

fizikai szemle

2009/12



Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat
havonta megjelenő folyóirata.
Támogatók: A Magyar Tudományos
Akadémia Fizikai Tudományok Osztálya,
az Oktatási és Kulturális Minisztérium,
a Magyar Biofizikai Társaság,
a Magyar Nukleáris Társaság
és a Magyar Fizikushallgatók Egyesülete

Főszerkesztő:

Szatmáry Zoltán

Szerkesztőbizottság:

Bencze Gyula, Czitrovsky Aladár,
Faigel Gyula, Gyulai József,
Horváth Gábor, Horváth Dezső,
Iglói Ferenc, Kiss Ádám, Lendvai János,
Németh Judit, Ormos Pál, Papp Katalin,
Simon Péter, Sükösd Csaba,
Szabados László, Szabó Gábor,
Trócsányi Zoltán, Turiné Frank Zsuzsa,
Ujvári Sándor

Szerkesztő:

Füstöss László

Műszaki szerkesztő:

Kármán Tamás

A folyóirat e-mail címe:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>

A címlapon:

Szalay Sándor
(R. Molnár Lajos festménye)

A hátsó borítón:

A Sloan Digitális Égboltfelmérés
(SDSS) által feltérképezett Nagy Fal
az Univerzum jelenleg ismert
legnagyobb struktúrája. A galaxisok és
azok halmazai által kirajzolt szerkezet
1,37 milliárd fényév hosszú és
körülbelül 1 milliárd fényévnyi
távolságra van tőlünk.

TARTALOM

Szalay-centenárium nap – ATOMKI, Debrecen (<i>Fülöp Zsolt</i>)	401
<i>Berényi Dénes</i> : Szalay Sándor	402
<i>Szalay A. Sándor</i> : Élmények, tapasztalatok és egyéniségformálódás egy tudós családban	404
<i>Hamvas István</i> : A hazai urán	410
<i>Svingor Éva</i> : Szolgáltunk? Vagy szolgálunk?	414
<i>Kiss Árpád Zoltán</i> : Gyorsított ionnyalábokkal végzett kutatások az ATOMKI-ban	417
<i>Balogh Kadosa, Pécskay Zoltán</i> : Az Atommagkutató Intézet K-Ar laboratóriuma és tevékenysége	422
<i>Galuska László</i> : Szalay professzor hatása a debreceni nukleáris medicinára	427
<i>Molnár Árpád</i> : Szalay Sándor, a szonokémia úttörője	431
<i>Györi Zoltán</i> : Szalay Sándor a talaj-növény rendszerről	434
HÍREK – ESEMÉNYEK	436

A. Szalay – centenary celebration day at the ATOMKI Institute, Debrecen (*Zs. Fülöp*)

D. *Berényi*: Alexander Szalay

A. S. *Szalay*: Events, observations and the forming of my individuality in a scientist's family

I. *Hamvas*: The Hungarian uranium

É. *Svingor*: Do we provide or do we serve?

Á. Z. *Kiss*: Accelerated ion beam research at ATOMKI

K. *Balogh*, Z. *Pécskay*: The K-Ar Laboratory of ATOMKI and its activities

L. *Galuska*: Professor Szalay's influence on the nuclear medicine in Debrecen

Á. *Molnár*: Alexander Szalay, a pioneer of sonochemistry

Z. *Györi*: Alexander Szalay's observations on the soil-plant system

EVENTS

A. Szalay – Hundertjahrfeier am Institut ATOMKI, Debrecen (*Zs. Fülöp*)

D. *Berényi*: Alexander Szalay

A. S. *Szalay*: Erlebnisse, Beobachtungen und die Entwicklung meiner Persönlichkeit
in der Familie eines Wissenschaftlers

I. *Hamvas*: Das ungarische Uran

É. *Svingor*: Bedienen wir? Oder dienen wir?

Á. Z. *Kiss*: Forschung am ATOMKI mit beschleunigten Ionenstrahlen

K. *Balogh*, Z. *Pécskay*: Das K-Ar Labor am ATOMKI und sein Arbeitsgebiet

L. *Galuska*: Der Einfluß von Professor Szalay auf die Nuklear-Medizin in Debrecen

Á. *Molnár*: Alexander Szalay, ein Pionier der Sonochemie

Z. *Györi*: Alexander Szalay über das System Erdboden-Pflanze

EREIGNISSE

Праздникования в институте АТОМКИ (Дебрецен) по поводу столетия со дня рождения
профессора А. Салаи (*Ж. Фюлөп*)

D. *Berényi*: Личность Александра Салаи

A. S. *Szalay*: События, итоги и формирование личности в семье учёного

I. *Хамвас*: Отечественный уран

Э. *Швингор*: Обслужаем ли или же служиваем?

А. З. *Кисси*: Исследовательская работа в АТОМКИ по пучкам ускоренных ионов

K. *Балог*, З. *Печкай*: Лаборатория К-Аг в АТОМКИ и её круг деятельности

L. *Галушка*: Влияние профессора Салаи на ядерную медицину в Дебрецене

А. *Молнар*: А. Салаи, пионер сонохимии

Z. *Дьёри*: А. Салаи о системе грунт-растение

PROISCHODJASCHIE SOBITYIA

Fizikai Szemle
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:



nka
Nemzeti Kulturális Alap

mym
paksi atomerőmű

NCA
Nemzeti Civil Alaprogram

196
A FIZIKA BARÁTAI

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

LIX. évfolyam

12. szám

2009. december

SZALAY-CENTENÁRIUMI NAP – ATOMKI, DEBRECEN

Szalay Sándor professzor, az Atommagkutató Intézet alapítója 100 évvel ezelőtt, 1909. október 4-én született. Ebből az alkalomból 2009. szeptember 24-én az Atomki emlékülést rendezett, melynek központi témája az volt, hogyan él tovább Szalay professzor szellemisége.

A megnyitó során *Faigel Gyula*, az MTA Fizikai Osztályának elnöke és *Kiss Ádám*, az MTA Magfizikai Bizottságának elnöke tartott beszédet. Ezután *Berényi Dénes*, az ATOMKI volt igazgatója, *Szalay Sándor* közvetlen munkatársa emlékezett vissza elődje munkásságára.¹

Ifjabb Szalay Sándor, aki jelenleg a Johns Hopkins Egyetem (Baltimore, USA) professzora, a virtuális családi képeskönyvet lapozva emlékezett arra, hogyan teltek egy tudós család hétköznapijai a fizikával szimbiózisban. A további előadások Szalay professzor rendkívül széles érdeklődési körének egy-egy témáját érintették. *Hamvas István* (Paksi Atomerőmű Zrt.) a hazai uránkutatás történetét tekintette át. *Svingor Éva*, *Kiss Árpád* és *Balogh Kadosa* azokat az ATOMKI-laboratóriumokat mutatták be, amelyek munkássága szorosan kötődik a Szalay professzor által elindított kutatási témákhoz: a környezetfizikát, a gyorsítófizikát és a geológiai kormeghatározást. *Galuska László* a Debreceni Egyetemről a nukleáris medicina szemszögéből vizsgálta Szalay Sándor munkásságát, *Molnár Árpád* a Szegei Tudományegyetemről a szonokémia, *Győry Zoltán* a Debreceni Egyetemről pedig a talajtani eredmények utóéletéről adott beszámolót. A programot az ATOMKI homlokzatán levő Szalay-emléktábla koszorúzása zárta, amelyen *Koltay Ede* emlé-

kezett meg munkatársáról. Ugyanazon a napon történt Szalay professzor domborművének felavatása a debreceni Szalay Sándor utcában.

A centenáriumi napon áttekintett, Szalay Sándor nevéhez szorosan kapcsolódó kutatási témák sokszínűsége és újszerűsége további bizonyíték az ATOMKI alapítójának tudományterületek határain átvélő kutatói egyéniségére, iskolateremtő voltára.

Fülöp Zsolt

MTA ATOMKI, Debrecen

Szalay Sándor munkásságával kapcsolatos egyéb tanulmányok:

1. Marx György: A magfizika megérkezése Magyarországra. *Fizikai Szemle* 47/9 (1997) 274.
2. Berényi Dénes: Szalay Sándor, az ember. *Fizikai Szemle* 54/5 (2004) 172.
3. Lovas Rezső: Szalay Sándor emlékezete. *Magyar Tudomány* 2009/10 1255.

Szalay A. Sándor és Szalay András édesapjuk születésének centenáriuma alkalmából állított domborműnél.



¹ A centenáriumi napon elhangzott előadások anyaga, valamint fényképes tudósítás is letölthető az ATOMKI-honlap Szalay-centenáriumnak szentelt részéről: http://www.atomki.hu/100_Szalay

Szalay Sándor akadémikus, a debreceni kísérleti fizikai tudományos iskola és intézetünk alapítója 100 éve született és közel negyedszázada már nincs köztünk. Ha ez még nem is igazán történelmi idő, ahhoz elegendő, hogy alkalmat adjon arra, hogy Szalay akadémikus életművére, munkájának eredményére visszatekintsünk.

A következőkben néhány vonással szeretném felvázolni Szalay Sándort, a tudóst, a tanárt, a tudományos szervezőt és az embert. Természetesen a különböző szempontok szerinti megközelítések kölcsönösen átfedik egymást, szigorú szétválasztásuk nemcsak értelmetlen, de valójában lehetetlen is.

A tudós

Szalay Sándor tudományos pályájának kezdetén a 20. század harmincas éveiben három Nobel-díjjal is dolgozott együtt, *Szent-Györgyi Alberttel* (Szeged), *Debye-jal* (Lipcse) és *Rutherforddal* (Cambridge). Ez utóbbi különösen nagy hatással volt további kutatói pályájára. Mindig szem előtt tartotta azonban, amit Szent-Györgyi Alberttől tanult: „A kutatónak nem érdemes kitaposott utakon járni. Amit már sokan kutatnak, abban csak részeredményeket lehet felmutatni. A merőben újat kell keresni, így lehet úttörő munkát végezni, eredetit alkotni.” Alig két-három évvel hazatérte után, 1938-ban és 1939-ben már atommagfizikai cikkek jelentek meg nagy tekintélyű nemzetközi folyóiratokban az ő szerzőségével Debrecenből. Szalay ezeket a kutatásokat az akkori szerény körülmények között *az intézetben készült berendezésekkel* végezte, igaz Bécsben. A magyar magfizika bölcsője – ha kissé költőin akarjuk kifejezni magunkat – Debrecenben ringott, máshol jó évtizeddel később kezdtek kutatásokat ezen a területen hazánkban.

Ez tette lehetővé, hogy a II. világháború után, amikor a nukleáris energia mesés lehetőségeket ígért, az intézetben épített berendezéssel *uránkutatás*hoz fogjon hazánkban. Ennek eredménye lett a pécsi uránbányászat beindítása. Ezen kutatás során derült ki, hogy az urán a szekben és általában a tőzegben bedúsul. A természet logikáját követve rájött arra a törvényszerűsége, hogy a humuszsavak a nehézfémeket megkötik. Így vált érthetővé a tőzeges talajokon a növények nyomeleméhezése. Innen már csak egy lépés volt a gyakorlati alkalmazás a megfelelő technikával történő mikroelem „trágyázáshoz”.

Emlékbeszéd, elhangzott Szalay Sándor akadémikus 100 éves születési évfordulója tiszteletére rendezett tudományos ülésen, 2009. szeptember 29-én Debrecenben, az MTA Atommagkutató Intézetében.

Szalay Sándor kezdettől fogva tele volt ötletekkel, témajavaslatokkal és egy-egy munkatársát ezekbe az irányokba indította el. Ezekben a kutatásokban azután egyrészt sok esetben még sokáig maga is aktívan és kreatívan részt vett, másrészt ezekből nem egyszer az idő elteltével kutatási irányok, kutatócsoportok, tudományos osztályok fejlődtek ki az intézetben.

