) 564–570.
5. L. Keszthelyi, I. Berkes, I. Demeter, I. Fodor: Energy dependence of the cross section of the nuclear reaction $\text{O}^{16}(\gamma, n)\text{O}^{15}$. *Nucl. Phys.* 23 (1961) 513–517.
6. L. Keszthelyi, I. Berkes, I. Demeter, I. Fodor: Resonances in $\text{F}^{19} + \text{p}$ reactions at 224 and 340 keV proton energies. *Nucl. Phys.* 29 (1962) 241–251.
7. I. Fodor, I. Demeter, L. Keszthelyi, I. Szentpétery, Z. Szőkefalvi-Nagy, J. Szűcs, L. Varga, J. Zimányi: γ -ray spectra of analogue resonances in the $^{48}\text{Ti}(\text{p}, \gamma)^{49}\text{V}$ reaction. *Nucl. Phys.* 2. A116 (1968) 167–176.
8. L. Keszthelyi, I. Berkes, I. Dézsi, B. Molnár, L. Pócs: Measurement of the g-factor of the 412 keV state in Hg^{198} . *Physics Letters* 8 (1964) 195–196.
9. L. Keszthelyi, I. Demeter, Z. Szőkefalvi-Nagy, L. Varga: g-factors of Coulomb excited states of nuclei in alloys. In: *Hyperfine Structure and Nuclear Radiation* (szerk: E. Matthias, D. A. Shirley). North Holland Publishing Co. (1968) 1–198.
10. L. Keszthelyi, I. Demeter, G. Mezey, Z. Szőkefalvi-Nagy, L. Varga: Backscattering investigation on silicon. Proceedings of the international meeting on ion implantation in semiconductors. Rossendorf, May 29–31. *ZfK – 236* (1972) 111–112.
11. L. Keszthelyi, L. Varga, I. Demeter, K. Hollós-Nagy, Z. Szőkefalvi-Nagy: Elemental analysis of samples of biological origin relative to their protein content by means of charged particle bombardment. *Anal. Biochem.* 139 (1984) 418–426.
12. L. Keszthelyi, I. Demeter, K. Hollós-Nagy, Z. Szőkefalvi-Nagy: Control of the trace element content of agricultural products by X-ray spectrometry. *Acta Physica Hun.* 58 (1985) 101–105.

KESZTHELYI LAJOS ISMERKEDÉSE A BAKTERIORODOPSZINNAL

Ormos Pál

Szegedi Biológiai Kutatóközpont, Biofizikai Intézet

Keszthelyi Lajos az MTA frissen alapított Szegedi Biológiai Központ (SZBK) Biofizikai Intézetébe – először részmunkaidőben – 1972-ben került. Ekkor a biológiai homokiralitás eredetének a felderítésére irányuló kutatásokba kapcsolódott be. A kezdetben ígéretesnek tűnő kísérletek egyre alaposabb megismétlésével, új megközelítések kezdeményezésével kiderült, hogy az aszimmetria eredetére vonatkozó korábbi elképzelések nem magyarázzák a jelenséget, az időközben kidolgozott elméleti modellek is ezt támasztották alá. Mindezek következményeként ez továbbra is a megválaszolandó kérdések egyike maradt. Lajos érdeklődése így az Intézetben akkoriban indult kutatási téma, a bakteriorodopszin nevű, fény hajtotta protonpumpa kutatása felé fordult.



Ormos Pál 1975-ben végzett fizikusként a szegedi József Attila Tudományegyetemen. Biofizikus kutató, az MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpont Biofizikai Intézetének kutatóprofesszora. 2010 és 2017 között a kutatóközpont főigazgatója volt. 1998-ban választották az MTA levelező tagjává, 2004 óta az MTA rendes tagja. Kutatási területe a fehérjék szerkezet-működés kapcsolata, a biológiai energiaátalakítás, illetve az optikai manipuláció fejlesztése és biológiai alkalmazása.

A hamarosan megszületendő, nagy figyelmet keltő eredmények ismertetése előtt néhány szót kell ejteni a téma (akkori) időszerűségéről. A hatvanas-hetvenes évek nagy bioenergetikai forradalma a biológiai energiaháztartás elveire javasolt új szabály, a Mitchell-féle kemiozmotikus hipotézis [1, 2] és annak fokozatos elfogadása, térnyerése volt. A *Peter Mitchell* által a hatvanas években javasolt általános elv szerint a biológiai rendszerekben az energiát termelő, illetve energiát felhasználó egységek között az energetikai kapcsolatot az ionok membrán két oldala közötti koncentrációkülönbségéből eredő elektrokémiai potenciál energiája létesíti. Az új képben kiemelt fontosságot kaptak a térrészeket elválasztó biológiai membránok, valamint a membránon keresztüli iontranszportot megvalósító csatornák, és döntően az aktív ionpumpák. Az elv maga egy fenomenológiai kép, megvalósulása az ionpumpákon, speciális, membránhoz kötött struktúrákon keresztül történik. A létező biológiai transzportrendszerek igen bonyolultak, valamint a releváns folyamatok meglehetősen összetettek lehetnek, ezért az általános elv elfogadása sokáig tartott – de a szakma az elvet, illetve a szerző munkáját végül 1978-ban, a Peter Mitchellnek egy személyben odaítélt kémiai Nobel-díjjal ismerte el. Az elv közzété-

tele és elfogadása óta, jelenleg is a membránon keresztüli iontranszport mindenféle megjelenése nagyon fontos biológiai folyamat. Az ionok között kiemelt szerepe van a protonnak, hiszen ebből nagyon sok van a vízben. A továbbiakban tárgyalt bakteriorodopszin ilyen aktív transzmembrán protonpumpa: fényelnyelés hatására protont pumpál a membránon keresztül, akár koncentrációkülönbséggel szemben is.

A bakteriorodopszin a hetvenes évek elején fedezték fel [3]. Egy *Halobacterium salinarum* nevű arhcae sejtmembránjának egyes tartományai a környezetüktől markánsan elkülönültek, bíbor színűek voltak, és igen merev, korongszerű darabkákat képeztek: bíbormembrán-fragmentumoknak (Purple membrane fragments) nevezték el őket. A hetvenes évekre esik részletes kezdeti jellemzésük: kiderült, hogy a membrándarabkákból egyetlen fehérje található, ez adja tömegük körülbelül 70%-át, a maradék 30%-ot a membrán szerkezetét biztosító lipidmolekulák teszik ki. Az említett fehérje pedig a bakteriorodopszin (bR). Ez egy, a szem látóbíborjához hasonló fehérje-festék komplex (innen a neve is): hét, a membránt keresztül érő α -helix és a kovalensen hozzá kapcsolódó retinal festékmolekula komplexe – ez utóbbi adja a molekula alapállapotának bíbor színét. Észrevették, hogy fény hatására a molekula reakcióláncon halad végig: meghatározott, spektroszkópiailag jól jellemezhető köztes állapotokon halad végig, és végül kiindulási állapotába jut vissza. A reakciósor sémája, illetve a köztes állapotok jelölése a következő: $bR \rightarrow K \rightarrow L \rightarrow M \rightarrow O \rightarrow bR$. E reakciósort értelemszerűen a bakteriorodopszin fotociklusának nevezzük. Az is kiderült, hogy a molekula a fotociklus során protont pumpál a sejtől a sejtön kívüli térbe, mégpedig fotociklusonként egyet. A pumpálás eredményeként a sejtön belüli protonkoncentráció lecsökken, és a kialakult koncentrációkülönbség szolgáltatja az energiát a sejt energiaigényes folyamataihoz.

A bakteriorodopszin tehát sok előnyös tulajdonsággal rendelkezett ahhoz, hogy a Mitchell-féle kemiozmotikus hipotézis jól vizsgálható modellrendszere legyen, fontos szerepe volt a hipotézis elfogadásában is. A protonpumpát fénnel lehet gerjeszteni, hajtani, illetve a működését spektroszkópiailag lehet követni. Egyetlen molekula végzi a protontranszportot, tulajdonképpen egyszerű energiaátalakító rendszer – ellentétben például az összetett zöld fotoszintézissel. Ilyen okok miatt optimális objektum arra, hogy fizikusok a biológiai energiaátalakítás elemi folyamatait vizsgálják.

Az MTA SZBK Biofizikai Intézetében korán bekapcsolódtunk a bakteriorodopszin protonpumpa kutatásába. Én magam 1975-ben végeztem az egyetemen, és az SZBK-ba kerülve e folyamat részese lettem. A kezdetben alkalmazott megközelítésünk az volt, hogy lipid modellmembránokba beépítettük a bakteriorodopszint tartalmazó bíbormembrán-darabkákat, és elektromos úton, a fény által keltett elektromos feszültség

és áram formájában, követtük a protonpumpa működését a membrán két oldala között. Ilyen típusú fotoelektromos méréseken alapultak első saját kísérleteim, néhány jól fogadott közleményt eredményeztek, mielőtt Keszthelyi Lajos munkatársa lettem.

E bevezető után visszatérünk Keszthelyi Lajos bekapcsolódásába a bakteriorodopszin kutatásába, hogyan termékenyítette meg Lajos személyisége, tehetsége, tudományos előélete, eredeti szemlélete az Intézet ilyen irányú tevékenységét. Áttanulmányozván a bakteriorodopszin protonpumpa működésére vonatkozó ismereteket, Lajos egyszerű kísérletet talált ki a protonpumpa jellemzésére. Utólag úgy gondolom, alapvető koncepciója az volt, hogy olyan kísérletet végez, amely új ismereteket eredményez, egyúttal a rendszert is jobban megismeri. Közvetett kísérletekből az a vélemény alakult ki, hogy pumpáláskor, a fénygerjesztés nyomán, a fotociklus során a molekula a membrán egyik oldalán először lead egy protont, majd a másik oldalról felvesz egyet. Arról semmit sem lehetett tudni, ez milyen időzítéssel történik. Lajos úgy gondolta, hogy a bíbormembrán-fragmentumok szuszpenziójában, ahol nincs elkülönítve a membrán két oldala, a proton leadás-felvétel lépései az oldat vezetőképességének átmeneti megnövekedését kell okozzák. A vezetőképesség változásának időfüggése pedig közvetlen információt ad a folyamat időzítéséről. A kísérlethez rendkívül egyszerű mérési elrendezést állított össze: vett egy körülbelül 2 mm belső átmérőjű rugalmas szilikoncsövet, ezt átszurta két vékony platinahuzallal (ezek egymástól körülbelül 1 cm távolságra voltak), ezek szolgáltak elektródául a vezetőképesség méréséhez. 10 V nagyságrendű feszültséget kapcsolt a két elektródára, és mérte a feszültség rákapcsolásakor, illetve a fényimpulzus-gerjesztés nyomán ébredő áramot. A remélt egyszerű jelek helyett összetett, bonyolult időbeli lefutású áramjeleket tapasztalt, több, különböző előjelű komponenst, amelyeket nem tudott értelmezni az addigi kép alapján. Mindenesetre a bonyolult jelalak összetett okozó jelenségre utalt, úgyhogy elhatározta, szisztematikus vizsgálatba kezd. A következő, alapos vizsgálatok során először utánajárt, mi történik a mintában az elektromos tér bekapcsolásakor. Ezután a fényimpulzus által keltett elektromos jelenségek részletes tanulmányozása következett – és gyakorlatilag élete hátralevő részében ezzel foglalkozott. Utolsó közleménye 2022-ben (elhunyta évében, 95 éves korában) jelent meg, ebben a témakörben [4].

A következőkben Keszthelyi Lajos két úttörő és kulcsfontosságú közleményében leírtak szerint ismertetem a bakteriorodopszin protonpumpa kutatásainak indulását [5, 6]. A leírás támaszkodik a levelező taggá választásakor tartott székfoglaló előadásának anyagát leíró művére is – ez utóbbi lényegesen nagyobb területet dolgoz fel [7]. Az ábrák is e forrásból származnak.

A kezdeti kísérletekben tehát a bíbormembránfragmentumok vizes szuszpenziójára kapcsolt feszültség által kiváltott furcsa áramjel eredetét tárta fel. A válasz a bíbor membrán fizikai tulajdonságain alapult. E membránfragmentumok tulajdonképpen merev korongok: átmérőjük átlagosan 500, vastagságuk 5 nm. A vízben rendezetlenül elhelyezkedő membrándarabkák elektromos tér hatására rendeződhetnek, mégpedig alapvetően kétféle módon. 1) A membrán felületén levő töltésekkel szemben elhelyezkedő árnyékoló töltéseket az elektromos tér elmozdítja, ily módon dipólmomentumot indukál, és ezen keresztül a részecskéket rendezi. 2) A részecskéknél lehet permanens dipólmomentumuk is, és a rendezés alapja ez is lehet. A kísérletek azt mutatták, hogy a membrándarabkáknak van permanens dipólmomentuma, és ez a membránra merőleges irányú. Ezen kívül indukált dipólmomentumuk is van, ennek iránya a felület síkjában helyezkedik el. A részecskék rendezését optikai úton, a lineáris dikroizmus mérésével jellemezte. Ha a minta rendezettségében változás áll be, az a lineárisan poláros fényre vonatkozó fényelnyelés változásával az alábbiak szerint követhető:

$$\frac{\Delta A_{\perp}}{A} = -\frac{1}{A} \log \left(1 + \frac{\Delta I_{\perp}}{I} \right) = \Phi(E) \left(\frac{3}{2} \sin^2 \theta - 1 \right), \quad (1)$$

$$\frac{\Delta A_{\parallel}}{A} = -\frac{1}{A} \log \left(1 + \frac{\Delta I_{\parallel}}{I} \right) = \Phi(E) (3 \cos^2 \theta - 1), \quad (2)$$

ahol $\perp$ és $\parallel$ jelöli az optikai mennyiségeket, ha a fény polarizáció síkja merőleges vagy párhuzamos a rendező elektromos térrel. $A = \log(I_0/I)$ a minta abszorpciója, $\Delta I_{\perp}$ és $\Delta I_{\parallel}$ pedig a fényintenzitás változása az elektromos tér hatására. A bakteriorodopszin-molekulában a látható színek tartományban a retinál a fényelnyelő egység, amelynek átmeneti dipólmomentumvektora és a korongok normálisa közötti szög θ . $\Phi(E)$ pedig az elektromos térerősségtől függő orientációs függvény. A $\Phi(E)$ függvény – ha az orientálódó részecskék korong alakúak, valamint a permanens és indukált dipólmomentumok egymásra merőlegesek (mint esetünkben) – a következő alakot veszi fel [8]:

$$\Phi(E) = \frac{3}{4\gamma} \left[\frac{\beta^2}{2\gamma} + 1 + e^{-\left(\frac{\beta^2}{4\gamma} + \gamma\right)} \left\{ \frac{\beta}{2\sqrt{\gamma}} (e^{-\beta} - e^{+\beta}) - \sqrt{\gamma} (e^{-\beta} - e^{+\beta}) \right\} \right], \quad (3)$$

ahol

$$I = \int_{t_1}^{t_2} e^{-x^2} dx.$$

A betűk jelentése pedig a következő:

$$\gamma = \frac{\alpha E^2}{k T},$$

ahol α a polarizálhatóság, k a Boltzmann-állandó és T a hőmérséklet;

$$\beta = \frac{\mu E}{k T},$$

itt μ a permanens dipólmomentum;

$$x = \sqrt{\gamma} u - \frac{\beta}{2\sqrt{\gamma}}, \quad t_1 = -\sqrt{\gamma} - \frac{\beta}{2\sqrt{\gamma}}, \quad t_2 = \sqrt{\gamma} - \frac{\beta}{2\sqrt{\gamma}}$$

és u integrációs változó.

A nagy orientáló térre vonatkozó határesetek:

ha $\beta = 0$ (csak indukált dipólmomentum van), akkor:

$$\lim_{E \rightarrow \infty} \Phi(E) = -\frac{1}{2},$$

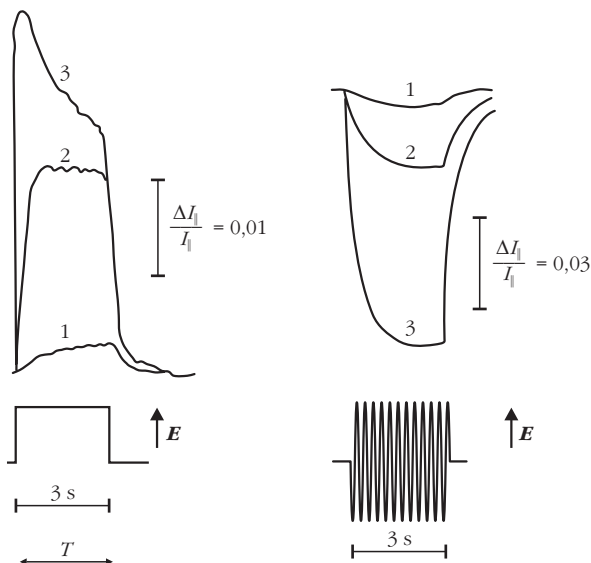
ha $\gamma = 0$ (csak permanens dipólmomentum van), akkor:

$$\lim_{E \rightarrow \infty} \Phi(E) = 1.$$

Az egyenletekből látszik, hogy a kétféle dipólmomentum esetén különböző rendezés valósul meg. A permanens dipólmomentum a membránok normálisát állítja be a tér irányába, míg az indukált dipólmomentum a korongok síkját. Igen nagy az elvi különbség a kétfajta orientáció között. A permanens dipólmomentum általi orientáció esetén, amikor tehát a membrán normálisa rendeződik, a molekulákra rögzített töltések játszanak szerepet, és ezért a fehérjemolekulák tér irányú valódi orientációja valósul meg. Természetesen az orientáló elektromos tér csak egy irányt jelöl ki, e körül a rendszer hengersizmetrikus. Ezért azután retinál festékmolekulák, amelyek θ szöget zárnak be az orientáló dipóllal, egy kúpon helyezkednek el. Az indukált dipól szerinti orientáció esetén, amikor tehát a membrán felülete párhuzamos az elektromos térrel, a membrán normálisa, vagyis a protonpumpa iránya merőleges az orientáló térre, és a hengersizmetria miatt ezek orientációja nem valósul meg.

A kétfajta orientációt szét lehet választani: az indukált dipólmomentum a felületi polarizálhatósággal van kapcsolatban, kialakulása nagyon gyors, együtt mozog a tér irányával, ezért ha váltakozó feszültséget használunk az orientációhoz, az orientáció stabil marad. A permanens dipólmomentum hatása viszont ez esetben nem érvényesül, hiszen a gyors mozgást a membrándarabkák nem tudják követni. Az 1. ábra mutatja az orientációs kísérletek eredményét, amikor tehát állandó, illetve váltakozó térrel végezte az orientációt.

A kísérlet azt is megmutatta, hogy a permanens elektromos térrel sokkal kisebb térerősségnél meg-



1. ábra. Fényintenzitás változások a membránfragmentumok orientálásakor. a) Állandó elektromos térben ($E_{1,2,3} = 1, 7, 5, 2, 15, 8$ V/cm), b) változó elektromos térben ($E_{1,2,3} = 31, 77, 165$ V/cm).

valósul a teljes orientáció. Ennek nagy jelentősége van, ugyanis ellenkező esetben, a kétfajta orientáció különböző iránya miatt, permanens térrel nem lehetne teljes orientációt megvalósítani. E kísérleteknek – a későbbiek szempontjából – az a fő eredménye, hogy már igen kicsiny (10 V/cm nagyságrendű) állandó elektromos térrel teljesen orientált mintát lehet létrehozni, amelyben tehát a protonpumpák mind egyfelé néznek. A mérések alapos kiértékeléséből a következő további lényeges paramétereket lehetett meghatározni. 1) A bíbormembrán-fragmentumok átlagos permanens elektromos dipólmomentuma, $\mu B = (6 \pm 1) \cdot 10^{-23}$ Cm, ez nagyon nagy érték. Feltételezve, hogy a bakteriorodopszin-molekulákon levő töltések okozzák a dipólmomentumot, és mivel $B \approx 1$, és egy bíbormembrán-fragmentumban körülbelül $1,8 \cdot 10^4$ darab fehérjemolekula van, akkor $\mu_{BR}/e = n_e d = 18$ nm. Tudván, hogy $d = 4,5$ nm és $n_e \approx 4$, átlagosan 4 töltésegység jut egy bakteriorodopszin-molekulára. 2) Az adatokból meghatározta a membrán normálisa és a látható fény hullámhossztartományában elnyelő festékmolekula átmeneti dipólmomentuma közötti θ szöget: $\theta = (59 \pm 1)^\circ$, ez elég jól egyezik az akkoriban egyéb módszerekkel kapott, illetve a későbbi röntgen-krisztallográfiával nyert értékekkel.

Ezt a munkát Keszthelyi Lajos tehát teljesen egyedül végezte, és az eredményeket bemutató egyszerűs közlemény [5] 100 feletti hivatkozást kapott – abban az időben írt cikk esetén ez kiemelkedő érték.

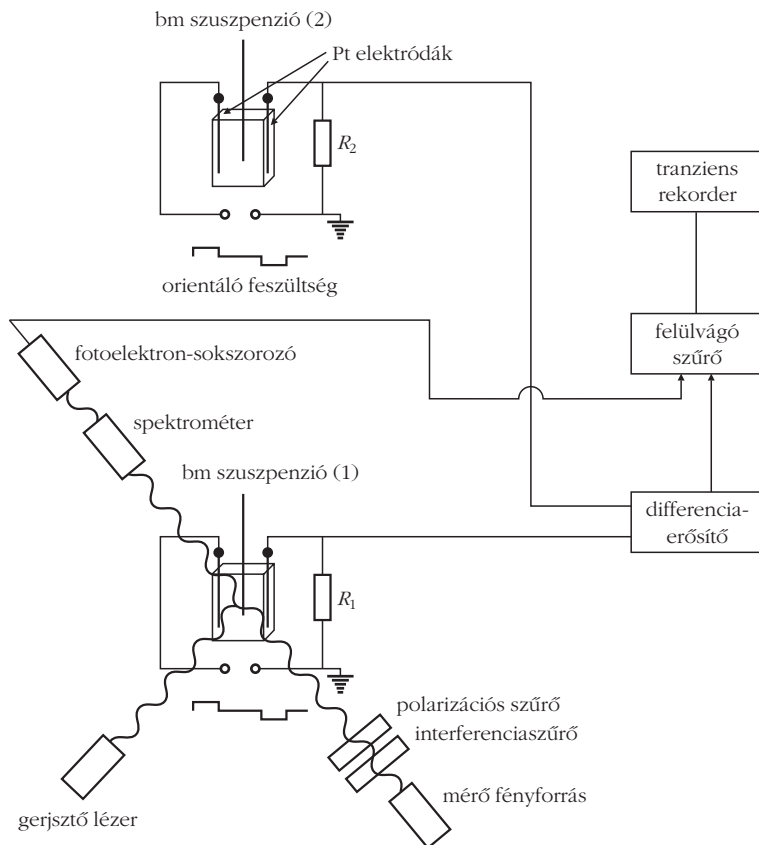
Szót szeretnék itt ejteni Keszthelyi Lajos kísérletezői habitusáról, illetve a kor kísérleti lehetőségeiről. Lajos általában olyan kísérleteket gondolt ki, amelyek újdonságot képviseltek, nemcsak a téma, hanem a mérési eljárás tekintetében is. Ez azzal járt, hogy a kísérleti eszközt is ő készítette el: megtervezte, majd

megépítette a berendezést meglévő, illetve saját készítésű elemekből. Alapvetően magyar, illetve keleti készülékek, komponensek álltak rendelkezésre, de a hetvenes években már korlátozottan hozzá lehetett férni a fejlettebb „nyugati” műszerekhez is. Szegeden – Keszthelyi Lajosnak köszönhetően – külön kategóriát képviseltek a KFKI-ban készült eszközök: fotomultiplier tápegységek, sokcsatornás analízátorok (a legendás ICA 70, a 100 nanoszekundum időfeloldású digitális tranziens rekorder), és persze kicsit később a TPA komputer, amely egy szobát megtöltött, és kisebb teljesítménye volt, mint ma egy telefonnak, de nagyon jól kiszolgált, rajta történt a mérések értékelése, görbék illesztése stb. Nyugati forrásokból is szereztünk fontos eszközöket (például kis zajú erősítőket, spektrofotométereket). Alapműszer volt a bakteriorodopszin fényimpulzus gerjesztésében kulcsszerpet játszó Opton (λ -Physik) gyártmányú, villanólámpával gerjesztett festéklézerünk, ennek fényimpulzus hossza $1 \mu s$, energiája pedig 30 mJ volt. Persze, ennek is megszületett a barkácsolt párja: egy munkatársunk épített egy N_2 impulzuslézert, amely később szintén jó alkalmazást nyert abszorpciókinetika kísérletekben, PNAS közlemény is készült a vele végrehajtott mérésekből. Keszthelyi Lajos igazgatóként fenntartott egy mérnökből és két technikusból álló, csak a Biofizikai Intézetet kiszolgáló műszerfejlesztő-építő csoportot, ők a speciális mérőeszközök megépítésében segítettek. A mi kísérleti repertoárunk jóval nagyobb arányban épült saját fejlesztésű és építésű eszközökre, mint ami akkoriban általános volt. Ez a hozzáállás és lehetőségek eredményezték, hogy sajátos stílusú kísérletezők lettünk, egyéni kísérleti megközelítéssel tartottuk a lépést, sokszor meg is előztük a sokkal bőkezűbben támogatott nyugati versenytársainkat.