A fentiek részletes bemutatására, az elért eredmények értékelésére itt nincs lehetőség, csak vázlatos felsorolásra vállalkozhatunk a munkatársak nevének feltüntetése nélkül.

A magfizikában az eszközfejlesztés révén (ködkamra, gyorsítók, béta- és alfa-spektrométerek stb.) olyan jelentős, nemzetközi elismerést kiváltó, tankönyvekbe bekerülő felfedezésekre került sor, mint a neutrínó visszalökő hatásának kimutatása, vagy a világon egyedülálló, eredeti új típusú béta- és alfa-spektrométerek kifejlesztése és velük a megfelelő területeken nemzetközileg kiemelkedő kutatási eredmények elérése és kutatási irányok kijelölése.

Ahogy Szalay akadémikus szemléletében és tevékenységében – mint fentebb már láttuk – a különböző tudományágak határai nem jelentettek áthatolhatatlan válaszfalat – ezeket csak elménk korlátozottsága miatt bevezetett megkülönböztetésnek tekintette –, úgy az alap- és alkalmazott kutatás, sőt a gyakorlati alkalmazások elkülönítését sem vette komolyan.

Ugyanakkor, amikor érdeklődése – mint láttuk – az uránkutatás felé fordult, ettől függetlenül, ugyanabban az időben felismerte, hogy a *radioizotópok alkalmazása* milyen új lehetőségeket teremt az *orvosi-biológiai kutatásokban*, sőt a gyakorlatban is. Már a negyvenes évek végén és az ötvenes évek elején megkezdte az egyetem orvosi intézeteivel, klinikáival az együttműködést a radioizotópokkal végzett hisztokémiai vizsgálatokkal. Ezekből nemzetközi szintű eredmények születtek, és közreműködésével már a klinikai gyakorlatban történő alkalmazásokra is sor került. Ha azt mondtuk, hogy a magyar magfizika bölcsője Debrecenben ringott, ezt elmondhatjuk a radioizotópok hazai orvosi-biológiai alkalmazásairól, vagyis – mai terminológiával – a nukleáris medicináról is.

Szalay széleskörű érdeklődése hamarosan kiterjedt az *emberi környezet kutatására* és védelmére is. Már az ötvenes évek legelejétől kezdte vizsgálni a levegő – elsősorban a nukleáris bombakísérletektől eredő – radioaktív szennyeződését. Ez a kutatás azután munkatársakkal együttműködve fontos programmá szélesedett: a bioszféra radioaktív szennyezettségének vizsgálatára. Meg kell jegyeznünk, hogy ezek a kutatások is előzmény nélküliek voltak hazánkban, sőt bizonyos tekintetben nemzetközileg is úttörőnek szá-

mítottak. Ezek a vizsgálatok vezettek a történettudományok szempontjából fontos bizonyos leletek – a szén 14-es izotópja segítségével történő – kormeghatározása hazai meghonosításához is.

A geológiával Szalay professzor már az uránlelőhelyek kutatása során kapcsolatba került. Geológiai érdeklődése és a magfizikai módszerek (tömegspektrometria!) vezették el a *geokronológiához*, azaz a kőzetek korának magfizikai módszerekkel történő meghatározásához, amellyel kapcsolatban az intézet világviszonylatban egyedülálló eredményeket produkált, elsősorban a Kárpát-medencére vonatkozóan. Hogy a kreatív érdeklődés ezen a téren is milyen messze vezette el őt, arra jellemző, hogy a módszert használva eljutott nemcsak a különleges Kabai meteorit vizsgálatához, de a Föld ősi atmoszférájának a tanulmányozásához is a korabeli kőzetek gázzárványainak tanulmányozása alapján.

Szalay tudós egyéniségében szinte egyedülálló módon egyesült a kísérleti beállítottságú alapkutatási tevékenység a más tudományterületek és a gyakorlat iránti nyitottsággal. Gondoljunk csak arra, hogy fizikusként eljutott az uránkutatásig, a geológiai jellegű vizsgálatokig, a biológiai-orvosi kutatásokig, sőt a klinikai gyakorlatig, továbbá a környezetkutatásig, az agrárterületen pedig a nyomelemtrágyázásig, és mindezek a területeken sokszor úttörő volt. Ez a szemlélet és törekvés akkoriban különösen újdonságnak számított.

A tanár

Szalay professzor az oktatást, a tanítást mindig nagyon fontosnak tartotta. Sokáig magának tartotta fenn az első éveseknek szóló bevezető előadások tartását. Egyetemi jegyzetek írására is szakított időt. Szorgalmazta, hogy ne csak középiskolai tanárok dolgozzanak iskolai munkájuk mellett az intézetben, szerezzenek egyetemi doktorátust, de lehetőséget teremtett arra is, hogy középiskolai diákok is bejárhassanak az intézetbe.

Maga így nyilatkozott: „A tudós dolga, hogy ismereteket átadjon, s oktatómunkája során kiválassza azokat, akikben van fantázia.” Vagy máshol: „...a fő súlyt a tehetségszelekcióra fektettem”.

Ez utóbbi nyilatkozatok már átvezetnek a tudományos iskolaépítés területére. Mint láttuk, Szalay Sándornak számos eredeti ötlete volt és ezek megvalósításába részben maga fogott bele megfelelő munkatársakkal, részben egy-egy irányba elindított egy-két tehetséges munkatársat, akik önállóan dolgoztak tovább, további munkatársakat gyűjtve maguk köré. Ezek munkáját mindig érdeklődéssel követte, bizonyos esetekben, ha valami érdeklődését különösen felkeltette, maga is újra bekapcsolódott a különböző kutatási területeken egy-egy témába.

A kiválasztott tehetséges kutatókra, az általa alapított tudományos iskola eredményeire mindig büszke volt és soha sem mulasztotta el, hogy ha alkalma volt

rát, hogy név szerint említse meg a szóban forgó vezető kutatókat, akiket ő választott ki és ő nevelt önálló kutatóvá.

A tudományos szervező

Amikor 1936-ban Cambridge-ből hazatért, a Debreceni Egyetem Orvostudományi Fizikai Intézetében (mert ekkor még külön fizikai intézet nem volt, a tanárok és a kutatók készültek az oktatás fizikából ez az intézet látta el) nagyon szegényes viszonyokat talált. Ebből kellett egy olyan intézetet felépítenie, amely a modern, kísérletes fizikaoktatáson kívül lehetőséget teremt nemzetközi színvonalú tudományos eredmények létrehozására.

Alighogy erőfeszítésének eredményei mutatkoztak, kitört a II. világháború, majd jöttek a bombázások és a front átvonulása. Az intézetet bombatalálat érte, az épület egy része megrongálódott. A munkatársak szétszóródtak: hadifogság, külföldre távozás stb. miatt. Szinte mindent előlről kellett kezdeni. A negyvenes évek végétől az ötvenes évek elejétől a Természettudományi Kar megalakulásával az Orvostudományi Fizikai Intézetből a Kossuth Lajos Tudományegyetem intézete, majd Kísérleti Fizikai Tanszék lett. Ezek az átszervezések sok és nagy feladatot jelentettek, különös tekintettel a korábban elképzelhetetlen méretű új oktatási terhelésre.

Mindehhez járult az Atommagkutató Intézet felépítése 1954-től, amely új épületeket jelentett, de még inkább a tudományos kutatási tematikai kialakítását és a megfelelő kutatók kiválasztását, nevelését.

Így jelent meg Szalay professzor szervező munkája eredményeképpen Debrecen a világ fizikai kutatási térképén, mint ismert és elismert hely.

Az ember

Szalay Sándort mindenki, akinek bármilyen érintkezési pontja volt vele, kemény, gerinces, tisztakezű embernek ismerte. Nem volt kenyere a fúrás, a hátulról támadás, véleményét egyenesen, bárkinek a szemébe mondta. Sokszor a politikusoknak is, a „Pártnak” is, nem egyszer naivság számba menően.

Nem sokkal halála előtt kérdeztem tőle, hogy miként lehet az, hogy őt mindig hagyták dolgozni, míg *Sántha* professzort, a neves agysebész ismeretesen száműzték, munkáját lehetetlenné tették, pedig kifejezetten baloldali volt és – különösen eleinte – igyekezett több mint lojális lenni a kommunista rendszerhez. „Ja, fiam Sántha nem tudta, hogy ezekkel nem lehet parolázni” – mondta nekem Szalay, vagyis ő soha nem rejtette véka alá különállását, szellemi önállóságát, és ezt bizonyos mértékig tiszteletben tartották.

Szalay akadémikusról, az emberről nem emlékezhünk meg anélkül, hogy családjáról ne szólnánk. Feleségével, *Csongor Évával* együtt, aki szintén ismert fizikus, élete végéig az intézetben lakott és itt nevelődtek fizikussá fiai is.

Öröksége

Bármennyire nehéz is – különösen, ha az ember teljességre szeretne törekedni –, befejezésül egy-két gondolattal megkísérlem összefoglalni, hogy mi az, amit nemcsak mi fizikusok, hanem a mai magyar tudományos közösség, sőt ezen a közösségen túl is tanulhatunk, tanulhatnak tőle. Nyilván sok mindent lehet elmondani, bizonyára kissé szubjektív lesz, amit kiemelek.

Mindenek előtt megtanulhatjuk tőle, hogy ne féljünk követni a „természet logikáját”, a természeti folyamatok valóságos útját, ne tekintsük a tudományterületek határait, amelyek csak elménk korlátozottságát jelentik, mert azok a természetben nem léteznek. Legalábbis ne feledjünk túltekinteni konkrét kutatási területünk határain – ez az, amit ma inter- vagy multidiszciplináris szemléletnek neveznek –, vagyis figyeljünk arra, hogy eredményeinknek milyen jelentősége lehet közeli-távoli más tudományterületeken, sőt a gyakorlatban. Mind ehhez fontos a kapcsolatépítés, az együttműködés, ami napjainkban kulcsszónak számít a tudományban.

A másik fontos örökségünk az eszközfejlesztés – nyugodtan mondhatjuk –, az eszközfejlesztő kutatás. Egy új kísérleti berendezés, különösen ha az egyedülállóan új, valóban új utakat nyithat a tudományos kutatásban. Az eredeti, új berendezések tervezése és építése a debreceni kísérleti fizikai iskola legfontosabb jellegzetességei és pozitív hagyományai közé tartozik.

Végül, de valóban nem utolsó sorban mesterünk, Szalay professzor legfontosabb örökségét képezi az a gerinces, korrekt magatartás, ami őt mindig jellemezte. Ahogy nekrológiájában elhangzott: „Kutatói, nevelői és vezetői erényei szorgos munkával kiművelt teljes, harmonikus egyéniségéből fakadtak. Következetes, szigorú igényesség, kiegyensúlyozott, igazi teljesítményekre alapozó értékrend irányította saját életét és munkatársai, tanítványai kiválasztásában és formálásában követett gyakorlatát. Nevelőként és vezetőként a tehetségszelekcióban és a tehetség gondozásában látta az új nemzedék felépítésének kulcsfontosságú kérdését.”

ÉLMÉNYEK, TAPASZTALATOK ÉS EGYÉNISÉGFORMÁLÓDÁS EGY TUDÓS CSALÁDBAN

Szalay A. Sándor

Department of Physics and Astronomy,
The Johns Hopkins University, Baltimore, USA
és Eötvös Egyetem Atomfizikai Tanszék

Nagyon megható itt beszélni, ezek között a falak között, és egy olyan közönség előtt, akik az első találkozásunkra jobban emlékeznek, mint én, mivel akkor még csak két hetes lehettem. Nagyon jó látni, hogy ilyen sokan vannak itt édesapám születésének századik évfordulóján.