A bíbormembrán-fragmentumok fizikai tulajdonságaira, orientálhatóságára vonatkozó munka végeztével Keszthelyi Lajos orientált mintákon akarta vizsgálni a protonpumpálás részleteit. Konzultánsként valamennyire közel kerültem hozzá a megelőző időszak-

Keszthelyi Lajos Ormos Pál vendégeként az *Akadémikus arcképcsarnok* rendezvényén 2016 októberében.





2. ábra. Az orientált bíbormembrán-fragmentumok szuszpenzióján töltésmozgást követő mérőrendszer sémája.

ban, és e munka kezdetekor megkérdezte, volna-e kedvem együtt dolgozni vele az új projekten. Természetesen boldogan csatlakoztam hozzá, nagy megtiszteltetés volt nekem, a kezdőnek. Ettől kezdve néhány évig együtt dolgoztunk: minden nap több órát töltötünk együtt a laboratóriumban, együtt végeztük a fontos méréseket, együtt értelmeztük, értékeltük az ered-

ményeket. Mindeközben természetesen sokat beszélgettünk mindenféle dologról. Rendkívüli módon élveztem a közös munkát, annak minden aspektusát – azóta ezek az élmények nagyban felértékelődtek: tudósi, emberi fejlődésem legjobb időszaka volt, sokat gondolok rá.

A kísérleti elképzelés tehát az volt, hogy bíbormembrán-fragmentumok orientált szuszpenzióját rövid fényimpulzussal gerjesztve nagyszámú molekula szinkronizált működését indítjuk el, és a pumpált protonok mozgását, mint eltolódási áramot, látnunk kell [9]. A szuszpenziót üvegtüvegtába helyeztük, kormozott platina-drótok képezték az orientáló, illetve mérő elektródákat. A mérőrendszer sémáját a 2. ábra mutatja.

Az orientáló feszültség az R munkaelenálláson magával összemérhető feszültséget kelt, ezen kellett az impulzusgerjesztés által kiváltott kis jelet meghatározni, ezért két azonos minta alkalmazásával differencia-üzemmódban mértünk, csak az egyik küvetát gerjesztettük, és differenciaerősítőt használtunk a hasznos jel elkülönítésére. A minta optikai jellemzésére is volt mód. Egyrészt az orientációt jellemeztük a lineáris dikroizmus méréseivel, másrészt a

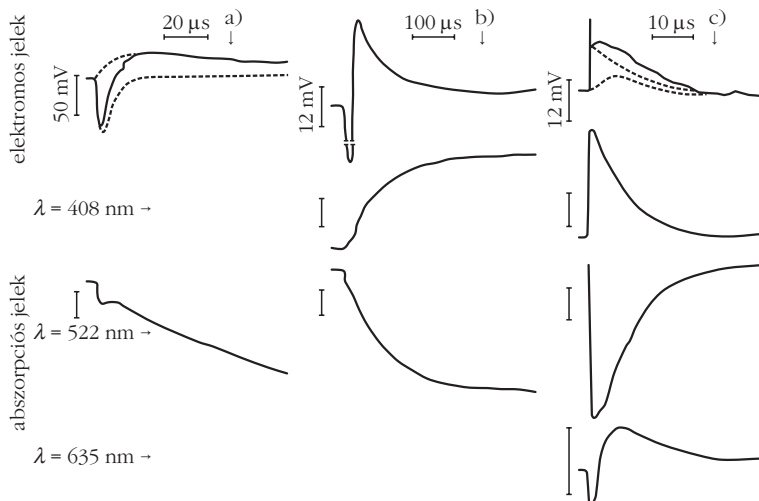
gerjesztést követő abszorpcióváltozás meghatározásával a fotoreakciót, a fotociklust követtük, megfelelően ismert, a köztestermékekre jellemző hullámhosszon. Jellemző mérési eredményeket mutat a 3. ábra. A fő megállapítások a következők: 1) Mind az elektromos, mind az abszorpciókinetikai mérések több, azonos számú exponenciális időbeli lefutású kinetikai komponensből állnak. 2) Az exponenciális időállandók megegyeznek a két típusú jelekben.

Az abszorpciókinetikai jelek jellemzik a fotociklust. Az elektromos jel magyarázata a következő: amikor a pumpálás során a bakteriorodopszin-molekulában egy töltés d távolságra elmozdul az elektródák tere által kijelölt, vagyis a protonpumpálás irányában, a pillanatszerű elmozdulás $Q_{\text{ind}} = (Qd)/(\epsilon D)$ töltést indukál az egymástól D távolságra levő elektródákban [9], ez feltölti a rendszer C kapacitását, amely az R ellenálláson keresztül sül ki. Egy töltés igen gyors elmozdulása így

$$V(t) = \frac{Q_{\text{ind}}}{C} e^{-\frac{t}{RC}}$$

feszültségimpulzust kelt. Ezek összegzésével kapjuk a műszereink által mért jelet:

3. ábra. Az orientált membránsuszpenzió fénygerjesztést követő elektromos és abszorpciós jelei ($\lambda = 408$ nm, 522 nm és 635 nm hullámhosszon), a), b), c) különböző időfelbontású jelek. A szaggatott vonalak az elektromos jelek komponensekre bontását mutatják. Az abszorpciókinetikai jeleken a szakasz $\Delta I/I = 0,1$ értéket jelöl.



$$V_i(t) = \frac{NRQd_i}{\varepsilon D} k_i f(k_1, \dots, k_p, t). \quad (4)$$

Itt N a gerjesztett molekulák száma, d_i a töltésugrás nagysága az i -edik lépésben, k_i a fotociklus i -edik reakciólépésének sebességi állandója és f az i -edik reakciótermék mennyiségét megadó, a radioaktív bomlási sorokat is leíró Buteman-függvény [10]. A végső formulában azt is figyelembe vettük, hogy a mérőkör időállandója sokkal kisebb, mint a bR reakcióé: $k_i \ll (RC)^{-1}$. Ennek a következménye (amit a mérések mutatnak), hogy a jel a reakciók időállandóját követi.

A becsült paramétereket behelyettesítve meghatároztuk az egyes d_i értékeket. Jó nagyságrendi egyezést kaptunk, a teljes elmozdulásra (a d_i értékeinek összegére) a membrán vastagságának körülbelül kétszerese lett az eredmény. Tekintve a paraméterek bizonytalanságát (az ε_i dielektromosállandó-értékek a fehérje különböző helyeire vonatkoznak stb.) a nagyságrendi egyezést jó eredménynek tekintjük. Így, elfogadván, hogy egy proton halad át egy fotociklus alatt a membránon, vagyis $\sum d_i = a$ membrán vastagsága, az egyes pumpálási lépésekben a proton az alábbi távolságokat teszi meg: $d_{K \rightarrow L} = -0,15$ nm, $d_{L \rightarrow M} = 0,5$ nm, $d_{M \rightarrow O} = 3,1$ nm, $d_{O \rightarrow R} = 1,5$ nm.

A kísérletek legfontosabb eredményei tehát a következők:

1) Kidolgoztunk egy eljárást, ahol makroszkopikus mennyiségű mintán, nagy időfelbontással tudtunk töltéstranszportot mérni.

2) Ugyanezen mérésben valós időben követtük a molekula reakcióit.

3) Lehetőségünk nyílt a töltésmozgások kvantitatív meghatározására is.

4) Bár ebben az összefoglalóban nem tértem ki rá, de Lajos eredeti célját is megvalósítottuk: a mérések megadták a vezetőképesség átmeneti megnövekedését is, ami tehát az időlegesen az oldatba került protonoktól származik.

Eredményeink lényeges újdonságot képviseltek a protontranszport kísérleti vizsgálatában. Az orientált mintán eltolódási áram formájában mért elektromos jeleket Lajos kezdeményezésére el is neveztük Protein Electric Response Signal (PERS)-nek. Ez lett később az egyik jellegzetességünk a kutatói közösségekben. E közlemény természetesen első volt egy hosszú sorban. Az itt leírtak később finomításon, továbbfej-

lesztésen estek át (mert például a fotociklus reakciói sokat finomodtak később, e mérés közvetlenül nem tudja megkülönböztetni a pumpált töltést a fehérje töltésmozgással is járó konformációs változásaitól, később módszert találtunk ki a töltésmozgás 3-dimenziós követésére is, más transzportfehérjékre is alkalmaztuk stb.).

E cikk egyik jellegzetes eredménye még ma is nyílt kérdést képvisel: a pumpálás első lépése egy (töltésszeparációt képviselő) gyors reakció, amely során a pumpálással ellentétes irányú töltésmozdulás történik. Ugyanezt a megfigyelést tettük több más transzportfehérjén is. Sokat spekuláltunk a jelenségen, úgy gondoltuk, általános törvényszerűsége utalhat, de egyelőre nem oldottuk meg a kérdést.

Ezek az eredmények tehát úgy születtek, hogy Keszthelyi Lajos eredetileg meg akart mérni egy egyszerű jelenséget, de a kísérlet furcsa eredményeket szolgáltatott. Kiváló intuícióval és szakértelemmel szisztematikus vizsgálatot indított ezután, amely nemcsak érdekes, már érthető eredményeket adott, hanem egyben új irányzatot is indított. Ezt Lajos maga is nagyra értékelte, visszaemlékezéseiben ez utóbbi közleményt [6] pályafutása legjobb teljesítményének tartotta.

Irodalom

- Mitchell, P.: Coupling of Phosphorylation to Electron and Hydrogen Transfer by a Chemi-Osmotic type of Mechanism. *Nature* 191 (1961) 144–148.
- Mitchell, P.: Chemiosmotic Coupling in Oxidative and Photosynthetic Phosphorylation. *Biological Reviews* 41/3 (1966) 445–502.
- Oesterhelt, D., Stoekenius, W.: Rhodopsin-like Protein from the Purple Membrane of Halobacterium halobium. *Nature New Biology* 233/39 (1971) 149–152.
- Mostafa, H. I. A., Tóth-Boconádi, R., Dér, L., Fábrián, L., Taneva, S. G., Dér, A., Keszthelyi, L.: Nonlinear electric response of the diffuse double layer to an abrupt charge displacement inside a biological membrane. *Bioelectrochemistry* 146 (2022) 108138.
- Keszthelyi, L.: Orientation of Membrane-fragments by Electric-field. *Biochimica et Biophysica Acta* 598/3 (1980) 429–436.
- Keszthelyi, L., Ormos, P.: Electric Signals Associated With The Photocycle of Bacteriorhodopsin. *FEBS Letters* 109/2 (1980) 189–193.
- Keszthelyi L.: *Fehérjék és elektromos jelenségek*. Akadémiai Kiadó, Budapest (1983).
- Shah M. I.: Electric Birefringence of Bentonite. II. An Extension of Saturation Birefringence Theory. *Phys. Chem.* 67 (1963) 2215–2219.
- Simonyi, K.: *Physikalische Elektronik*. Teubner, Stuttgart (1972) 649–652.
- Evans, R. D.: *The Atomic Nucleus*. McGraw-Hill, London, New York, Toronto (1955) 470–510.

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

A Társulat Internet honlapja <http://www.elft.hu>, e-postacíme: elft@elft.hu

Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős kiadó Groma István főtítkár, felelős szerkesztő Iglói Ferenc főszerkesztő.

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

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

Terjeszti az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, előfizethető a Társulathoz vagy postautalványon a 10200830-32310274-00000000 számú egyszámlán.

Megjelenik havonta (nyáron duplaszámmal), egyes szám ára: 1200.- Ft (duplaszámé 2400.- Ft) + postaköltség.

HU ISSN 0015–3257 (nyomtatott) és **HU ISSN 1588–0540** (online)

KESZTHELYI LAJOS, A KARIZMATIKUS VEZETŐ ÉS TANÍTÓMESTER

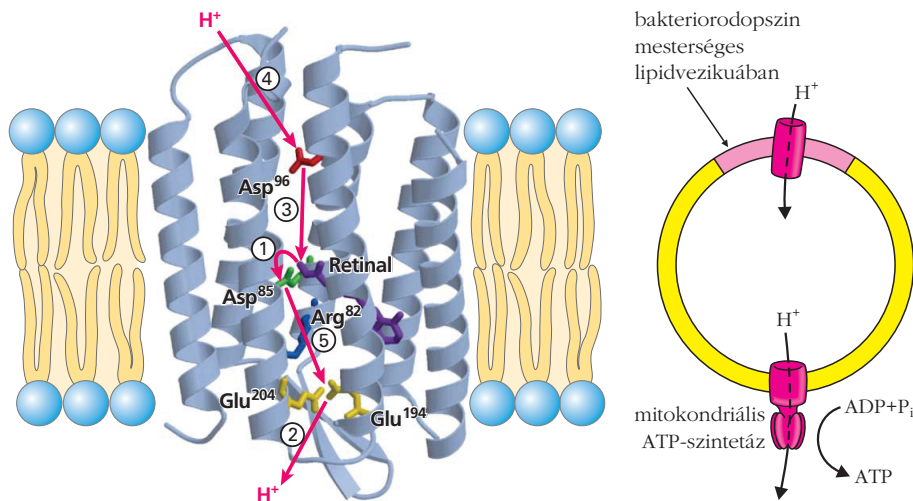
Dér András

Szegedi Biológiai Kutatóközpont, Biofizikai Intézet

Tudományos élet a Biofizikai Intézet hőskorában

Harmadéves fizikus hallgatóként, egy szervezett laborlátogatás keretében jártam először a Szegedi Biológiai Központ Biofizikai Intézetében, ahol mély benyomást tettek rám az érdekes kutatások és az intézet szabad szelleme. Szerettem volna a diplomamunkámat is itt készíteni, ezért a következő tanévtől kezdve rendszeresen látogattam az intézet egyik laboratóriumát, ahol *Keszthelyi Lajos*

és *Ormos Pál* éppen akkoriban dolgozták ki az ionpumpáló membránfehérjék elektromos jeleinek detektálását lehetővé tevő kísérleti módszerüket, amelyet a bakteriorodopszin (bR) nevű – fény hatására protonokat pumpáló, az ionpumpák modelljének is tekintett – fehérjén demonstráltak. A PERS (protein electric response signal) néven ismertté vált módszer [1] teljesen más alapelven működött, mint a hasonló célra korábban kidolgozott mérési eljárások, és lehetővé tette a fehérjeműködést kísérő elektromos és optikai jelek egyidejű mérését, ráadásul addig elérhetetlennek tűnő, nanoszekundumos időfelbontással. Nem csoda, hogy a módszerről és a közvetlen előzményének tekinthető – Keszthelyi Lajos által végzett – elektrooptikai mérési eredményekről beszámoló cikkek jelentős visszhangot keltettek a nemzetközi tudományos közéletben. A sikerhez hozzájárult az is, hogy a biológiai membránokon keresztül lejátszódó iontranszport-folyamatok jelentőségét ekkoriban kezdték



1. ábra. A sejtmembránban elhelyezkedő bakteriorodopszin-molekula főbb szerkezeti elemei; a Mitchell-hipotézis alátámasztása mesterséges lipidvezikulába ágyazott bakteriorodopszin és ATP-szintetáz segítségével [4].

felismerni. *Peter Mitchell* 1978-as kémiai [2], illetve *Alan Lloyd Hodgkin* és *Andrew Fielding Huxley* másfél évtizeddel korábbi fiziológiai és orvostudományi Nobel-díja [3] annak is elismerése volt, hogy az elektromos töltésmozgások nemcsak kísérőjelenségei lehetnek a biológiai funkciónak, de olyan alapvető élet-tani folyamatokban, mint a biológiai energiaátalakítás és információátvitel is meghatározó szerepet játszanak (1. ábra).

Keszthelyi Lajos munkamódszerét megfigyelve, nagy élmény volt közelről látni, hogyan lehet élvonalbeli kutatási eredményeket elérni viszonylag egyszerű kísérleti felszereltséggel, de új megközelítést alkalmazva. Együttal az is tudatosult bennem, hogy nyitott gondolkodású fizikusként fontos alapelveket lehet feltárni a biológiában is. Ezzel a lelkesedéssel kapcsolódtam be a bakteriorodopszin-kutatásba előbb diplomamunkásként, majd 1980-tól MTA-ösztöndíjasként.

Keszthelyi Lajos ekkoriban a Biofizikai Intézet igazgatója volt, de legszívesebben a laboratóriumban kísérletezve, közvetlen munkatársai körében töltötte idejét. Keményen dolgozott, de a kutatómunkában sosem fáradt el, mert mindig a tudomány iránti szenvedélyes érdeklődése hajtotta. Így volt ez néhány évvel később is, amikor – már akademikusként – az SZBK főigazgatói tisztségét is ellátta. Szegeden sosem vett lakást, az éjszakákat az intézet egyik vendégszobájában töltötte. Az adminisztrációs teendőik nagy részét délelőtt letudta, és amint tehetette, sietett a laboratóriumba, folytatni az abbamaradt kísérleteket. Csak



Dér András 1980-ban szerzett fizikusi diplomát a JATE-n, jelenleg az SZBK Biofizikai Intézetének tudományos tanácsadója. Vendégkutatóként hosszabb időt töltött a frankfurti Max Planck Biofizikai Intézetben és a San Francisco-i UCSF-en. Szűkebb szakterülete a fehérjék és a biológiai határfelületek fizikája. A fehérjék lehetséges bioelektronikai alkalmazásaival az elsők között foglalkozott. 1999 óta az MTA doktora, 2002-ben az MTA Fizikai Díjával, 2005-ben Straub-plakettal, 2014-ben pedig Akadémiai Díjjal tüntették ki.



2. ábra. Az 1982-es UNESCO-ICRO Biofizikai Iskola résztvevői. Alulról a 2. sor, jobbról az ötödik Keszthelyi Lajos, jobbról a harmadik Walther Stoeckenius.

péntek délután utazott haza Budapestre, hétfő reggel pedig gyakran már hamarabb bent volt az intézetben mint mi, és érdeklődött az időközben elért tudományos eredmények felől. Maximalizmusával és tudomány iránti elkötelezettségével példát mutatott fiatal munkatársai számára.

Az általa vezetett Bioenergetika Csoport tagjai közül idővel egyre többen kapcsolódtak be eredményesen bakteriorodopszin-kutatásba (például Váró György, Zimányi László, Groma Géza, Czégé József, Barabás Klára). A gyors sikerek ellenére szép számmal voltak akkoriban – és nem csak az SZBK-ban – olyan kollégák is, akik a téma ugrásszerű kibontakozását látva azt a következtetést vonták le, hogy még legfeljebb egy-két év, és a bakteriorodopszin-kutatásnak vége, hiszen már mindent tudni fogunk erről a fehérjéről, amit érdemes. Ez amolyan biokémikusi megközelítés volt, Keszthelyi Lajos – mint vérbeli fizikus – azonban sokkal messzebb tekintett. Tudta, hogy a bR felfedezésével egyedülálló lehetőséghez jutottak a fizikusok egy bonyolult biológiai molekula tisztán fizikai módszerekkel történő leírására, ugyanakkor azzal is tisztában volt, hogy az ehhez szükséges idő inkább évtizedekben, mint években mérhető. Úgy ítélte meg, hogy megfelelő műszerek hiányában a szerkezetvizsgálati kutatásokba nem tudnánk versenyképesen bekapcsolódni, ezért inkább a funkcióvizsgálathoz kapcsolódó módszertani fejlesztésekre koncentrált. A stratégia hosszabb távon is eredményesnek bizonyult, és a '80-as évek első felére nemzetközi elismertségnek örvendő kutatóműhely alakult ki Szegeden.

Ezt a folyamatot katalizálta, hogy Keszthelyi Lajos és munkatársai számos nemzetközi konferenciát is rendeztek ebben az időszakban. Nagy siker volt például az 1980-ban megrendezett *Selected Methods of Biophysics* című nemzetközi iskola (szponzor: UNESCO-ICRO), vagy az 1981-ben megrendezett *International Workshop on Protein Dynamics* (szponzor: NSF), ami lehetővé tette, hogy amerikai és orosz kollégák – magyar közvetítéssel – találkozzanak egymással. Ez – tudomá-

nyos jelentőségén túl – az akkori viszonyok között jelentős tudománypolitikai teljesítmény is volt.

Az 1980-as iskola sikerére való tekintettel 1982-ben hasonló rendezvényt szerveztünk (2. ábra), majd 1985-ben *International Conference on Retinal Proteins* (ICRP) címmel megrendeztük a rodopszinok tudományterületének konferenciáját, ami – hagyományt teremtve – elindította a máig rendszeresen megrendezésre kerülő ICRP-sorozatot, a tudományterület legfontosabb nemzetközi fórumát, amelyet minden második évben rendeznek meg európai, amerikai és ázsiai helyszíneket váltogatva. A szegedi csoport munkájának elismeréseként 2000-ben újra az SZBK-ba

került ez a konferencia. Valamennyi szegedi konferencia elnökségét Keszthelyi Lajos vállalta magára.

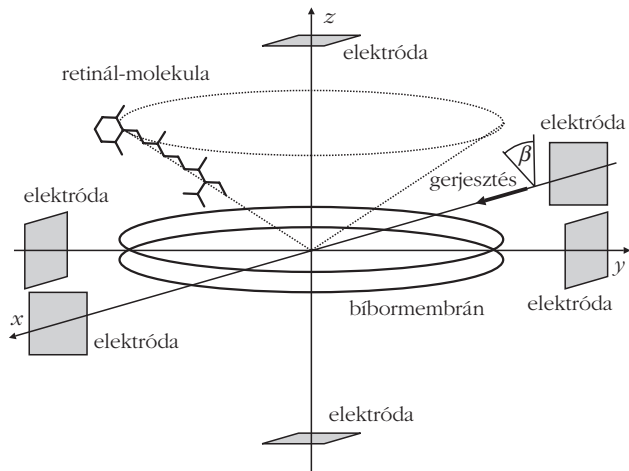
A konferenciák szervezésén kívül tudományos együttműködések is kezdeményezett a téma vezető külföldi laboratóriumaival. A '80-as évek elején elnyert MTA–NSF pályázat például több mint egy évtizeden keresztül biztosította a kutatócsere lehetőségét a szegedi labor és két USA-beli vezető egyetem, a University of Illinois, Urbana-Campaign és a University of California, San Francisco egy-egy kutatócsoportja között. Urbanában a fehérjedinamika tudományágának meghatározó egyéniségétől, Hans Frauenfelder professzortól tanulhattak a fiatal szegedi kutatók és értek el szép eredményeket (elsősorban Ormos Pál, Czégé József és Zimányi László nevét kell kiemelni), San Franciscóban pedig a bakteriorodopszin „atyjával”, Walther Stoeckenius-szal dolgozhattunk együtt (többek között Groma Géza, Barabás Kára, Pósfai János és Dér András). Az 1990-es évek közepétől a bR-kutatás középpontja San Franciscóból mindinkább a – szintén kaliforniai – Irvine-ba helyeződött át, ahol az egykori '56-os emigráns diák – akkor már régóta professzor – Lányi János dolgozott. Előszeretettel hívott meg magyar munkatársakat, így – Váró Györgyön és Zimányi Lászlón kívül – Keszthelyi Lajost is, akikkel együtt számos nagyhatású tudományos eredményt publikáltak több évtizeden keresztül.