András és a saját szemszögemből szeretnék beszélni arról, hogy milyen volt itt felnőnünk Debrecenben, az ATOMKI-ban, egy tudós családban, *Szalay Sándor* gyermekeként. Néhány fényképet időrendi sorrendben felfűztem, és ezek köré csoportosítottam visszaemlékezésemet.

Az első képen a nagypapám látható, aki fizikatanár volt Nyíregyházán, és a nagymamám, *Niedermayer Gizella*, a másodikon pedig három gyermekük. A füleiről egyértelműen megismerni, hogy melyikük édesapám. Mellette testvérei, *Magdi* néném és *Laci* bátyám. Édesapám gyerekkorában elég sokat segített a fizikaszertárban nagypapámnak, például elektromágneses számlálókat építettek. Ennek fogaskerekei hosszú ideig még ott voltak édesapám laborjában.

Az egyetemi éveket átugorva, szeretném itt bemutatni azokat az értékes ajánlóleveleket, amelyeket édesapám kapott. Először *Szent-Györgyi Albert*től, akinél az ultrahang polimerekre gyakorolt hatását ta-

nulmányozta. Erről *Török István* írt mostanában egy nagyon szép cikket, amelyben kiemelte, hogy ez a kutatás jelentette a szonokémia indulását. A második ajánlólevél a későbbi Nobel-díjas *Debye*-tól származik, a harmadik a *Zenneck* professzornál, München-

Szalay Sándor szülei

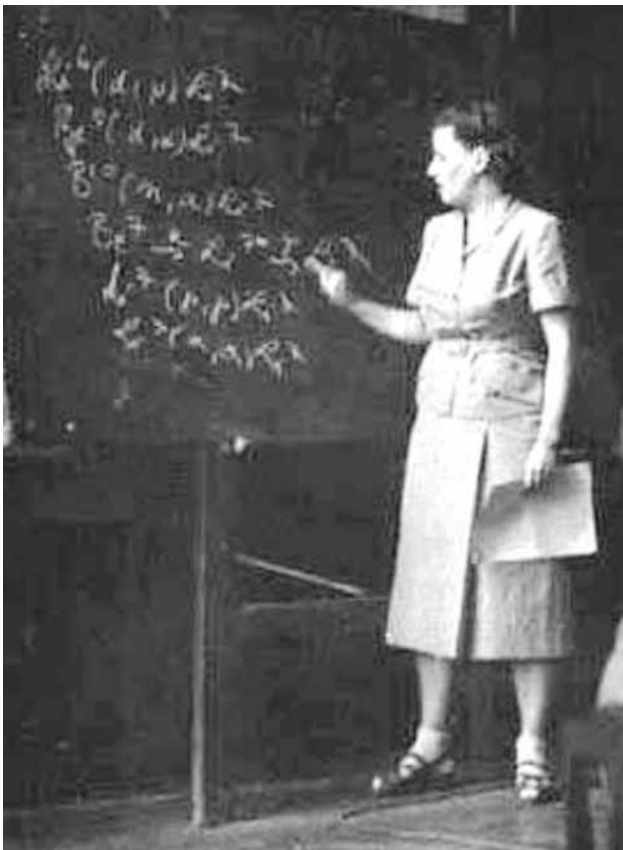




Szalay Sándor és testvérei

ben töltött egy év eredménye. Mellesleg szólva, a Deutsches Museumhoz vezető utcát Zenneck útnak hívják. És itt a *Rutherford*-levél. A Cavendish Laboratóriumban eltöltött hat hónap valóban a legfontosabb volt számára, ő is mindig így emlékezett rá. Olyannyira meghatározóak voltak a cambridge-i hónapok, hogy az ATOMKI falát is vadszőlővel futtatta be, és teniszpá-

Csongor Éva



Szent-Györgyi Albert, Peter Debye, Jonathan Zenneck és Ernest Rutherford ajánlólevelei

lyát is építettett, tehát azt is ott tanulta meg, hogy milyenek kell lennie egy intézet hangulatának.

Röviddel azután hogy hazajött, Debrecenbe került édesapám, az Orvoskari Fizikai Intézetbe. Itt hamarosan elkezdte a kísérleti magfizikai csoport felépítését, később pedig összeházasodtak édesanyámmal, *Csongor Évával*.

Azután jöttek a „szenes évek”, az uránkutatás, amihez minden berendezést ők maguk építettek. Ebből az időből arra az anekdotára emlékszem, ami '51 körüli időből származik. Én akkor elég kicsi voltam, úgy két éves. Egy két éves gyerek mindig megy körbe, felfedezi a világot. Akkoriban a lakásunk a laboratóriummal teljesen összekeveredett. Nagy tálcákban volt az elemzésre váró megdarált szénpor az asztalokon. Én az asztal szélébe kapaszkodtam, és úgy járkáltam. El lehet képzelni, mi történik, amikor egy asztal szélén ilyen nagy, szenes tálcák vannak, és egy gyerek ezekbe belekapaszkodik... Erről nem találtam meg a fényképet, de állítólag létezik egy kép arról, hogy hogyan borult a fejemre egy láda szénpor. Eléggé látványos volt az eredmény.

Találtunk egy érdekes levelet. Ezt a Terhivatalnak írta Édesapám, a levélből ítélve arra utasították, hogy adja át uránkutatással kapcsolatos eredményeit a Nehézevegypari Kutatónak. A levél lényeges pontjai a következők:

1. A szén-urán problémával általánosságban és minden vonalon magam kívánok foglalkozni.

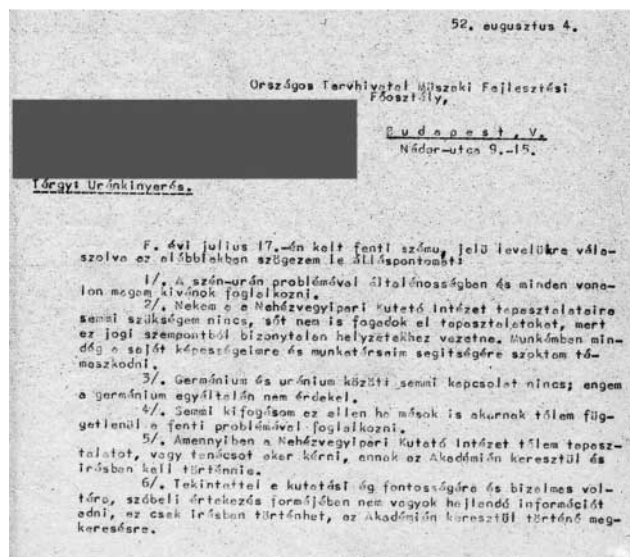


Az uránkutatás időszaka, műszerei

2. Nekem a Nehézvegyipari Kutató Intézet tapasztalataira semmi szükségem nincs, sőt nem is fogadok el tapasztalatokat, mert ez jogi szempontból bizonytalan helyzetekhez vezethetne. Munkámban mindig a saját képességeimre és munkatársaim segítségére szoktam támaszkodni. – Ebben annyira benne van a személyisége.

3. Germánium és uránium között semmi kapcsolat nincs; engem a germánium egyáltalán nem érdekel. – Ez is egy nagyon finoman sejtetett gondolat.

Szalay Sándor levele a Tervhivatalnak...



4. Semmi kifogásom az ellen, ha mások is akarnak tőlem függetlenül a fenti problémával foglalkozni.

5. Amennyiben a Nehézvegyipari Kutató Intézet tőlem tapasztalatot, vagy tanácsot akar kérni, annak az Akadémián keresztül és írásban kell történnie.

6. Tekintettel e kutatási ág fontosságára és bizalmas voltára, szóbeli értekezés formájában nem vagyok hajlandó információt adni, ez csak írásban történhet, az Akadémián keresztül történő megkeresésre.

Aki az ötvenes évek elején ilyen levelet írt, annak igen karakánnak kellett lennie. Mikor Andrással ezt a levelet megtaláltuk, csak kapkodtuk a levegőt.

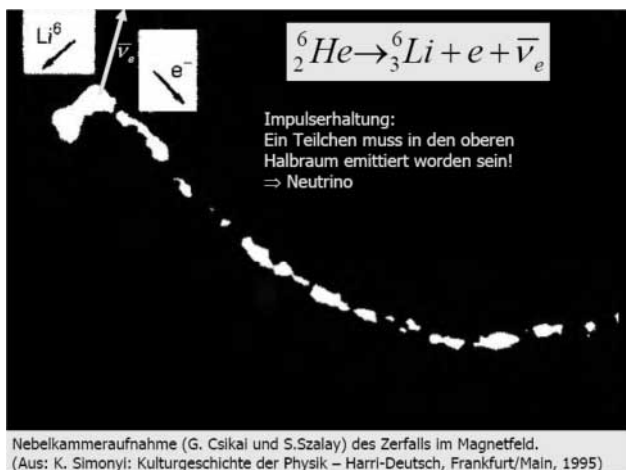
Az intézet gyarapodott, megtervezték, majd felépítették a Van de Graaff-gyorsítót. Ebből az időből arra emlékszem, hogy volt egy fémháló, Andrással ott álltunk mögötte, és óriási villámok csapkodtak a gyorsítóból. Ez is egy hihetetlen és meghatározó élmény volt számunkra. Amikor az ember ilyen dolgokkal játszadozik 5-6 éves korában, néhány millió volttal... bizony, az valahogy befolyásolja.

Ötvenhat volt egy következő érdekes állomás. Ez az a távirat, amit Édesapám küldött a forradalom idején, mert Ő akkor Stockholmban volt. Sokat járt ki a Nobel Intézetbe, jó barátságban volt Siegbahn professzorral és Hevesi Györggyel. Amikor ötvenhatban elkezdődtek a harcok, elindult haza. Prágáig eljutott és onnan küldte ezt a táviratot. Prágából átjött a szlovák részre, és valahol Kassa körül volt a határon. Oda Papp István ment el érte, és még egy valaki a hallgatók közül. Akkor már jöttek is be az orosz csapatok, és Debrecen körbevettek. Édesapámék valahogy a Nagyerdőn keresztül jutottak haza, kerülő földutakon, hogy még az oroszok előtt ideérjenek. Emlékszem, hogy amikor a Papám megérkezett, milyen nagy volt az öröm. Másnap kora reggel az volt az első dolga, hogy gyorsan kiszaladt, volt a kertben egy gödör, amibe éppen barackfát készültünk ültetni, és az előkészítőből az összes éghető vegyszert gyorsan kivitte, belerakta a gödörbe és betemette. A háborús tapasztalataira alapozva azt mondta, hogy ha lövöldözés van, akkor az éghető anyagoknak a föld alatt a helyük.