A Keszthelyi Lajos munkássága nyomán kidolgozott alternatív elektrofiziológiai módszerrel elért főbb tudományos eredmények

Lajos nem ellenezte, sőt ösztönözte fiatal munkatársai önálló kezdeményezéseit is. Ezzel kapcsolatos egyik meghatározó élményem a '80-as évek közepére datálódik, amikor sikerült technikailag továbbfejlesztenem a Keszthelyi–Ormos-féle szuszpenziós mérési módszert. Az elektromos térrel orientált membránok hid-

rogélbe történt beágyazásán alapuló újítás segítségével permanens elektromos aszimmetriával rendelkező biológiai mintákat hozhattunk létre, ami lehetővé tette nemcsak a bakteriorodopszin, hanem a biológiai energiaátalakításban vagy jelátvitelben résztvevő más fehérjemolekulák – például egyéb rodopszinok, vagy a fotoszintetikus iontranszportban résztvevő komplexek – természetazonos körülmények között történő kinetikai tanulmányozását is [5]. Lajos örült a sikeremnek, de visszautasította a felajánlott társszerzőséget, mondván, hogy az eredményt önállóan értem el [6], pedig az ő korábbi eredményei nélkül erre nyilvánvalóan nem lett volna lehetőségem. Ezek után – Lajos közbenjárására – meghívást kaptam az *Ernst Bamberg* által vezetett frankfurti Max Planck Biofizikai Intézetbe, ahol – hozzánk hasonlóan – alternatív elektrofiziológiai módszereket alkalmaztak membrántranszport-folyamatok tanulmányozására [7]. Ennek legfőbb oka az volt, hogy a passzív ioncsatorna-áramokkal ellentétben, a nagyságrendekkel kisebb, aktív pumpa-áramok mérésére az egyedi objektumokat vizsgáló, hagyományos elektrofiziológiai technikák (voltage clamp, patch clamp) nem voltak ideálisak. A Bambergék által használt módszer abban különbözött a miénktől, hogy az elektromos jelek mérésének legfontosabb alapfeltételét, a membránok orientációját egy mesterséges lipidmembrán-felülethez történő aszimmetrikus adszorpció biztosította, szemben a Keszthelyi Lajos-féle technikával, amely a mintára kapcsolt elektromos térrel érte el a célt. Gyakorlati szempontból a felületi módszer előnye az volt, hogy lehetővé tette a pumpafolyamat ionspecifitásának meghatározását, az általunk kidolgozott gélmódszer viszont lényegesen alkalmasabb volt a kinetikai vizsgálatokra és szimultán abszorpciókinetikai mérésekre is. Első, egyhónapos tanulmányutam alkalmával a frankfurti laborban reprodukáltam az itthoni mérőrendszert, későbbi hosszabb látogatásaim során pedig az akkortájt felfedezett halorodopszin (hR) fényindukált elektromos jeleinek kinetikai vizsgálatára adaptáltam a Keszthelyi Lajos kísérletei által megalapozott módszerünket. A hR-t – a bR-hez hasonlóan – sötét mikroorganizmusokból izolálták, de attól eltérően nem protonokat, hanem Cl^- -ionokat pumpált a fénytel történt gerjesztés hatására.

Frankfurti tanulmányútjaim során több olyan új ötlet merült fel bennem, amelyek megvalósítására szoros időbeosztásom miatt ott nem volt lehetőség. Hazatérve, Lajostól viszont lényegében szabad kezet kaptam a témaválasztást illetően, így azután – kölcsönös megelégedésünkre – tovább folytattuk vele az együttműködést. Az alapötletet a halorodopszin és a bakteriorodopszin szerkezeti homológiája adta. A bR protonpumpálásának folyamatában kulcsszerepet játszó valamennyi fehérje-oldallánc megtalálható a hR-ben is, azzal a különbséggel, hogy a bR-ben az elsődleges protonakceptoraként funkcionál, negatív töltésű Asp85-ös amino-

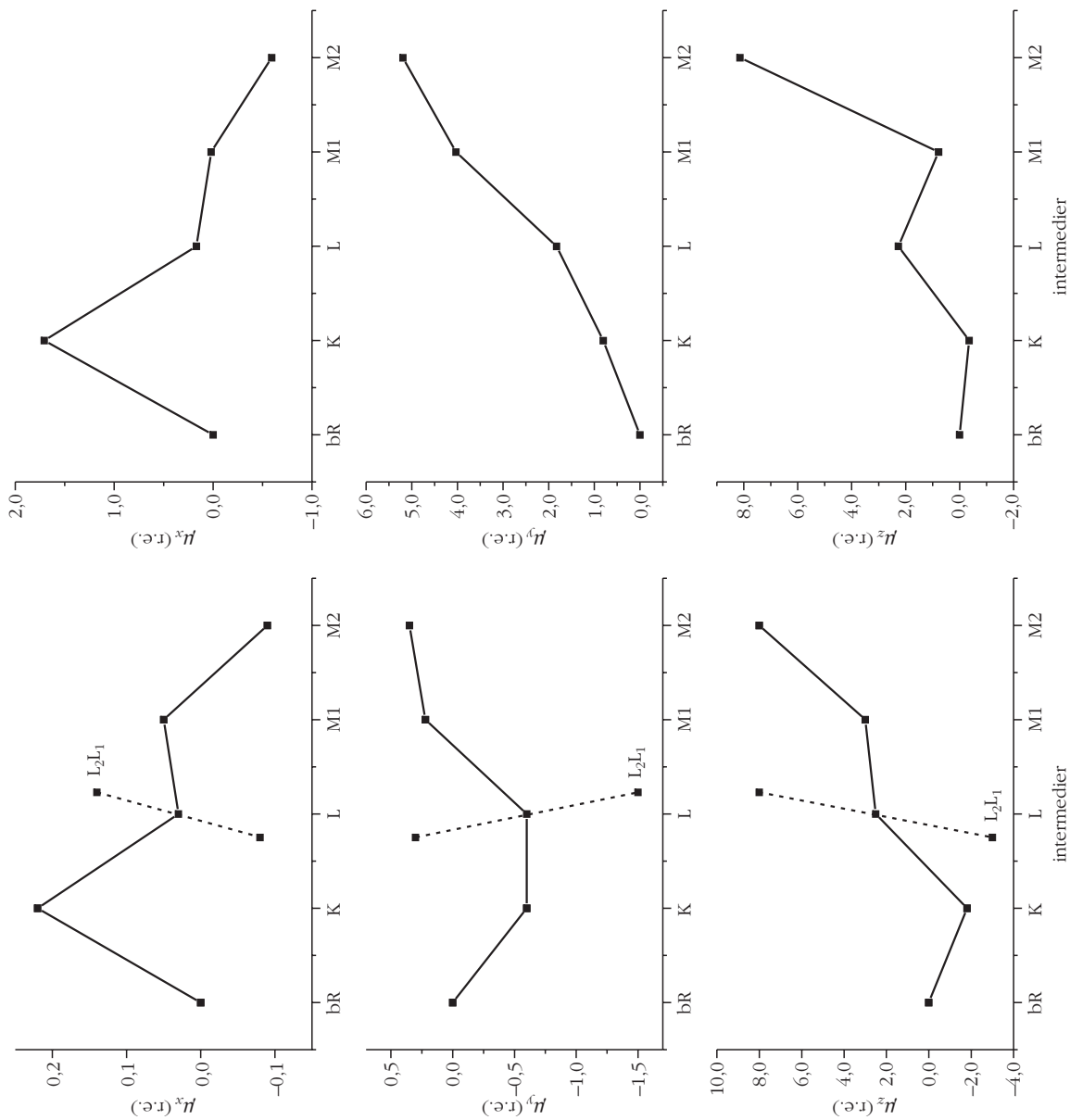
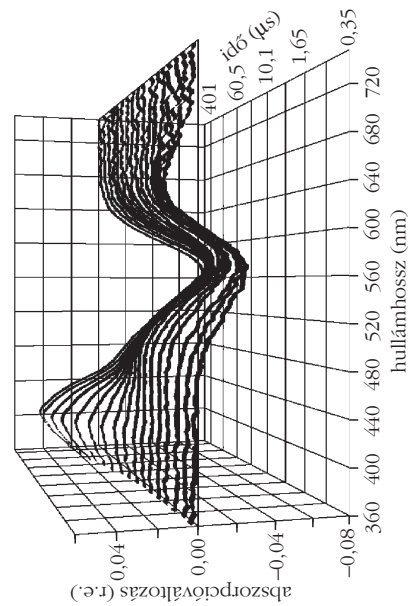
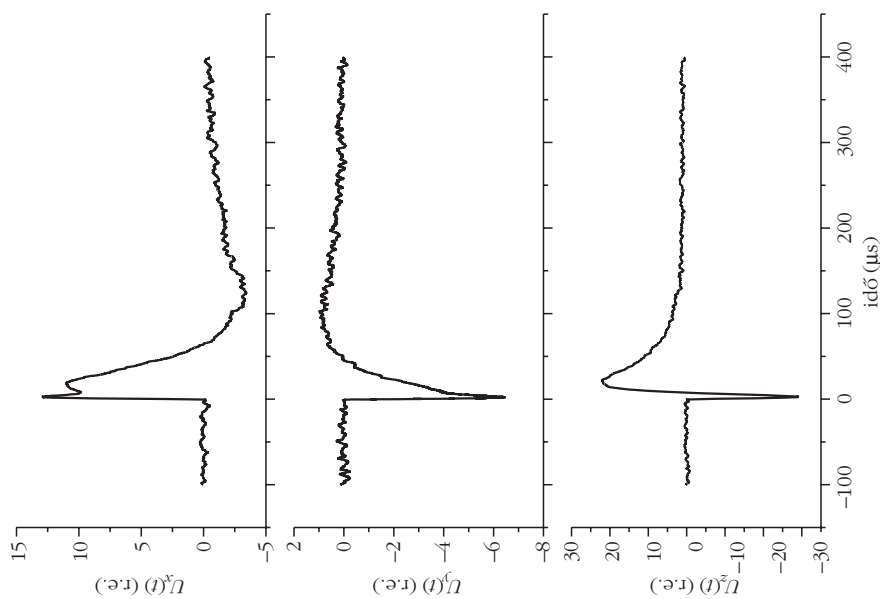


$$I_k(t) \propto \sum_j f_{jk} \sum_i \mu_i^j \frac{d}{dt} c_i(t)$$

$$[f_{jk}] = \begin{bmatrix} -\sin \beta \cos \beta & 0 & 0 \\ 0 & -\sin \beta \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & f_{zz}(\beta) \end{bmatrix}$$

3. ábra. A mérési elv sémája, a 3 elektródapárral és a tökéletes orientációt jelképező, bR-tartalmú bíbormembránnal, kiemelve a membrán normálisával mintegy 70°-os szöget (β) bezáró kromofórt, a retinálmolekulát. A kúppalást a minta rotációs szimmetriájára utal, amelyet polarizált fénnel történő gerjesztés útján szüntetünk meg, így hozva létre az elektromos méréshez szükséges aszimmetriát. A detektált áramjel $I_k(t)$ térbeli komponensei az egyes konformációs átmenetekhez tartozó molekuláris μ_{jk} dipólmomentum-változásokból származtathatók, az f_{jk} orientációs és c_i koncentrációs súlyfaktorok segítségével.

sav helyén a hR-ben elektromosan semleges Thr-csoport található. Mindemelllett, a kétféle fehérje fényindukált elektromos jeleinek kinetikai lefutása hasonló jellegzetességeket mutatott [8]. Az orientált fehérjéket tartalmazó mintákat rövid lézertényimpulzussal gerjesztve egy gyors „negatív” komponenst követő többfázisú pozitív amplitúdójú lecsengés figyelhetünk meg. Ez arra utalt, hogy a kétféle fehérjében hasonló konformációváltozások történnek, de ezek – a kicsinek tűnő szerkezeti különbség miatt – az egyik fehérjében protonok, a másikban pedig Cl^- -ionok aktív transzportjához vezetnek. A koncepció alátámasztása érdekében a bR-szuszenzió pH-ját HCl-lel olyan alacsony értékre állítottam be, amely már az Asp85-ös csoport protonálásához vezet, ezáltal elektromosan semlegessé válik. Megmutattuk, hogy ilyen körülmények között is van pumpaműködés, ami kloridtranszportnak tulajdonítható. Az e témában Lajossal közösen közölt cikkeink nagy tudományos visszhangot keltettek [9, 10]. Eredményeinket évekkel később – amikor már irányított mutagenézissel egyedi aminosavakat is ki lehetett cserélni a fehérjékben – sikerült más módszerrel is alátámasztani [11]. Előszörként demonstráltuk tehát, hogy a legismertebb protonpumpáló fehérjében, a bR-ben egyetlen aminosav protonáltsági állapotának megváltozása a fiziológiai funkció gyökeres átalakulását eredményezi.