A hatvanas évek elején volt aztán a híres Marosán-történet, amit valószínűleg sokan ismernek. Én arra em-

...és távirata 1956-ban Prágából

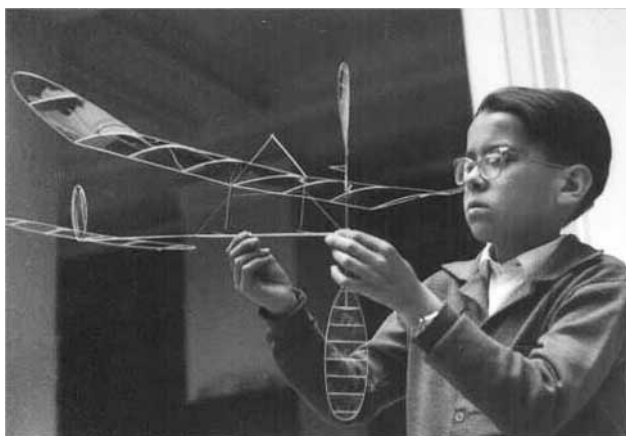




Neutrínó-visszalöködés képe

lékszem, hogy akkor mind a ketten, édesapám, édesanyám valahol, azt hiszem talán Ószödön voltak egy konferencián. Tehát nagymamával voltunk otthon. Este kopogtattak és úgy emlékszem, hogy *Kádár Laci* bácsi és *Haraszti Árpád* bácsi jöttek, és kérdezték, hogy hát itthon van-e édesapád, édesanyád? Mondtam nincsenek, de látszott, hogy baj van. Valahogyan minden nagyon jelentőségteljes volt. Akkor ők nagymamával beszélgettek tovább. Még arra is emlékszem, hogy másnap, az iskolában a többi gyerek kicsit furcsán nézett ránk. Tehát az történt, hogy *Marosán* tartott egy beszédet, aminek a visszaforgó refrénje az volt, hogy „nem szeretnék Szalay professzornak se fia, se lánya lenni”. Azt hiszem, azért mondta ezt, mert édesapám megtagadott egy interjút a szovjet pártkongresszusról a helyi újságnak, és amikor *Marosán* Debrecenbe jött, kérdezte, hogy milyen aktuális helyi téma van. A debreceni újságírók pedig ezt adták neki. Azt mondta *Marosán*: „Ilyen apolitikus tudósokra nincs szükség.” Na, most van egy másik része a történetnek, amit viszont csak mostanában hallottam. Nagyon jó barátságban voltunk a Kálmán-családdal, *Kálmán Béla* nyelvész gyerekeivel együtt nőttünk föl. A gyerekek között akkoriban nagy divat volt az autók rendszámát felírni, gyűjteni. Azon a napon a Kálmán-gyerekek ott voltak az egyetem körül és látták a nagy fekete autókat, és felírták a rendszám-

Szalay András



kat. Hozzájuk lépett egy lódenkabátos ember, és megkérdezte: „Mit csináltak gyerekek?” Azután elbeszélgettek a Kálmán-szülőkkel is... és a végén egy zöld Pobjedában csempészték ki *Marosánt* a városból, mert úgy féltek, hogy imperialista merénylet készül ellene. Úgy-hogy azért volt valami elégtétel a beszéd miatt.

A neutrínókísérlet, a neutrínó-visszalöködés képe azóta is minden tankönyvben és a neutrínóról szóló népszerűsítő cikkben szerepel. A neutrínó az egész családot végigkísérte, de az én életemet különösen. Amikor *Marx Györggyel* kezdtem dolgozni, én is a neutrínókon „nőttem fel”, és azután is, valahogy az egész életemen át visszatértem hozzájuk. Azok az ötletek, amelyek a Gyurkával való együttműködés során merültek fel, lényegében a mostani kozmológiai kutatásaimnak is az alapjai, és mind a mai napig, még most is, azokhoz kapcsolódó mérések kiterjesztésén dolgozom.

A kerekesebb születésnapokra az intézet mindig készített egy fényképalbumot Édesapámnak. Azt hiszem, az 54-es albumban – igen, *András* méretéből lehet kitalálni – voltak azok a képek rólunk, amelyek azt mutatják, hogy itt, az intézetben kezdtünk el barátkolni. Nagy hatással volt mindkettőnkre az *Ócsödi Zoltán* körül kialakult modellező kör. A modellező kör tagjai ultrakönnyű repülőket építettek, és a díszudvaron rendeztek repülőversenyeket. *Andrásnak* irtó könnyű keze volt, és egy nagyon-nagyon jó gépet épített, szóval az egyik gépe nagyon jól sikerült, és második lett az országos bajnokságon. Akkor olyan 10 éves körüli lehetett, és a budapestiek megpróbálták megóvni az egész versenyt, mert nem tetszett nekik, hogy egy 10 éves gyerek megveri őket.

Abban, hogy fizikusok lettünk, édesanyámnak nagyon nagy szerepe volt. Egész gyermek- és ifjúkorunkról, neveltetésünkről elmondhatom, hogy a szüleink soha nem nyomtak bennünket a fizika irányába, hanem mindig türelemmel tanítottak, és nagyon érdekes dolgokat láthattunk, tehát egyszerűen a levegőben volt a fizika minden percben. Édesanyám volt az, aki azután leült velünk és módszeresen elkezdett taníttatni. Emlékszem, amikor az előkészítőben ő tartotta az első éves fizikát, mi állandóan ott kószáltunk *Andrással*, és bemásztunk az előkészítőbe. Kivéve akkor, amikor hangtan volt a téma, és a vágóhídról hoztak egy tehéngéget, és egy pumpával átfújták, és tehénbőgés hallatszott. No, akkor egy hétig nem mertem bemenni az előkészítőbe. Ezek az élmények úgy megmaradtak, hogy ebben az atmoszférában valószínűleg nehéz lett volna nem fizikusnak lenni a végén.

Amikor Budapestre kerültem, hogy *Marx Gyurkával* dolgozhassak, akkor édesapám egy dolgot kötött ki, azt, hogy: „Akkor mehetsz Pestre édes fiam, hogyha az Eötvös Kollégiumban fogsz lakni.” És tényleg igaza volt, számomra és ezek szerint számára is az Eötvös Kollégium nagyon lényeges állomás volt az életben. Mindkettőnknek az, hogy nem feltétlen és kizárólag fizikusok között, és nem kommunista légkörben lehetett felnőni, hanem az Eötvös Kollégiumban, nagyon lényeges dolog volt.

A Mamám indított el bennünket a *Matematikai Lapok* irányába, a különböző tanulmányi versenyekre. Mi soha nem éreztük úgy, hogy itthon nyomás lett volna. Segítséget, induló sebességet biztosan kaptunk, habár ez néha kicsit másképp zajlott le, mint ahogyan ezt mások gondolták. Jellemző történet a következő. Behívtak másodikos koromban az Arany Dániel matematikaverseny második fordulójába. Azt hiszem a Fazekas Gimnáziumban volt a második forduló. Amikor kiosztották a tételeket, mindenkinek oda kellett menni, igazolni magát, hogy ki ő, és akkor név szerint megkaptuk a tételeket. A tanár, aki kiadta a tételt, rám nézett, és azt mondta: „Ó, hát behívták a papa miatt.” Én akkor rettenetes dühös lettem, és minden erővel koncentráltam, hogy megmutassam, hogy nem azért vagyok ott, és azt hiszem, megosztott első-második díjat kaptam abban az évben. Soha nem akartunk abból előnyt kovácsolni, hogy a szüleink megbecsült egyéniségek és fizikusok voltak. Egész életünkben azt tanultuk, hogy amit el akarunk érni, azt a saját erőnkől kell elérnünk, a saját munkánkat magunknak kell elvégezni, a saját tehetségünkre építeni – ez állandó téma volt a családban.

A különböző, közismert és nevezetes vendégek jelenléte életünkben szintén meghatározta a családi légkört. Körülbelül két éves vagy három éves lehettem, amikor először jött *Erdős Pál* hozzánk vacsorára. Később Balatonvilágoson is gyakran beszélgettünk. Számunkra Ő volt az a bácsi, aki mindig bűvésztükkökkel szórakoztatta a gyerekeket, amelyek aztán sose sikerültek. Ezek az első emlékeim Erdős Pálról. Egy szer sokkal később, miután már többször voltam Amerikában, Balatonvilágoson sétáltam vele a parkban, és kérdezett valamit kozmológiáról, majd azt mondta: „Tudja-e, hogy ezt utoljára az Alberttől kérdeztem?” Természetesen ilyenkor az embernek borsózdik a háta. *Feynman* és *Zel'dovich*, tehát a század legnagyobb fizikusai fordultak meg nálunk, és valahogy érződött a viselkedésükön is, hogy ők is milyen hihetetlen módon respektálták azt a légkört és a magas színvonalú fizikát, ami itt Debrecenben volt.

Szalay András és John McLaughlin



Csongor Éva

A zenélés időnként érdekes konfliktus forrása volt. Apám elég zord volt a zenélés irányában, és végig morgott, ameddig zenéltünk. A Mamám ezzel szemben – igazi mama volt – mindenben támogatót minket. A magyar popzenészek nagy része, *Zorántól* kezdve *Koncz Zsuzsáig*, *Presserig*, rendszeresen felbukkantak nálunk. A Mamám mindig nagy vacsorákat főzött nekik. A fizikus atmoszféra hatása alól *Hobo* se tudta kivonni magát. Az egyik ilyen vacsora után egy papírlapra mókás szöveget írt a számunkra. A Mamám levelei között például találtunk egy nagyon szép levelet, amelyet Zorán írt Neki. Tehát a Mamám teljes szívvel segítette a zenélésünket. A Papám csak akkor kezdett egy kicsit megbékülni, amikor már egyszer a tv-ben játszottunk a *Ki mit tudon*. Azt tv-n végignézte, ennyire volt hajlandó. Változott a helyzet, amikor András, még általános iskolás korában elkezdett különböző hangszereket építeni, először egy gitárt. Amikor a Papám látta, hogy ezzel elektronikát tanulunk, akkor már nem volt olyan mogorva, ez már közelebb állt valahogy az Ő gondolkozásához is. Ezen a képen András éppen *John McLaughlin*nal látható, aki a világ egyik leghíresebb gitárosa, és akinek András épített egyedi igényeket kielégítő elektromos hangszereket. Ez a hobbi, ami itt indult Debrecenben, és amihez itt tanultuk az elektronikát, András egész életét kitöltötte.

Számítógépek. Az ATOMKI első PDP számítógépeinek is van egy jó története a Tervhivatallal. Édesapám szeretett volna egy PDP-gépet venni az ATOMKI számára, elment a Tervhivatalhoz, ahol közölték vele, hogy hát azt nem lehet. Viszont ők adnak egy Videoton komputert, amit a Videoton tervezett, igaz, hogy



Ifj. Szalay Sándor

nincs operációs rendszere, csak azt kellene megírni. Erre apám határozottan kijelentette, hogy mi nem építeni akarunk komputert, hanem használni. Végül is rendelt egy sokcsatornás analízátort, aminek ez a számítógép a része volt, és így jött be a gép. Én is a diplomamunkámat a Papa laborjában levő Hewlett-Packard-gépen csináltam, mert azon volt grafikus plotter, meg egy mágneskártyával lehetett programozni, bár összesen csak 4 kbyte memória volt benne. Itt az ATOMKI-ban világszínvonalú elektronika volt, és mi ebben nőttünk föl, és ezt ismertük. Megesett az is, amikor *Kuti Gyulával* dolgoztam és a pesti CDC-gépen számoltunk az Akadémián, inkább lejöttünk Debrecenbe egy hétre Gyuszival és *Hasenfrazt Péterrel*, mert egy határidős cikkel Debrecenben tudtunk csak

Szalay Sándor szmokingban



időre elkészülni. Innen könnyebb volt (a budapesti CDC-gépen) dolgozni, mint Pesten, az Akadémián.

Svédországban nagyon szeretett lenni édesapám, nagyon sok barátja volt ott. A 80-as évek közepén Siegbahn professzor (akkor a Nobel-díj bizottság titkára) meghívta a Nobel-díj kiosztó ünnepségre. *Meskö Laci* csinálta ezt a fotót, amelyen látszik, hogy mennyire élvezte, hogy most ő szmokingban van. Nem volt a szokásos ruházata, de nagyon-nagyon boldog volt, hogy ilyen alkalommal viselhette.

A Tisza-parton nagyon sok időt töltött, és nagyon szeretett horgászni, de nem sok halat fogott. Mégis ilyenkor volt a legrelaxáltabb. A horgászás szeretete az unokákra is ráragadt, olyannyira, hogy az unokák 12 éves korukra több halat fogtak, mint a nagypapa egész életében összesen. A három unoka, ma már felnőtt, *Tamás* és *Péter* 22 évesek, *Dani* pedig 20. Pétert még az ölében tarthatta édesapám. Amikor 1987-ben Tamás megszületett és telefonáltam a kórházból, akkor édesapám még otthon volt, de mire le tudtunk jönni Debrecenbe, addigra már bent volt az intenzív osztályon. Még sikerült bemenni hozzá, és nagyon-nagyon meg volt hatódva, amikor látta az új unokát. Édesanyám sokat foglalkozott az unokákkal. Nagyon-nagyon sok szeretettel taníttatta őket is fizikára és matematikára. És egészen az utolsó éveigiig állandó figyelemmel kísérte, hogy mit csinálnak.

Volt egy kedves vicce apámnak, amit sokszor elmesélt. A tudomány mezejéről szólt. A tudomány mezején gyönyörűen zöldell a fű és pompáznak a virágok, de azért van rajta elég sok és nagy kiterjedésű rész, ahol már kevesebb a virág, és csak gyéren nő a fű. „Ezek az alaptudományok, a fizika, a kémia, a biológia. Az ezeken a szűkös és szerény részekeken kívül lévő bő termő tájon nagy virágok nőnek és a fű is magas.” Ekkor tartott egy kis szünetet, elmosolyodott és azt mondta: „Ezen a helyen minden marha tud legelni!”

Édesapám soha nem adta fel elveit, soha nem választott könnyű utat, saját szavait a legjobb idézni korábbi leveléből: *Munkámban mindig a saját képességeimre és munkatársaim segítségére szoktam támaszkodni.*

Szalay Sándor unokái



Mai fejjel látom, hogy az akkori körülmények között, vagy inkább azok ellenére is, milyen világszínvonalú volt a fizika Debrecenben. Nem tudok elképzelni ennél jobb példaképeket és stimulálóbb gyermekkort, mint amiben részünk volt. Szüleink hatása még az unokákra is átsugárzott, Tamás fiam is úton van, hogy fizikus legyen. Ő képviseli a negyedik fizikusgenerációt családjunkban. Feleséggel, *Katival* próbáltuk Tamást is ugyanebben a szellemenben felnevelni.

Az ATOMKI-ban, a Kísérleti Fizikai Intézetben családjunk nem csak 4 főből állt, hanem egy sokkal nagyobb, kiterjesztett család részei voltunk, és ez valahogy megintcsak meghatározó volt. Ez a kép mutatja, hogy a szalonnasütésen, mi is ott ültünk, és sütöttük a szalonnát az Intézet kertjében.

Andrással együtt szeretnénk megköszönni szüleinknek azt a sok szeretetet, ahogyan gyerekes kérdéseinkre izgalmas válaszokat kaptunk. Ha valaki, akkor mi elmondhatjuk, hogy a szó szoros értelmében az anyatejjel szívtuk magunkba a fizikát és a napi politikától független élet- és értékrendet. Köszönjük az egykori tanítványoknak, hogy ők is annyi türelemmel foglalkoztak velünk, kisgyermek korunktól egyetemista korunkig – ahogy a műhelygyakorlatokat mi is végigcsinálhattuk a hallgatókkal, ahogy bemehettünk a laborgyakorlatokra, ahogy megtanultuk az elektronikát az ATOMKI-ban, ahogy megírtuk első cikkeinket, és lejátszottuk a mindennapos teniszmeccseket a tenispályán. És köszönöm a mostani generációnak,



Szalonnasütés az ATOMKI udvarán

hogy szüleink emlékét és a legjobb értelemben vett tradícióit ilyen szépen megőrizték.

Köszönöm a figyelmet.

További olvasnivalók:

http://www.atomki.hu/100_Szalay/index.html

Berényi Dénes: Szalay Sándor, az ember. *Fizikai Szemle* 54/5 (2004) 172.

Marx György: A magfizika megérkezése Magyarországra, tisztelegés Szalay Sándor életműve előtt halála 10. évfordulóján. *Fizikai Szemle* 47/9 (1997) 274.

Kovács Ádám: *Szalay Sándor és a debreceni fizika*. Előadás a 37. Középiskolai Fizikatanári Anketon, Debrecen, 1994.

Kovács Ádám: Szalay Sándor 80 éves lenne, és az ATOMKI 35 éves. *Fizikai Szemle* 40/1 (1990) 29.

Török István: Szalay Sándor a szonokémia előfutára. A Friss Rádió *Jövönéző* című műsorában 2007. 12. 02., www.atomki.hu/jovonezo

A HAZAI URÁN

Hamvas István
Paksi Atomerőmű Zrt.

Ifjabb Szalay Sándor érzelemdús, emlékekkel teli előadása igen közel hozta hozzánk az ATOMKI alapítójának egyéniségét. Az, amit én elmondani tudok *Szalay Sándor*ról, nyilván nem lehet ennyire személyes élményeken alapuló, hiszen saját emlékeimre nem támaszkodhatom. Ilyen értelemben távolság volt köztünk. Amiről beszélni szeretnék – az urán kutatás és a magyar atomenergetika – azonban szellemiségében és megvalósulásában is kapcsolódik ahhoz, egyenes folytatása annak, amit Szalay Sándor itt Debrecenben alkotott.

A paksi atomerőműben dolgozó volt debreceni diákok nevében mindenkit szeretettel köszöntök, és megköszönöm azt a lehetőséget, hogy ezen az ünnepi megemlékezésen Szalay Sándor professzor úr életútjáról az atomenergetika szemszögéből nézve pár szót szólhatok.

Ha az urán történetét nézzük, akkor élményeikről a nálam idősebbek sokat tudnának mesélni. Tény, hogy az urán kutatás és -bányászat történetében generációmnak, nekem nem lehetett részem. Ezért inkább arról

mondok el néhány gondolatot, amit mi kaptunk abból az időszakból, amit innen, a debreceni fizikus iskolából hoztunk, itt láttunk, hallottunk, és amit mi a paksi fizikusi műhelyben napról napra hasznosítottunk.

Amikor döntések születtek az '50-es évek Magyarországon a nukleáris energetika létrehozásáról, akkor első és legfontosabb feladat volt, hogy legyenek megfelelően képzett hazai szakemberek. Olyan szakemberek, akik a háború utáni években hitelesek voltak a döntéshozók szemében, akik meg tudták győzni az ország gazdasági fejlesztéséért felelős vezetőket olyan új technológia bevezetéséről is, mint a nukleáris energetika. Szükség volt olyan képzett szakemberekre, akik az ilyen horderejű döntések előkészítésében helytálltak, az elhatározott feladatokat végre tudták hajtani. Mindezeket túl üzemeltetni tudták az így születő intézményeket, gyárat, illetve a mai napig fejleszteni tudják azokat. Az 1950-es években, amikor még csak elkezdődött a nukleáris energetika iparág fejlődése, nem lehetett elvárni, hogy az egyetemekről olyan arányban kerüljenek ki szakemberek, mint ahogy az abban az idő-



1. ábra. Az urán

ben szükséges lett volna. Ráadásul a háború utáni időszakban az energetikai kérdések, az ország energiaellátásának megoldása nagy kihívás volt. Nukleáris kérdésekben képzett szakember abban az időben nagyon kevés került ki az egyetemekről.

Éppen ezért volt rendkívül fontos Szalay Sándor professzor úr iskolateremtő tevékenysége, így pályájának az 1950–54-hez köthető része, amikor a Kísérleti Fizikai Intézet (KIS-FIZ) és az Atommagkutató Intézet (ATOMKI) is megszületett. Ekkor itt Debrecenben intézményesen is elindult egy olyan fizikusképzés, amelyre mind a mai napig az atomfizika, illetve a magfizika jellemző. A KIS-FIZ és az ATOMKI fogalom azok körében, akik itt dolgoztak vagy itt tanultak. Nagyon fontos volt az a szellemiség, az a légkör, ami az intézetekben működött, az a kapcsolat a tanárok és a diákok között, aminek mi részesei lehettünk. Ez a viszony jóval több volt annál, mint pusztán az oktatást végző tanár és a fizikát tanulni akaró diák között lenni szokott. Meghatározó szerepet játszott ebben az a patronáló tanári rendszer, amelynek keretében minden diákról – ha akarta, ha nem – valamelyik tanár gondoskodott. E kapcsolat révén nagyon sok olyat kaptunk, ami nem oktatási feladat, hanem – így fogalmaznék – alkotó emberré nevelés volt. Akik itt tanultak, azok

2. ábra. A magyar urán indul Oroszországba



ebből a szellemiségből biztosan vittek magukkal oda, ahová szakmai pályájuk sodorta őket. Nyugodtan elmondhatom, hogy Pakson, a paksi atomerőműben dolgozó fizikusok sikereiben, eredményeiben fontos szerepe van ennek a sok jónak, a nevelésnek, amit az ott dolgozó volt debreceni diákok a KIS-FIZ-en kaptak. Erre mi büszkék vagyunk. Úgy gondoljuk, hogy azt a célt, amelyet Szalay Sándor professzor úr megfogalmazott, amely szerint „ha el akar valamit érni Debrecenben, akkor a legfontosabb, hogy tehetséges fiatalokat gyűjtsön maga köré” – sikerült elérnie. Túl azon, hogy neki sikerült, a tanítványai is képesek voltak átadni ezt a szellemiséget, és így hatása mind a mai napig, tehát évtizedeken át érezhető.

Másik terület, amelyről szeretnék pár szót szólni, az urán (1. ábra) kutatása. Megismerve Szalay Sándor egykori kutatásának nehézségeit és szépségeit, szívesen lettem volna részese e fáradozásnak. Az uránkutatás elkezdése bölcs, előrelátó gondolkodásról vall. Szalay Sándor professzor lényegében energiapolitikusi megfontolásból kezdte el ezt a munkát. Láttá, hogy Magyarországon a háború utáni fejlődés alapfeltétele az energiaellátás. Tudta, hogy Magyarország vízenenergia-potenciálja rendkívül kicsi, hiszen területének nagy része sík vidék. Az ország szénvagyona kevés, kőolaj- és földgázkészlete is csekély. Mindezekről már akkor lehetett tudni, hogy csak töredékét tudják biztosítani annak, ami Magyarország számára az elkövetkező időszakban szükséges lesz.

Rögtön azután, hogy a 40-es évek végén világossá vált, a nukleáris energia békés célokra is felhasználható, Szalay Sándor azonnal elkezdte azt a munkát, amit uránkutatási tevékenységeként emlegetünk itt a mai napon. Ő már akkor előre látta, hogy Magyarországon az energiaellátás szempontjából fontos szerephez fog jutni az atomenergetika, és az ehhez szükséges feltételek megteremtése érdekében célszerű minél hamarabb megkezdeni az uránkutatást. Ráadásul tette ezt úgy, hogy az akkori meghatározó szakmai álláspont szerint a geológiai adottságunkat tekintve nem sok esélyük volt azoknak, akik Magyarországon kezdenek el uránt kutatni. Mindezek ellenére Ő olyan úttörő munkát végzett, amelyet a magyarországi uránkutatás hőskorára jellemzőnek lehet mondani. Az uránkutatás nem vezethetett volna sikerre azok nélkül az ötletek, illetve kitartó munka nélkül, amit akkor Szalay Sándor és kollégái fölmutattak. Az ő munkájuk eredményeképpen megkezdődhetett a hazai iparszerű uránkutatás, kedvező eszközellátottsággal és feltételekkel, és már azokkal az ismeretekkel, amelyeket Szalay Sándor professzor úrtól kaptak a szakemberek. A kutatás eredményes volt, és az 1947-es kezdethez viszonyítva igen gyorsan, már 1955-ben, a Mecsekben megkezdődhetett az urán bányászata.