4. ábra. 1. oszlop: az x , y és z irányban (felülről lefelé, rendre) mért fényindukált $U_{\mu}(t)$ elektromos jelek kinetikája a mikroszekundumos tartományban, illetve legalul a különböző időközleltetésekkel felvett abszorpció spektrumok, amelyekből – kinetikai modell illesztése után – a $c(t)$ koncentrációk kaphatók meg. 2. oszlop: a bR-foroklás köztes állapotainak – a mérési adatokból számított – μ_{μ} dipólmomentum-értékei. 3. oszlop: az MD-modellekből számított megfelelő megfigyelhető dipólmomentumok.

A gélmódszer egy másik érdekes alkalmazása az elektromos jelek háromdimenziós mérése volt. A bR-tartalmú bíbormembránok permanens elektromos és indukált mágneses dipólmomentuma lehetővé tette, hogy elektromos és mágneses terek kombinálásával közel tökéletes orientációt érhessünk el [12]. Ehhez a grenoble-i mágneses laboratórium 23 teslá elektromágnesét használtam, majd a géllal fixált orientált membránokat tartalmazó mintákkal Szegeden végeztük el a fényindukált elektromos jelek mérését. Ezek során – a mintában polarizált fénnel extra aszimmetriát létrehozva – sikerült rögzítenünk a bR intramolekuláris protontranszportja által keltett elektromos jeleket mindhárom térdimenzióban (3. ábra).

A módszer lehetővé tette a pumpafolyamat során a fehérje belsejében lejátszódó töltésmozgások 3D-leírását, vagyis megadtuk a protontranszport egyes lépéseire rendelhető elektromos dipólmomentum-változásokat. Ezzel analóg mennyiségeket molekulaszervezeti információból is lehetett származtatni, mégpedig a bR-molekulák röntgendiffrakciós adataiból kiinduló molekuladinamikai modellek atomi koordinátáinak és parciális töltéseinek felhasználásával [13].

A kétféle módszerrel meghatározott értékeket összehasonlítva kiválaszthattuk a kísérleti adatainkhoz legjobban illeszkedő modellt [14], amely csak az Y-komponens esetében mutatott kisebb eltérést (4. ábra). A valamennyi kísérleti adathoz illeszkedő molekuladinamikai modell megalkotása azt fogja jelenteni, hogy a bR protonpumpa működését fizikai módszerekkel, atomi szinten sikerül leírni. E folyamatban játszhat lényeges szerepet a töltésmozgások 3D-leírását lehetővé tevő kísérleti módszerünk.

Az orientált bR-molekulákat tartalmazó géles [6], valamint szárított minták [15–17] – fotoelektromos és nemlineáris optikai (NLO) tulajdonságaiknál fogva – számos technikai alkalmazási lehetőséget is kínálnak. Mivel ezek kutatása a '90-es évek végére egyre intenzívebbé vált szerte a világon, a 2000-es nemzetközi Retinál Konferenciához kapcsolódóan egy NATO Advanced Research Workshopot is rendeztünk Lajossal, amelynek legfontosabb témája a retinálfehérjék bio-

elektronikai alkalmazása volt [18]. Hasonló kutatások a mai napig folynak, csak a hangsúly tolódott el a retinálfehérjék NLO-tulajdonságait kihasználó biofotonikai alkalmazások (például fényvezérelt ultragyors integrált optikai kapcsolás) irányába [19].

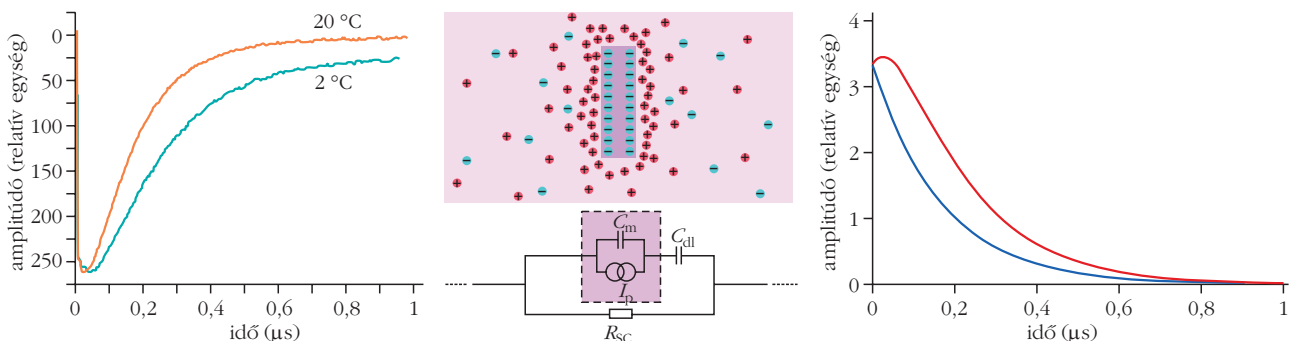
Lajos ezeket a kezdeményezéseket a későbbi években is figyelemmel kísérte, de őt továbbra is elsősorban az alaptudományos problémák érdekelték, mindekelőtt a bR elektromos jeleinek addig még felderítetlen rejtelmek. Vizsgálataihoz a gélmódszert használta, ezért munkakapcsolatunk azután is megmaradt, amikor ő nyugdíjba ment, én pedig már más tudományos problémákra fókuszáltam. Eleinte nyugdíjasként is rendszeresen elutazott Szegedre, ahol várta laborja és kedvenc kollégája, *Tóth-Boconádi Rudi*, aki segített neki az ötletei technikai megvalósításában. Később, amikor Lajosnak már nehezebb esett a mozgás, és Rudit is sajnálatosan korán elveszítettük, már inkább csak telefonon tartottuk a kapcsolatot. Otthonában elemezte fáradhatatlanul a régi mérési adatokat, hogy minél alaposabb fizikai értelmezését tudja adni a bR elektromos jeleinek. Ez a problémamegoldó gondolkodás tartotta őt szellemileg mindvégig teljesen frissen.

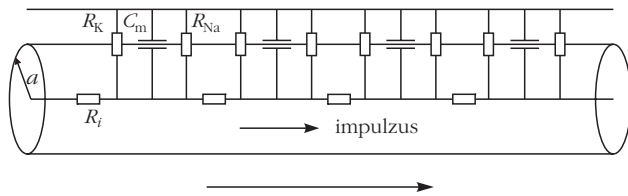
Arra már kutatásai elején rájött, hogy a töltésmozgások sűrűsége időbeli eloszlása és a membrán-elektrolit rendszer gyors perturbációra adott relaxációs folyamatát leíró függvény konvolúciójával lehet leírni az egész elektromos jelet:

$$V_N(t) = \frac{NQd}{\varepsilon CD} \frac{1}{\tau} \int_0^t e^{-\frac{t-t'}{\tau}} e^{-\frac{t-t'}{RC}} dt',$$

ahol N az átmenet során mozgó Q töltésű ionok száma, D a mérőelektrodák, d a töltésmozdulás távolsága, R és C a rendszer ellenállása és kapacitása, ε a dielektromos állandó, és τ a töltésmozdulások sűrűségének időállandója. Mivel az $R \cdot C$ időállandó a nanoszekundumos tartományba esik, az elektromos jel ennél lassabb komponensei csak a konformációváltozások kinetikáját tükrözik, és ez adja a jel molekuláris szerkezetváltozásokkal történő értelmezésének alapját is, amit a korábbiakban nagyrészt sikerült felderítenünk. A kez-

5. ábra. A membránon belüli gyors töltéssztérváltsást követő elektromos relaxáció két hőmérsékleten. A membrán-elektrolit rendszer sémája és egyszerűsített helyettesítő áramköre. I_p : áramgenerátor, C_m : membránkapacitás, C_{dl} : az elektromos kettősréteg kapacitása. Az elektródapáron mérhető jel kinetikája állandó, és változó C_{dl} mellett (kék, illetve piros görbe, rendre).





6. ábra. Felül: az axon ingerületvezetésének elektromos helyettesítő áramköre Hodgkin és Huxley szerint [3]. Középen: az U membránpotenciál idő- és térbeli változását leíró, egyszerűsített hullámenyenlet, amely nem veszi figyelembe a membrán-kettősréteg C_m kapacitásának feszültségindukált változását. Alul: a teljes kapacitív áram [21].

deti töltésszétválasztást követő relaxáció kinetikáját viszont elsősorban a membrán-elektrolit rendszer tulajdonságai határozzák meg. Lajos már korábban – még Ormos Palival végzett kísérletei során – megfigyelte, hogy ez a relaxációs jel nem írható le monoton lecsengéssel – amit az egyszerű elektrodinamikai modell sugall [20] – hanem a membránt körülvevő elektrolit összetételétől függő, bipoláris válaszjel keletkezik. Mindenki átsiklott e gyakorlati szempontból jelentéktelennek tűnő anomálián, Lajost viszont nem hagyta nyugodni, ha nem tökéletesen értett valamit. Úgy gondolta, hogy bármilyen apró részjelenség fontos információt hordoz az egészből, így az általa tett megfigyelés is a természet egy érdekes titkára hívja fel a figyelmet. Élete utolsó éveiben is minden nap dolgozott a probléma megoldásán, a régi méréseket elemezve, és azokra fizikai értelmezést keresve. Végül arra a következtetésre jutott, hogy a membrán-elektrolit határfelülethez rendelhető elektromos kettősréteg kapacitásának – a fehérjén belüli gyors töltésmozdulás hatására bekövetkező – megváltozása magyarázatot ad az összes kísérleti megfigyelésre (5. ábra).

Lajos meg volt győződve az új felismerés általános jelentőségéről, hiszen a membrán-elektrolit határfelület elektromos kettősrétegének nemlineáris válasza minden aktív iontranszport-folyamat során szükségszerűen fellép. Utolsó kívánsága az volt, hogy az eredményekből tudományos publikáció szülessen. Megromlott látása ellenére megírta a cikk nyers változatát, és megkért, hogy a még hiányzó részekkel kiegészítve fejezzem azt be, és „rendezzem sajtó alá”. A kézirat olvastán jöttem rá arra, hogy Lajosnak most is igaza volt, amennyiben az eredmények jelentősége messze túlmutat a konkrét példán. A membrán-határréteg nemlineáris elektromos tulajdonságának ismerete ugyanis alapvetően befolyásolhatja például az idegingerület terjedésével kapcsolatos – Hodgkin és Huxley által kidolgozott elméleten [3] alapuló – elképzelésünket (6. ábra).

A cikk, amelynek megírásában – és azt megelőzően a kísérleti eredmények elérésében, valamint

ezek értelmezésében – Keszthelyi Lajos főszerepet játszott, 95-ik születésnapja után nem sokkal jelent meg a tudományterület egyik vezető folyóiratában [22], ami a maga nemében alighanem világrekord.

Irodalom

1. Keszthelyi, L., Ormos, P.: Electric signals associated with the photocycle of bacteriorhodopsin. *FEBS Letters* 109/2 (1980) 189–193.
2. Mitchell, P.: Chemiosmotic coupling in oxidative and photosynthetic phosphorylation. *Biological Reviews* 41 (1966) 445–502.
3. Hodgkin, A. L., Huxley, A. F.: A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve. *J. Physiol.* 117 (1952) 500–544.
4. Racker, E., Stoekenius, W.: Reconstitution of purple membrane vesicles catalyzing light-driven proton uptake and adenosine triphosphate formation. *Journal of Biological Chemistry* 249/2 (1974) 662–663.
5. Dér, A., Keszthelyi, L.: Charge Motion during the Photocycle of Bacteriorhodopsin. *Biochemistry (Moscow)* 66 (2001) 1234–1248.
6. Dér, A., Hargittai, P., Simon, J.: Time-resolved photoelectric and absorption signals from oriented purple membranes immobilized in gel. *Journal of Biochemical and Biophysical Methods* 10/5–6 (1985) 295–300.
7. Fahr, A., Läger, P., Bamberg, E.: Photocurrent kinetics of purple-membrane sheets bound to planar bilayer membranes. *The Journal of Membrane Biology* 60 (1981) 51–62.
8. Dér, A., Száraz, S., Keszthelyi, L.: Charge displacements during the photocycle of halorhodopsin. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 15/4 (1992) 299–306.
9. Dér, A., Tóth-Boconádi, R., Keszthelyi, L.: Bacteriorhodopsin as a possible chloride pump. *FEBS Letters* 259/1 (1989) 24–26.
10. Dér, A., Száraz, S., Tóth-Boconádi, R., Tokaji, Z., Keszthelyi, L., Stoekenius, W.: Alternative translocation of protons and halide ions by bacteriorhodopsin. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 88/11 (1991) 4751–4755.
11. Sasaki, J., Brown, L. S., Chon, Y. S., Kandori, H., Maeda, A., Needleman, R., Lanyi, J. K.: Conversion of bacteriorhodopsin into a chloride ion pump. *Science* 269/5220 (1995) 73–75.
12. Dér, A., Tóth-Boconádi, R., Keszthelyi, L., Kramer, H., Stoekenius, W.: Orientation of purple membrane in combined electric and magnetic fields. *FEBS letters* 377/3 (1995) 419–420.
13. Dér, A., Oroszi, L., Kulcsár, Á., Zimányi, L., Tóth-Boconádi, R., Keszthelyi, L., Stoekenius, W., Ormos, P.: Interpretation of the spatial charge displacements in bacteriorhodopsin in terms of structural changes during the photocycle. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 96/6 (1999) 2776–2781.
14. Humphrey, W., Xu, D., Sheves, M., Schulten, K.: Molecular dynamics study of the early intermediates in the bacteriorhodopsin photocycle. *The Journal of Physical Chemistry* 99/39 (1995) 14549–14560.
15. Nagy, K.: Photoelectric activity of dried, oriented layers of purple membrane from Halobacterium halobium. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 85/1 (1978) 383–390.
16. Váró, G., Keszthelyi, L.: Photoelectric signals from dried oriented purple membranes of Halobacterium halobium. *Biophysical Journal* 43/1 (1983) 47–51.
17. Groma, G. I., Szabó, G., Váró, G.: Direct measurement of picosecond charge separation in bacteriorhodopsin. *Nature* 308 (1984) 557–558.
18. Dér, A., Keszthelyi, L. (eds.): *Bioelectronic applications of photochromic pigments*. Vol. 335. (2001) IOS Press.
19. Krekic, S., Mero, M., Dér, A., Heiner, Z.: Ultrafast all-optical switching using doped chromoprotein films. *The Journal of Physical Chemistry C* (2022).
20. Oroszi, L., Hasemann, O., Wolff, E., Dér, A.: Modeling of ionic relaxation around a biomembrane disk. *Bioelectrochemistry* 60/1–2 (2003) 97–106.
21. Heimburg, T., Jackson, A. D.: On the action potential as a propagating density pulse and the role of anesthetics. *Biophys. Rev. Lett.* 2 (2007) 57–78.
22. Mostafa, H. I., Tóth-Boconádi, R., Dér, L., Fábíán, L., Taneva, S. G., Dér, A., Keszthelyi, L.: Nonlinear electric response of the diffuse double layer to an abrupt charge displacement inside a biological membrane. *Bioelectrochemistry* 146 (2022) 108138.

Sólyom Jenő:

FIZIKA MAGYARORSZÁGON 1945 ÉS 1959 KÖZÖTT

A fizikai kutatás és egyetemi oktatás újjászervezése

Typotex kiadó, Budapest, 2022, 447 oldal

Fizikus-Hon-Ismeret

Ez a mű fontos tájékoztató pont a fizikus közösség *bon-ismerete* számára, minthogy a magyar *fizikus-bon* történetét a II. világháborút követő másfél évtized magyarországi történelmébe ágyazva mutatja be. A szélesebb látómezőt a szerző azon döntése alapozza meg, amellyel az emblemikus személyek egyéni sorsának alakulása elé helyezte az intézmények sorsának alakulását. Az egyéni kutatói-professzori pályák felívelését vagy éppen megtörését a változó intézményhálózathoz, néha pedig az országos politikához kötve tárja fel.

A szerzőt vállalkozására az MTA Fizikai Osztály azzal a szándékkal ösztönözte, hogy az 1940-es és 1950-es évek fordulóján pályájukat kezdő fizikusok személyes tanúságtételére alapozva kaphassunk képet a fizika jelenlegi tudományos kutatási és felsőoktatási hálózatának megszületéséről. *Sólyom Jenő* a szubjektív élményektől, az emlékeket elködösítő időtávlat okozta tévedésektől a levéltárakban fellelhető dokumentumok segítségével szabadította meg a történetet. Érdeklődésének súlypontja a kortársi emlékekről az egyetemi, akadémiai levéltárakban őrzött jegyzőkönyvekre helyeződött át. A levéltári információkat kibővítette azzal, hogy kutatásaiba bevonta a mindent átfogó (totális pártállami) döntési fórumok, azaz az MDP/MSZMP párhatalmait és a titkosszolgálati jelentéseket rejtő archívumokat. Az eseményeket átélő személyek visszaemlékezései és a generációkon át terjedő anekdoták főként a dokumentált források értékelésében, némely irreálisnak ható fejlemény háttérének felrajzolásában jutnak szerephez.

A könyvet a hazai fizika 1945 előtti történetét áttekintő fejezet nyitja (29 oldal). E korszakban szervezetformáló erővel érvényesült az egy tanszék – egy professzor elv. Budapesten új tanszék alapítására

egyedül a Műegyetemen került sor. Az Eötvös-tanítványokat követő, az egyetemi karriert megcélzó új generáció a vidéki egyetemeken kezdhette pályája felépítését. Állomáshelyük a változó geopolitikai helyzetet követve váltakozott Szeged, Debrecen és Kolozsvár között. *Gombás Pál*, *Fényes Imre* és *Gyulai Zoltán* ezt az utat járta be, miközben *Ortvay Rudolf* próbálkozása, hogy elérje *Neumann János* és *Wigner Jenő* kinevezését Budapestre vagy Szegedre, kudarcot vallott. A háború utáni időszak több más meghatározó személyisége tanársegédként várt valamely státus megüresedésére. A fizika intézményrendszere alapvetően az egyetemi hálózat változásait követte. A Műegyetem Atomfizikai Tanszékének és az Egyesült Izzó kutató laboratóriumának szimbiózisban alakult kivételes története nagy súlyt kap a fejezetben, hiszen az egyszerre hordozta a modern atomfizika és az európai nagyvállalatok mintáját követő, élenjáró alkalmazott kutatás perspektíváját.

A könyv címéhez kapcsolódó témát intézményenként tárgyalja a szerző, ezért az Olvasó többször végighalad az 1945–1960 időtengelyen (több esetben néhány mondat erejéig Sólyom Jenő az adott intézmény későbbi sorsára is előre tekint). Legterjedelmesebben az Eötvös Loránd Tudományegyetem (28 oldal) és a Központi Fizikai Kutatóintézet (32 oldal) történetéről ír. Debrecenre 11, Szegedre 3 oldal terjedelem jut. Utóbbi megegyezik az Egyesült Izzó Laboratórium kutatóinak különféle, úgynevezett ágazati kutatóintézetekbe történt szétválasztását bemutató alfejezet méretével.

Az egymást sorosan követő ismertetésekből egységbe integráltan kiemelem a kísérleti fizika és különösen az ipari hasznosításra alkalmas kutatások hányatott sorsának bemutatását. A kevés konkrétumot, annál több jelszót, honvédelmi allúziót pufogtató, párhatalmazat és sajtókampány formájában érkezett, a társadalmi hasznú kutatások elsőbbségét követelő „megrendeléseket” önálló alfejezetben foglalja össze a könyv (163–167. oldal). Ezekből a nukleáris jelenségeket is magába foglaló atomfizika mellett a korábbi, radarfejlesztési eredményekre építő katonai célú kutatás preferálása olvasható ki.

Megvásárolható papírkönyv és pdf formában is. Azon érdeklődők, akik az önköltséges kinyomtatás árától megriadnának a teljes könyv pdf-fájlját ingyen letölthetik a https://interkonyv.hu/konyvek/solyom_jeno_fizika-magyarorszagon-1945-es-1959-kozott/helyrol.

A jelentős beruházással létrejött KFKI-ban valóban megnyílt a modern kísérletes irányzatok fejlesztésének útja. Viszont a beindított irányzatok végül többségében nem a világot meghatározó kutatási tendenciáknak, hanem az új intézetben vezető beosztásba vagy kulcsfontosságú félállásba kerültek érdeklődési körének feleltek meg. Az atomfizikai irányzathoz sorolható a kezdeti egységek közül Kozmikus Sugárzási Osztály (*Jánossy Lajos*), a Spektroszkópiai Osztály (*Kovács István*), az Atomfizikai Osztály (*Simonyi Károly*), a Radiológiai Osztály (*Bozóky László*) és a Ferromágneses Osztály (*Pál Lénárd*). Közülük több a szegényes felszereltségű egyetemi intézetek munkatársainak „elszívásával” alakult meg, ami az egyetemi bázis kiüresítésére, néhol kísérleti tanszékek megszüntetésére/összevonására is vezetett. Megoldásként a KFKI fiáléjaként működő ELTE Atomfizikai Tanszék alapításával próbálkoztak, aminek értelmetlensége az 1960-as évek közepére vált nyilvánvalóvá. A radarfejlesztésben résztvevőket úgynevezett ágazati kutatóintézetekbe (Híradástechnikai Kutatóintézet, Távközlési Kutatóintézet), valamint a KFKI-ba telepítették (Elektromágneses Hullámok Osztálya). Utóbbi 1956 után kikerült a KFKI kutatási spektrumából, csakúgy, mint a *Békésy György* tudományos örökségét folytató Akusztikai és Ultrahangkutató csoport és Kovács Istvánnal a Spektroszkópiai Osztály is. Az egyetemről 1956 után eltávolítottak a Vasipari Kutatóintézetben, illetve Aluterv-Fémipari Kutatóintézetben helyezkedhettek el. Akadémiai környezetben az MTA Műszaki Fizikai Kutatóintézet 1958-as megalakulásával kapott esélyt megújulásra a szétzilált alkalmazott kísérleti kutatás.

Az elméleti kutatások intézményi elhelyezésének alakulására jelen ismertetésben nem térek ki, bár arról is részletes képet ad a kötet. Az egyéni ambícióktól perturbált budapesti szerkezeti változtatások káoszában a nyugalom szigete volt a debreceni Atomki és a Kossuth Lajos Tudományegyetem Kísérleti Fizikai Tanszéke, amelynek vezetője konzekvensen és eredményesen ragaszkodott a magfizikai kísérleti kutatások debreceni fejlesztéséhez. Szegeden is a budapesti csábításnak ellenálló vezető vitathatatlan tekintélye adott stabilitást a lumineszcencia kutatásának.

A jelentős intézményi expanzió nagyszámú kutatófizikus képzésével és gond nélküli elhelyezkedésével járt. A könyv jelentős részét adó (240–404. oldal) személyi oldalakból kiderül, hogy az első fizikus évfo-

lyamban 21, a másodikban 37, a harmadikban már 57 hallgató szerzett az ELTE-n fizikus diplomát. A létszám a hatvanas években 35–45 között stabilizálódott.

A könyvben kiemelést nyert korabeli, nemzetközileg is jelentős kutatási eredmények részben még szoros kapcsolatban a megelőző időszakhoz. A modern kvantumfizikai és magfizikai irányzatokra reagáló felfedezések – főként az ország tudományos elszigeteltsége miatt – alig kaptak nemzetközi figyelmet, a legtöbb esetben folytatás nélkül maradtak.