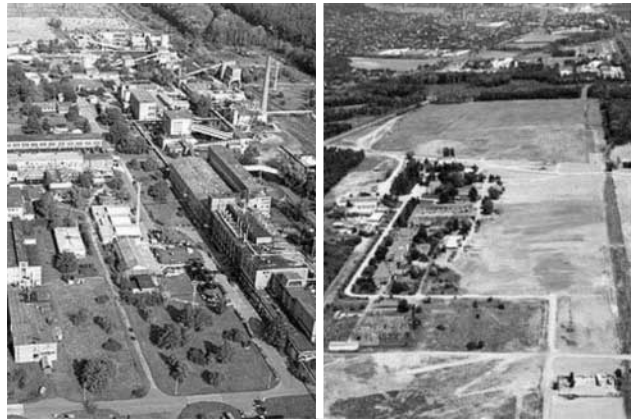
A kibányászott urán – bár világviszonylatban nem volt óriási jelentőségű – fontos volt, és büszkék is lehettünk arra, hogy létezik magyar urán. Közel negyven évig működött az uránbánya, ez alatt az időszak alatt alapvetően minden kibányászott uránt Szovjetunióba, majd Oroszországba szállítottak (2. ábra).

1. táblázat			
A mecseki uránbányászat korszakai és jellemzői			
időszak	termelés célja	uránfém-termelés (t)	paksi felhasználás (t)
1955–1979	szovjet export	12 866,5	
1980–1990	szovjet export–magyar import	5 994,2	3 066,6
1991–1997	paksi export-feldolgoztatás	2 239,3	2 465,0
összesen		21 100	5 531,6

Annak az uránnak persze sok köze nem volt a paksi atomerőműhöz, és a benne használt üzemanyaghoz. Mégis, a magyar uránkitermelés gazdasági hatásai érezhetőek voltak, és bizonyos értelemben előkészítették a magyar nukleáris energetika kialakulását és fejlődését. Ez alatt a közel negyven év alatt 21 000 t-nál több fémes uránt termeltek ki, ami közel kétszer annyi, mint amennyit eddig elhasználtunk Pakson (1. táblázat). Ez a 21 000 t még akkor is elegendő lenne a paksi atomerőmű működtetéséhez, hogyha a meghosszabbított élettartamot, az elkövetkező 20–25 évet is figyelembe vesszük, tehát akár 2037-ig. Az uránbányászat negyven éve a magyar atomenergetika hőskorszakának is tekinthető. Ugyanis kicsi, mindössze 0,1% volt a kitermelt érc uránkoncentrációja, emiatt a 40 év alatt közel 50 millió tonna kőzetet kellett kitermelni. A geológiai adottságok a kitermelés szempontjából igen kedvezőtlenek voltak, ezért 1200 km hosszban kellett vágatokat létrehozni, 1400 m mélységig kellett lehatolni. Ez nagyon kemény munka volt. De ebben az időszakban, a hidegháború időszakában nem számított, föl se lehetett tenni a kérdést, hogy gazdaságos-e ez a tevékenység, avagy nem. Az uránbányászat nagy előnyeként lehet elmondani, hogy abban az időben sok ezer embernek, csúcsteljesítmény mellett 8000 embernek munkát, megélhetést adott. Ez mai szemmel nézve is jelentős.

Az 1990-es évektől kezdődően, a hidegháborús időszak után, ahogy a piacgazdaság Magyarországon bevezetésre került, az érdeklődés orosz részről a magyar urán iránt megváltozott. Már csak azt az uránt vették át, amit Magyarország el is használt. Gazdasági szempontok előtérbe kerülésével nyilvánvalóvá vált, hogy a világpiacon körülbelül feleannyiért lehet megvenni az uránt, mint amennyiért azt Magyarországon kitermelik. Kezdetben a paksi atomerőműnek kellett megvennie a magyar uránt, hogy feldolgoztassa Oroszországban, és végül felhasználja. Ez nyilvánvalóan többletköltséget jelentett. Végül egy tüzeset adta helyzet hatására 1997-ben megszületett a döntés, a bányát végleg bezárták (3. ábra).

Ebben az időszakban a nukleáris technika magyarországi fejlődésével párhuzamosan zajlottak az atomerőmű megépítése körüli munkálatok, amelyek időigényüket tekintve jóval nagyobbak voltak, mint az uránkutató és a bányamegnyitás. Azok a szakértők,



3. ábra. Éredúsító Üzem vegyi feldolgozó, egykor és most

akik Szalay Sándor iskolateremtő munkájának eredményeként kerültek ki az egyetemekről, nagy mértékben hozzájárultak a döntés meghozatalához. 1964-ben merült fel a gondolat, 1966-ban már meghozták a döntést és szerződést is kötöttek az oroszokkal négy atomerőművi blokk megépítéséről. A tervezés időszaka nem volt egyszerű, a kormány többször változtatott álláspontján. Így például 1970-ben kormányzati szinten született döntés az építkezés elhalasztásáról. A végleges döntést az 1973-as olajválság hozta meg: az atomerőművet meg kell építeni. 1982-ben a paksi atomerőmű egyes blokkja elindult. Ennek az eseménynek is van a Kísérleti Fizika Intézettel kapcsolata, nevezetesen az, hogy a debreceni KIS-FIZ-en tanuló valamikori diáknak adatott meg, hogy Magyarország első atomerőművének kritikussá tételét levelezni lehetett.

Ezt követően 1984-ben elindult a kettes, 86-ban a hármas, majd 1987-ben a négyes blokk is. Ebben az időszakban alakult ki az atomerőmű pozíciója a hazai villamosenergia-rendszerben (2. táblázat). A nukleáris erőmű azóta több mint 1800 MW villamos teljesítménnyel 37–40% arányban vette ki részét a hazai villamosenergia-ellátásból. És nem mellékes az sem, hogy a nukleáris energiatermelés mindig is a lehető legolcsóbb volt Magyarországon, és ezért a mindenkori kormányzat szociálpolitikai célkitűzéseinek eszköze is lehetett.

Ha figyelembe vesszük a kőolajár nemrégiben rekordot elérő nagyságát, a gázkrízist, aminek csak egy jele volt ez év elején a gázcsapok elzárása, továbbá a ma már vitathatatlan klímaváltozást, akkor elmondható, hogy a nukleáris energetika szerepe jelentősen

2. táblázat	
A paksi atomerőmű éves termelése kiváltható:	
üzemanyag	mennyiség
szén	~4,0 millió t
olaj	~2,6 millió t
gáz	~2,9 milliárd m ³
biomassza	~15,8 millió t

3. táblázat

1 GWév elektromosenergia-termelés üzemanyagigénye

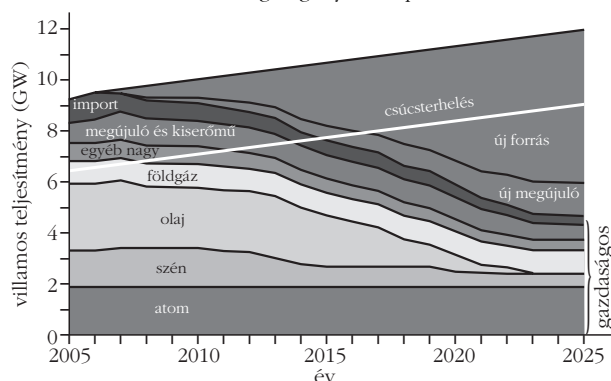
üzemanyag	mennyiség
szén	2,5 millió t
olaj	1,6 millió t
gáz	1,8 milliárd m ³
urán	20,0 t

felértékelődött az elmúlt időszakban. Felértékelődött az ellátásbiztonság, a versenyképesség és a környezetvédelmi vonatkozásait tekintve. Évekkel ezelőtt az atomenergetika megítélése a környezetvédelem szempontjából negatív volt. Ma már viszont egyre több környezetvédelmi szakember fogalmazza meg azt a véleményét, hogy a megújuló energiaforrások alkalmazása mellett a klímaváltozás elleni küzdelem másik alappillére a nukleáris energetika.

Ez érthető is, ha csak arra gondolunk, hogy az atomerőművek szén-dioxidot nem bocsátanak ki. Környezetvédelmi szempontból ez már önmagában is igen fontos. Az atomerőművekben közel öt nagyságrenddel kevesebb hulladék képződik, mint a szénerőművekben (3. táblázat). Öt nagyságrenddel kevesebb hulladék képződése esetén könnyen megtehető az, amit a nukleáris ipar megtesz: a keletkező hulladékot gyűjti, konszolidálja, és ellenőrzött tárolja. Ma a szén elégetésével keletkező szén-dioxiddal, annak hatalmas mennyisége miatt nem lehet mást tenni, csak azt, amit az emberiség eddig tett, főlhígítja és szétszórja a környezetben. Ma az atomerőművek a környezetvédelmi célkitűzések elérésének fontos eszközeit jelentik. Emiatt értékelődött fel az elmúlt időszakban a nukleáris energetika a környezetvédők számára is.

Mi a jövője a nukleáris energetikának Magyarországon? Azt tudjuk, hogy az elöregedés miatt, és egyéb okokból leállítandó erőművek termelés kiesése, illetve az időben viszonylag állandó, évente 1,5–2%-os mértékben növekvő villamosenergia-igény eredőjeként 2025-ig 6–7 GW villamosenergia-kapacitást kell Magyarországnak megépíteni (4. ábra). Ez majdnem a duplája annak a kapacitásnak, ami jelen pillanatban aktívan működik. Ha áttekintjük hazánk geopolitikai

4. ábra. A villamosenergia-igény és -kapacitások változása



helyzetét, számba vesszük a megújuló energiaforrásokat, és elgondolkodunk azon, hogy a ma meglévő gázszolgáltatás mennyire tesz bennünket kiszolgáltatottá (az általunk használt gáznak 90%-a orosz területről érkezik), fel kell tennünk a kérdést, hogyan fogjuk ezt a 6–7 GW kapacitást létrehozni. Ezeket a szempontokat figyelembe véve, egyértelműen kimondható, hogy ebben a kapacitásban a nukleáris energetikának mindenképpen részt kell vállalnia.

Ez a világban egyébként elfogadott, így gondolkodnak, és a nukleáris reneszánsz jegyében alapvetően három úton növelik az atomerőművek kapacitását. Ez a három módszer a teljesítménynövelés, a meglévő blokkok tervezett üzemidejének meghosszabbítása, és új atomerőművi blokkok építése.

Magyarországon mi is ugyanezt az utat járjuk. A teljesítménynövelést mind a négy blokk esetében már végrehajtottuk. Pontosabban két hét múlva tesszük meg az utolsó blokkon is azt a lépést, aminek eredményeképpen a blokk teljesítménye a kívánt 108%-ra növelhető. Ezzel a paksi atomerőműben az elmúlt évek munkájának eredményeként létrehoztunk egy, a magyarországi mértékkel mérve közepes erőművi kapacitást, rendkívül olcsó áron.

Az üzemidő-hosszabbítás is fontos kapacitásnövelő módszer, amit már elkezdtünk. E célkitűzést az Országgyűlés is támogatja, döntésével elősegítette, hogy az előkészítést megkezdjük. A környezetvédelmi engedélyt már megszereztük és a hatósági engedélyezési folyamat is elindult. A tervezett üzemidő 1982-t követő 30. évben, 2012-ben, igen közeli időpontban lejár. Már 2003-ban elkezdtük annak biztonsági megalapozását, hogy minden fontos követelmény maradéktalan betartásával, a meglévő biztonsági tartalékok felélése nélkül a paksi atomerőmű továbbüzemeltethető legyen. Az elemzések alapján minden esélyünk megvan arra, hogy 2012-ben az üzemidő hosszabbításra vonatkozó engedélyeket megkapjuk, ami azt jelenti, hogy a paksi atomerőmű blokkjai további 20 évig, emelt teljesítménnyel fognak működni.