A politikai környezet alapvető elemeinek alakulását és hatását a fizikai kutatás intézményeire és a fizikusokra a könyv önálló fejezetekben mutatja be. A Magyar Tudományos Akadémia és a minősítési rendszer átalakításának vetületét a fizikus közösségre a szerző személyekre szólnan elemzi (192–212. oldal). Hasonló konkrétságú a fizikusok 1956-os szerepvállalásáról, majd a rá következő megtorló intézkedésekről és a sok diákot és fiatal fizikust is magával sodró exodusról szóló rész, amelyben a szerző fokozottabban támaszkodik kollektív visszaemlékezésekre (212–224. oldal). A nyilvánosság számára leginkább újdonságként a fizikusok körében folytatott titkosszolgálati tevékenységről írott fejezet anyaga (225–240. oldal)

hat. A szerző által feltárt eredeti levéltári dokumentumokból kitűnik, hogy kezdetben a politikai ellenőrzés, a rendszerrel szemben ellenségesnek minősített politikai és tudományos (!) gondolatok leleplezése céljával szerveztek be a fizikusok köréből is besúgókat. Később, a megnövekedett nemzetközi kapcsolatok kihasználásával, a beszerzések fő célja az embargóval elzárt technikai információk megszerzése lett. Érdekes itt felhívni az Olvasó figyelmét a szerzőnek a fizikusok életét átszövő titkosszolgálati jelenlétet bemutató két további tanulmányára.¹

Sólyom Jenő tiszteletreméltó következetességgel áldozta több, mint két évet kimerítő levéltári kutakodásra és kortársi visszaemlékezések tanulmányozására. Professzionális történészhez méltó megközelítése és könyvének lenyűgöző tényanyaga mellett világos, tárgyyszerű stílusával is mércét állít a félmúlt-féljelen hazai tudománytörténetének feldolgozására a jövőben vállalkozóknak.

Patkós András

Sólyom Jenő: Fizikusok az állambiztonsági szolgálatok célkeresztjében és hálójában I., II. *Magyar Tudomány* 182 (2021) 1345–1358. és 1528–1537.



SÓLYOM JENŐ

Fizika Magyarországon 1945 és 1959 között című könyve apropóján a szerzőt Patkós András kérdezte

– *Honnan származik a könyv ötlete? Mi lehetett Keszthelyi Lajos kezdeményezésének motivációja?*

– *Rácz Zoltán*, akkori osztályelnök 2019 őszén meglátogatta Keszthelyi Lajost. Ő adta elő ötletét, hogy össze kellene gyűjteni a fizikai kutatások 1945 utáni újjászervezésének emlékeit, hiszen már nem sokan élnek azok közül, akik a negyvenes évek végén, az ötvenes évek elején személyesen is részesei lehettek az akkori eseményeknek. Keszthelyi Lajos engem ajánlott a munka koordinálására. Én ugyan valamivel fiatalabb generációhoz tartozom, tudományos pályám a hatvanas évek első felében indult, de ismertem a korábbi idők szereplőinek nagyobb részét.

Keszthelyi Lajos 1946 és 1950 között volt matematika–fizika szakos tanárjelöltként a Pázmány Péter Tudományegyetem hallgatója. Ehhez az évfolyamhoz tartozott többek között *Barna B. Péter*, *Groma Géza*, *Nagy Károly*, *Szabó János* és *Voszka Rudolf* is. Őket sem kell bemutatni a *Fizikai Szemle* olvasóinak. Tanáraik, *Pócza Jenő* és *Faragó Péter* az eggyel előttük és utánuk járó évfolyamok néhány hallgatójával együtt (*Marx György* az előző évfolyamba járt) őket szemelték ki, hogy az egyetemen és a reménységük szerint hamarosan megalakuló akadémiai kutatóintézetben (a KFKI-t 1950-ben alapították) modern fizikát műveljenek és oktassanak. Keszthelyi Lajos joggal érezhette, hogy az a munka, amelyet ez a generáció végzett, amellyel a világháború előtti időhöz képest sokkal szélesebb alapokra fektették a magyarországi fizikai kutatást, azok a küzdelmek, amelyeket nehéz körülmények között a hazai modern kísérleti fizika megteremtéséért folytattak, megérdemlik, hogy a korra vonatkozó tanúbizonyságul és egyben tanulságul megőrződjenek, akkor is, ha erőfeszítéseik gyümölcsei csak később értek be.

Nagyon reméltem, hogy egy példányt személyesen tudok átadni az ötletgazdának. A kézirat már nyomdában volt, amikor Keszthelyi Lajos halálhíre elért hozzám. Így csak posztumusz tudom a könyvet neki ajánlani.

– *Miért vállalkoztál a feladatra és hogyan finomodott koncepciód a kutatás és a formába öntés során?*

– Keszthelyi Lajos és a tudományos osztály kérése elől nem lehetett kitérni. Bár magam sem láttam át, hogy pontosan mire vállalkozom, szabad kezét kértem, hogy időben meddig terjedjen a vizsgálandó korszak, és milyen mélységig ássam bele magamat abba.

Első lépésként Lajossal beszéltem, akkor, a járvány előtt még személyesen, utána már csak telefonon. Ő átadta önéletrajzi írásait, amelyek egy része már korábban megjelent nyomtatásban. Megpróbáltam több idősebb fizikussal, az ötvenes évek tanúival kapcsolatba lépni. Azonban hamarosan rá kellett jönnöm, hogy – a megkapott anyagon túl – kevés visszaemlékezésre számíthatok. Csak azokra alapozva nehéz lesz a korszak fizikával kapcsolatos eseményeit koherens módon és hitelesen bemutatni. Más források után kellett nézni.

A *Fizikai Szemléből* az ötvenes évek elejétől kezdődően valamelyest rekonstruálni lehetett a fizikával kapcsolatos eseményeket. Megkaptam a KFKI történetének egy részletes, nem publikált feldolgozását. Ezek, valamint a néhány személyes visszaemlékezés kiindulási pontnak már jó volt, de még mindig nagyon hiányosnak éreztem. Nem tükrözte azt, hogy a fizikusokat érintően mi minden történt az országban. Ezért először az ELTE Levéltárában, majd az Akadémiai Levéltárban kezdtem kutatni a kor fizikával kapcsolatos dokumentumait.



Sólyom Jenő elméleti szilárdtest-fizikus, az MTA rendes tagja, az ELTE TTK Fizikai Intézet és a Wigner Fizikai Kutatóközpont professor emeritusa. 1964-ben szerzett fizikus oklevelet az ELTE-n. Első munkahelye a KFKI volt, és külföldi, összesen közel tíz éves munkavállalásaitól eltekintve végig ott, illetve annak utódintézményeiben dolgozott. A rendszerváltozás után kapott egyetemi tanári kinevezést az ELTE-re.



Patkós András (1947) akadémikus, az ELTE emeritus egyetemi tanára. Elméleti fizikus, aki a kvantumtérelméletek megoldási módszereit fejleszti, az erős és az elektromágneses anyag fázisátalakulásait, azok kozmológiai szerepét kutatja. Számos tankönyv (társ)-szerzője. Rendszeresen ír tudományos-népszerűsítő cikkeket is.



A KFKI kutatóreaktorának üzembe helyezése 64 éve, 1959. március 29-én.

Eközben az is eldőlt, hogy az 1945 utáni első másfél évtizedre korlátozom kutatásaimat, mivel 1959 több szempontból is korszakhatár volt a magyar fizikában. A legnagyobb kutatóintézetben, a KFKI-ban akkor indult a kutatóreaktor. Ezzel együtt ekkor történt az első nagy átszervezés, amely kutatási témák lezárásával, új témák indulásával is járt. Az ELTE-n politikai okokból ekkor távolították el Pócza Jenővel együtt az általa vezetett egyik kísérleti fizikai tanszék oktatóinak többségét. De az ötvenes évek vége, a hatvanas évek eleje tudományos szempontból is k fordulónak tekinthető.

Végül fontosnak éreztem, hogy a fizika történetét beleágyazzam a kor történetébe. Ezért végignéztem, hogy az MDP, illetve az MSZMP központi szerveinek jegyzőkönyveiből mi tudható meg arról, hogy a párt milyen módon gyakorolt befolyást a fizikával kapcsolatos eseményekre, illetve belenéztem abba, hogy milyen, fizikusokkal kapcsolatos jelentések maradtak fenn az Állambiztonsági Szolgálatok Történeti Levéltárában.

Az intézmények és a kor bemutatása mellett a kötet jelentős részét teszi ki az az életrajzgyűjtemény, amelyben megpróbáltam rövid ismertetést adni mindazokról, akik abban az időben valamilyen formában szerepet játszottak a fizikában. Ez a kör azokkal zárul, akik 1959-ben szereztek fizikus diplomát.

– *Végső értékelésben mi a véleményed: az intézményrendszer elé kitűzött tudománypolitikai célok, vagy a kiemelkedő személyiségek tudományos víziói mozgatták inkább a hazai fizikát 1945 és 1960 között?*

– Ha az a benyomás alakul ki a könyv olvasójában, hogy a hazai fizika fejlődését a vezető kutatók tudományos érdeklődése határozta meg és nem a kitűzött tudománypolitikai célok, akkor nem téved. Kétségtelen tény, hogy az akadémiai intézményhálózat kiépítésénél határozott tudománypolitikai célokat fogalmaztak meg. Különösen igaz ez a KFKI-val kapcsolatban, amelynek megalapításáról nem egy tudományos testületben született a döntés, hanem lényegében az MDP

Központi Vezetősége Titkárságának ülésén. A politikai szereplők erős befolyása miatt nem a tudományos kutatás élvonalába tartozó témákat céloztak meg, hanem, nagyon általánosan fogalmazva, olyan kutatóintézetet képzeltek el, amely „ipari és honvédelmi fejlődésünk alapkérdéseinek megoldására döntő befolyással” lesz. Ehhez jött, hogy – egy atomháború fenyegetettségében élve – feltétlenül fontosnak tartották, legyenek atomfizikához és atommagfizikához érő kutatók.

A megvalósulás idején ezen elvekből kevés valósult meg. Amikor a KFKI vezetését egy spektroszkópiával foglalkozóra bízták, eldőlt, hogy jelentős létszámú spektroszkópiai részleg alakul az

intézetben. Ma már komikusnak tűnik, hogy a spektroszkópia fontosságát a következőképpen indokolták: „Kohászatunk egyik hiányossága, hogy a kohók energiafelhasználása a kelleténél nagyobb, mert nem kísérleteztünk ki megfelelő módszereket fémek magas hőmérsékletének pontos mérésére. Ehhez spektroszkópiai vizsgálatok szükségesek.”

A hazai fizika számára ennél perspektivikusabb volt a többi vezető kutató témaválasztása. A kor akadémikusai, *Kovács István* kivételével, *Budó Ágoston*, *Gombás Pál*, *Gyulai Zoltán*, *Jánossy Lajos*, *Novobátzky Károly* és *Szalay Sándor* külön-külön önálló tudományos iskolát alakítottak ki maguk körül, s ezek hatása a mai napig kimutatható. Az 1945 utáni első másfél évtizedből négy személyt kell még megemlítenem, *Bay Zoltán* mellett, aki nagyon hamar elhagyta az országot, *Simonyi Károlyt*, Pócza Jenőt és *Faragó Pétert*, akik sajátos szint hoztak a magyar fizikába, de a történelem viharai miatt az iskolaépítés akkor nem sikerült. E viharokat és hatásukat dokumentumokkal alátámasztva igyekeztem tárgyalni.

– *Közelebb került-e vagy inkább leszakadt a hazai fizikai kutatás és felsőoktatás a világszínvonalától 1945 és 1960 között?*

– A válaszom erre szubjektívnek tűnhet, de talán van benne objektív elem. Éppen a vizsgált időszak végén, 1959-ben kezdtem egyetemi tanulmányaimat az ELTE-n, és a hatvanas évek közepe táján szereztem meg a diplomát. Néhány évvel később jutottam el előbb rövidebb, majd hosszabb tanulmányutakra Nyugatra. Az volt a benyomásom, hogy nem kell szégyenkezni azzal, ahogyan az egyetemen felkészítettek, illetve amit az egyetem után a KFKI-ban tanultam. A hetvenes években pedig már egyértelműen azt érezhettem, hogy nemzetközileg igen elismert, magas színvonalú kutatás folyik itthon, nemcsak az elméleti, hanem a kísérleti fizikában is. Ez pedig annak volt a gyümölcse, aminek alapjait az ötvenes években fektették le.