A harmadik kapacitásnövelő tevékenység az új atomerőművek építése. Új atomerőművi blokk építésének kérdésével a hazai szakemberek is foglalkoznak. Az eddigi vizsgálataik alapján kimondható, hogy ez a terv reális, finanszírozható, a hazai jogszabályok alapján engedélyeztethető, és gazdaságosan megvalósítható. Ebben a kérdésben politikai összhang is van, amit az igazol, hogy ez év március 30-án a parlament több mint 95%-os arányban megadta az elvi hozzájárulását új atomerőművi blokk építéséhez.

Nemcsak mi vagyunk azok, akik tervezik, vagy fontolgatják azt, hogy új blokkot építsenek. Várható, hogy az atomerőművek összkapacitása 2030-ig megduplázódik a világon. Ez már most egy olyan gondolkodást vált ki, amire példát az 1950-es években láthattunk. Előre kell gondolkodni, ahogy Szalay professzor is tette ezt az urán kutatások megkezdése idején. Ha ilyen mértékű, ilyen volumenű termelésre készülnek föl az egyes országok, akkor az egyértelműen oda fog vezetni, hogy a kereslet-kínálat az

uránpiacon megváltozik. Ha erre nem gondolunk, akkor egyszer csak nagyon-nagyon drágán kell beszereznünk az uránt, az olajárrobbanáshoz hasonló hatásokat tapasztalhatunk majd az uránpiacon. Ez a folyamat egyébként már megkezdődött. Hogyha a kereslet tovább nő a kínálathoz képest, akkor nincs kizárva az, hogy a magyar urán ismét szerepet kap, és ismét bányászni fogják, hiszen gazdaságossá válhat. Így gondolja ezt egy ausztrál tulajdonosú energetikai cég is, amely már el is kezdte a Mecsek környéki területeken a kutatást.

Ma a világon az atomerőművek – egy kivétellel – termikus reaktorra, tehát alapvetően az urán 235-ös izotóp hasadására alapozzák az energiatermelést. Azaz az üzemanyag, az urán legalább 97%-a kihasználatlanul marad vissza, ráadásul nagy aktivitású radioaktív hulladék formájában. Ez nagy pazarlás az emberiség részéről, főleg ha figyelembe vesszük a Föld 235-ös urán készletének véges mennyiségét. Nyilvánvaló, hogy itt tenni kell valamit, ami a tudo-

mányos-műszaki kutatóknak óriási kihívást jelent. Azaz adott a helyzet, ami 1950-ben is adott volt. Meg kell találni a megoldást arra, hogyan lehet az emberiség energiaellátását a nukleáris energetikára alapozva úgy biztosítani, hogy az energiahordozók ne merüljenek ki. Ennek a problémának és az atomerőművek működése közben keletkező nagy aktivitású nukleáris hulladékok hosszú távú kezelésének elméleti megalapozása részben már megvan. Ez a gyakorlatban akkor és csak akkor alkalmazható, ha nemzetközi összefogásban, Szalay Sándor professzor úrhoz hasonló alkotó emberek együttműködésével történik a kutatás. Biztos vagyok abban, hogy a már beindult kutatások eredményeképpen, a negyedik generációs atomerőművek kifejlesztésével a problémák meg fognak oldódni, és az atomerőművek az urán 238-ra alapozott üzemanyaggal az emberiséget néhány ezer évig képesek lesznek villamos energiával kiszolgálni. Ez alatt az idő alatt a fúziós energiatermelés is megoldódhat.

SZOLGÁLTATUNK? VAGY SZOLGÁLUNK?

Svingor Éva

MTA ATOMKI Hertelendi Ede
Környezetanalitikai Laboratórium

1971-ben végeztem fizikusként a Kossuth Lajos Tudományegyetemen. A miénk volt az utolsó évfolyam, amelyiknek *Szalay Sándor* előadást tartott. Igazi stréber voltam, minden előadáson az első sorban ültem, jegyzeteltem, és bízást mondhatom, hogy jegyzeteim igen jók voltak. Kivéve Szalay prof előadásait. Az első előadása első percében kiesett a toll a kezemből, tátott szájjal hallgattam és ittam magamba minden szavát. Nem előadás volt, hanem egy igaz ember és nagy tudós hitvallása az életről, a tudományról, a természetéről, az emberről. Nem megtanulni, hanem megérteni és átérezni való. Útmutató, ami egy életre szólt.

Negyedéves fizikushallgató voltam, amikor *Csongor Éva* szeminárium keretében mesélt a radiokarbonról, a fantasztikus lehetőségekről, amiket ez az izotóp kínál, majd átvitte évfolyamunkat az ATOMKI-ba, megmutatta az épülő számlálót, beszélt azokról a nehézségekről, amelyeket a kis energiájú béta-sugárzás és a természetes háttérsugárzásnál jóval kisebb aktivitás méréséhez le kell győzni. Úgy éreztem, erre vágytam: fizika, ami a régészetet szolgálja [1]. Amikor felvételt nyertem az ATOMKI-ba, reménykedtem, hogy teljesül az álmom, de a Prof geokronológiára szemelt ki. Látva csalódottságom azt mondta: „Fiam, a természet csodálatos. Meglátja, bármelyik darabkáját nézi, hihetetlenül izgalmas. Csak jól nyissa ki a szemét!”

Természetesen igaza volt.

A Könnyűelem-analitikai Laboratórium

A Prof egy sokat idézett mondása: „Ha valamit el akarok érni Debrecenben, akkor az a legfontosabb, hogy tehetséges fiatalokat gyűjtsék magam köré.” *Hertelendi Ede*, aki 1974-ben jelent meg az intézetben, egyike volt e tehetséges fiataloknak. Feladatult azt kapta, hogy építsen egy tömegspektrométert, amivel a szén stabil izotópjainak arányát a radiokarbon kormeghatározás kívánalmainak megfelelő pontossággal lehet mérni. A Csongor Éva által épített ^{14}C mérőberendezés ekkor már működött, de a minták ^{14}C aktivitásának pontos mérése nem elég a kor meghatározásához. Egy földbe/vízbe eltemetett szerves anyag (a „lelet”) különböző környezeti hatásoknak van kitéve. Ezek következtében az anyagban lévő szén izotóp-összetétele megváltozhat (frakcionálódás vagy izotópcseré). Ilyen esetben a mért fajlagos ^{14}C aktivitás és az ebből számított kor nem reális, ezért a frakcionálódásra korrigálni kell. A vizek korát a vízben oldott szén (bikarbonát) fajlagos aktivitásából számítjuk. Ennek egy része a talajból beoldott inaktív karbonátból, másik része a szivárgás során beoldott talajgázból származik. Arányukat ismereni kell a kor megadásához. A megoldás: mérni kell a $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ izotóparányt is, ebből mind a frakcionálódás, mind a beoldódási arány becsülhető.

A stabilizotóp-arányt mérő tömegspektrométer 1986-ban készült el, és a $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ mérésén kívül alkalmas a $^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ és $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ arányok mérésé-

re is. A fenti öt elem szinte minden élő és élettelen anyagban megtalálható a Földön, de az elemek izotóp-összetétele – az illető anyag keletkezésének körülményeitől függően – kis mértékben ugyan, de eltérő lehet. Ennek az az oka, hogy bár az izotópok kémiai tulajdonságai azonosak, relatív tömegkülönbségük befolyásolja egyrészt a molekulán belüli kötési energiájukat, másrészt mozgékonyaságukat, ezért nem egyformán viselkednek a különböző fizikai, kémiai, biológiai folyamatokban. Az eltérő viselkedést szigorú fizikai törvények szabályozzák, a kialakult stabilizotóp-arányok a keletkezési folyamatok, körülmények ujjlenyomatai, legyen szó akár geológiai, hidrológiai vagy biológiai folyamatról.

Mit is mondott Szalay Prof? „Meggyőződés, hogy a tudomány szakmákra, szakterületekre való felosztása az osztályozó emberi elme ugyan szükségszerű, de mesterséges terméke. A természet nem ismeri az ilyen szakosítást.” Ede fizikus szemmel nézett bármilyen tudományterületen felvetődött problémára, szagatva a mesterséges gátakat. Minden új kérdés új megoldást követelt, és, hogy ismét Szalay Sándort idézzem: „...ha az ember egy új területen kutat úttörőként, felszerelése jelentős részét saját kezével kell elkészítenie”. Ede számos mintavevő és -előkészítő berendezést épített, amelyek máig a laboratórium pótolhatatlan (kereskedelemben nem kapható) kincsei.

Ede 1998-ban megkapta a Gábor Dénes-díjat. „A díjat a felszín alatti vizek védelme, a környezet radioaktív szennyezettségének vizsgálata, a stabil és radioaktív környezeti izotópok méréstechnikájának fejlesztése, a béta-sugárzó izotópok aktivitáskoncentrációjának meghatározása, a nemzetközi szinten elismert pontosságú, alacsony háttérű radiokarbon mérőrendszer, illetve az ország egyik legkorszerűbb könnyűelem izotóp-analitikai és nemesgáz laboratóriuma létrehozása és az erre alapozott monitoring rendszer kialakítása terén elért eredményeiért nyerte el.” (<http://www.novofer.hu/alapitvany>)

Hertelendi Ede 1999. szeptember 3-án meghalt. Amit ránk hagyott:

- Gazdag műszaki-szellemi örökség,
- Hidak, amiket a különböző tudományágakhoz és a mindennapokhoz épített a fizika és alkalmazott kutatás eredményeinek hasznosításával más területeken,
- A maga köré gyűjtött lelkes és tehetséges fiatalok, akikben saját példájával élesztette a kreatív kedvet, alkotó szellemet, átörökítve a Szalay-hagyatékot.

ATOMKI Hertelendi Ede Környezetanalitikai Laboratórium (HEKAL)

Folytattuk a munkát. Legjobb tudásunk szerint dolgoztunk, de szembe kellett néznünk azokkal a problémákkal, amelyekkel minden magyar akadémiai kutatóhely és felsőoktatási intézmény küzd: az elavult és lerobbant infrastruktúrával, a költségek emelkedésével. Egyre többen kerestek meg bennünket újonnan felmerült problémákkal, de a megoldáshoz, bármilyen

vulgárisan hangzik is, pénz kellett. A berendezéseink világszínvonalúak voltak, de kapacitásuk véges, már nem tudtunk lépést tartani az igényekkel. A „szolgáltatásainkért” kapott pénz a túléléshez alig volt elég, nemhogy a fejlesztéshez. A megoldást Ede egy „súlyosan fertőzött” tanítványa, *Veres Mihály* kínálta, aki diplomája megszerzése után az iparban helyezkedett el, majd saját céget alapított nukleáris biztonságtechnikai berendezések kifejlesztésére, méréstechnikák kidolgozására, környezetvédelmi mérésekre. Kapcsolata a csoporttal soha nem szakadt meg, sőt egyre több munkát végeztünk közösen a Paksi Atomerőmű Zrt. és a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Kft. (RHK Kft.) számára. 2006-ban az ATOMKI és az Isotoptech Zrt. 25 évre szóló bérleti és együttműködési szerződést kötött. Az Isotoptech Zrt. – ATOMKI a Baross Gábor program támogatásával felújította a Környezetanalitikai Laboratórium teljes infrastruktúráját, a megújult laboratórium tiszteletünk és hálánk jeléül felvette Hertelendi Ede nevét.

A név kötelez. Az idén volt halálának 10. évfordulója. Szeptember 4-én *Múlt – jelen – jövő* címmel egész napos tudományos ülést szerveztünk tiszteletére, amelyen partnereink segítségével igyekeztünk bemutatni, hogyan sáfárkodtunk örökségével. Az ülésen elhangzott előadások híven tükrözik jelenlegi kutatási témáinkat és kapcsolatainkat:

Sümegei Pál, SzTE, Földtani és Őslénytani Tsz: *A radiokarbon adatok és mérések szerepe, lehetőségei a negyedidőszaki környezettörténeti és paleoökológiai kutatásokban.*

Benkő Elek, MTA Régészeti Intézete: *Radiokarbon keltezés a késő középkorban.*

Haszpra László, Országos Meteorológiai Szolgálat: *A légköri üvegházhatású gázok mérése Magyarországon.*

Molnár Mihály, ATOMKI HEKAL: *Miről mesél a szén, ha nem aktív?*

Demény Attila, MTA Geokémiai Kutató Intézete: *Kishőmérsékletű kalcitkiválások izotópfractionációs folyamatai.*

Palcsu László, ATOMKI HEKAL: *Cseppkövek és korallok folyadékzárvaiban oldott nemesgázok vizsgálata.*

Varsányi Irén, SzTE Ásványtani, Geokémiai és Közettani Tsz: *Paleoklíma-változások értékelése víz stabilizotópok (¹⁸O, D), nemesgáz-koncentráció, vízkor és kémiai összetétel közötti összefüggések alapján a Dél-Alföldön.*

Bujtás Tibor, Paksi Atomerőmű Zrt., Sugárvédelmi Osztály: *Kibocsátás- és környezetellenőrzés a Paksi Atomerőműben.*

Szabó Sándor, ATOMKI HEKAL: *A Paksi Atomerőmű szűk környezetének hidrológiai modellezése.*

Ormai Péter, RHK Kft: *A debreceni tudásbázis szerepe a hazai radioaktív hulladékélethelyezési programokban*

(Az előadások megtekinthetők honlapunkon: <http://www.atomki.hu/hekal/intezet.html>)

Első ránézésre a program nagyon vegyesnek tűnik, bár az első hét előadás remekül beleillik az utóbbi

években létrejött skatulyák közül a „klímakutatás” gyűjtőfogalomba, míg a további három a „nukleáris környezetvédelem” címszó alá tartozik. Hogyan illeszkedhet mindez egyetlen laboratórium tevékenységébe? Az előadások segítségével megpróbálom egyetlen példán bemutatni a témák kapcsolódását.

A különböző csigafajok rendkívül érzékenyek a hőmérsékletre és a csapadékra. Az üledékes kőzetek egyes rétegeiben előforduló fajok a réteg képződése idején uralkodó éghajlati viszonyokat tükrözik (malakohómérő). Sümegi Pál (SZTE) a radiokarbon koradatokkal korrelált faunaadatok alapján lokális és regionális léptékben rekonstruálta és értelmezte a Kárpát-medence utolsó 30 ezer évének klímátörténetét. Már a 80-as évek végén, Hertelendi Edével közösen arra a megállapításra jutottak, hogy körülbelül 1500 éves felmelegedési és lehűlési ciklusok váltakoztak. Ezt később a részletesebb vizsgálatok megerősítették.

A felismerés óriási jelentőségű [2–3]. A sikerhez, Sümegi Pál zsenialitásán túl, szükségesegek voltak a nagyon érzékeny és nagyon pontos radiokarbon-mérések.

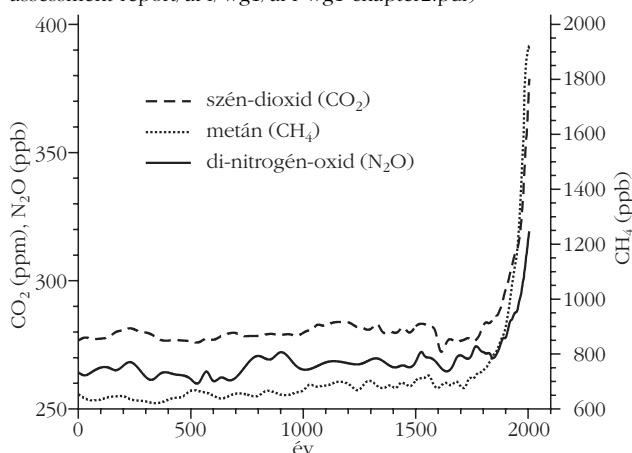
A Paksi Atomerőmű első blokkja 1982-ben indult. Nyomottvízes reaktorról lévén szó, komoly ^{14}C termelésre lehetett számítani, tehát meg kellett oldani az erőmű ^{14}C kibocsátásának folyamatos ellenőrzését. Ebben az esetben az aktivitás mérése nem jelenthetett gondot, erre a kereskedelemben kapható folyadékszintillációs berendezések tökéletesen alkalmasak voltak. Annál nagyobb problémát jelentett a kéményeken kiáramló levegő folyamatos mintázása, a kibocsátott CO_2 és szénhidrogének csapdázása. Erre a célra fejlesztett ki Hertelendi Ede egy differenciális ^{14}C mintavevőt, amit a szellőzőkéménybe telepítve mind a $^{14}\text{CO}_2$, mind a $^{14}\text{C}_m\text{H}_m$ kibocsátás mintázható, ezáltal a két frakcióhoz köthető ^{14}C kibocsátás közvetlenül meghatározható lett. Nyitott kérdés maradt, hogy az atmoszférába kijutó ^{14}C mekkora terhelést jelent a környezetre. Ennek ellenőrzésére hasonló mintavevőket telepítettek az erőmű 2 km sugarú környezetében 4 környezetellenőrző állomásra („A” típusú állomások), valamint a Dunaföldváron üzemeltetett háttér-mérő állomásra. Kiderült, hogy a talajszint fölött 2 méterről származó levegőmintákban az erőmű ^{14}C járulékát rutin méréssel nem lehet kimutatni, az ATOMKI-ban működő nagyérzékenységű proporcionális számlálókkal azonban a változások követhetők. Ettől kezdve „szolgáltatásként” rendszeresen mértük az 5 állomáson gyűjtött minták aktivitását. Az erőműből származó ^{14}C mennyisége minimális, néhány mBq/m^3 volt. Kivéve egy állomást, ahol 2000-tól egyre többször mértünk a háttérnél kisebb aktivitásokat [4]. Mi az oka? A kérdéses állomás a hatos főút közelében található. A növekvő gépkocsiforgalom következtében a légkörbe kerülő inaktív CO_2 lefedi, sőt felülmúlja az atomerőmű hatását. Ekkor fogtuk fel igazán az IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2007-ben közzétett jelentésében [5] szereplő adatok (1. ábra) súlyát és kezdtünk foglalkozni a légköri CO_2 eredetével.

A Meteorológiai Világszervezet háttérlevegő-szennyezettség mérő hálózatában (GAW – Global Atmosphere Watch) az alapállomások kötelező feladatává tették a légköri CO_2 koncentráció folyamatos mérését. A mérésekből kiderült, hogy a légköri CO_2 szint növekedési üteme széles sávban ingadozik, lényegesen nagyobb mértékben, mint az antropogén kibocsátás. Az okokról a vegetációval (CO_2 nyelő és egyben forrás is) borított kontinentális területeken végzett mérések, valamint a CO_2 izotópösszetétel (^{14}C , $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) mérések mondhatnak többet. Az izotópanalitikai vizsgálatokra van lehetőség a laboratóriumban, mint ahogy a mintavétel is megoldott.

Magyarországon 1981-ben *Haszpra László* (OMSZ) indította el K-pusztán a légköri CO_2 koncentráció folyamatos mérését. Az állomás 1994-től Hegyhátsálon üzemel, sokrétű mérési tevékenységüknek [6] köszönhetően 2006-tól az Európai Unió három kiemelt üvegházgáz mérőhelyének egyike. Itt telepített *Molnár Mibály* (MTA ATOMKI HEKAL) két $^{14}\text{CO}_2$ mintavevőt 2008-ban a mérőtoronyra 10 m és 115 m magasságban, és épített OTKA támogatással egy mobil fosszilis légköri CO_2 megfigyelő mérőállomást, amely folyamatosan méri a levegő CO_2 tartalmát és mintát vesz az izotóparány mérésekhez. Ez utóbbi jelenleg Debrecenben az ATOMKI udvarán üzemel. A hegyhátsági és debreceni mérőállomásokkal együtt Európában ma 7 olyan mérőhely létezik, ahol lehetőség van a légköri fosszilis CO_2 hányad közvetlen megfigyelésére, Hegyhátsál pedig az egyetlen, ahol egyidejűleg két magassági szinten történik ilyen jellegű mérés [7–8].

A meteorológiai állomásokra telepített mintavevők már csak működési elvükben egyeznek meg az eredeti mintavevőkkel. Az Isotopech Zrt. és az ATOMKI közösen, a Baross Gábor program támogatásával új, korszerű egységeket fejlesztett ki. A növekvő kereslet kielégítését egy kutatóintézet nem tudja vállalni, de nem is a feladata. A gyártást az Isotopech Zrt. koordinálja (<http://www.isotopech.com>). Jelenleg már az új mintavevők üzemelnek a Paksi Atomerőmű kéményeiben és környezetellenőrző állomásain, a Püspökstilágyon üzemelő Radioaktív Hulladékokat Feldolgo-

1. ábra. Az üvegházhatású gázok koncentrációjának változása időszámításunk kezdetétől 2005-ig. (forrás: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf>)



zó és Tároló telephelyen, és a tavaly ősszel Bábaapáti-ban átadott Nemzeti Radioaktív Hulladék-tároló telephelyén. Most a legsúlyosabb problémát a szűkös mérési kapacitás jelenti. Az állomásokon begyűjtött minták aktivitása – szerencsére! – annyira kicsi, hogy az országban a miénken kívül egyetlen laboratóriumban sem mérhető a kívánt pontossággal. A ^{14}C aktivitásának béta-számlálásos mérése időigényes. Egyetlen lehetséges megoldás, ha nem aktivitást, hanem a minták $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ izotóparányát mérjük. A két izotóp gyakorisága között 12 nagyságrend a különbség, ezt a hagyományos tömegspektrométerek nem tudják mérni. Ehhez speciális, negatívion-forrást használó és több tömegspektrométert magfizikai gyorsítóval kombináló (Accelerator Mass Spectrometry, AMS) berendezés szükséges. A módszer nagy előnye, hogy a mérés néhány perc alatt elvégezhető olyan pontossággal és érzékenységgel, mint a béta-számlálásos technikákkal néhány nap alatt, ráadásul ezerszer kisebb mintamennyiség szükséges. Egy ilyen készülék, az EnvironMICADAS (MIni CARbon DAting System) kifejlesztésére kötött kutatási szerződést az Isotopech és ATOMKI közösen a svájci Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ) intézettel. Az új mérés-technikához szükséges mintaelőkészítő rendszerek fejlesztése évekkal ezelőtt elkezdődött, a laboratóriumban készített grafit céltárgyakat több nemzetközileg elismert AMS laboratóriumban tesztelték [9]. Az EnvironMICADAS nemcsak a monitoring tevékenységhez szükséges nagyszámú mérés elvégzését teszi lehetővé, hanem kis mintaigénye miatt a radiokarbon módszer alkalmazási területeit hihetetlen mértékben kibővíti, új kutatási távlatokat nyit.

Befejezésül Ormai Péternek, az RHK főmérnökének szeptember 4-én tartott előadásából idézek, aki a *debreceni tudásbázis* szerepét a hazai radioaktív hulladék elhelyezési programokban így foglalta össze:

„Egyedi mintavételi és mérési módszerek kifejlesztése; nemzetközi összehasonlításban is kiváló mérőrendszerek; érzékeny mérések; újonnan jelentkező feladatok kreatív megközelítése és megoldások; szak-

mai felkészültség, pontosság, igényesség, rugalmasság, kiváló emberi kapcsolatok a munkák során.

Köszönet a Hertelendi Ede által megkezdett munkák céltudatos folytatásáért, valamint az általa képviselt gondolkodási mód és szemlélet továbbviteléért.”

Ormai Péter soha nem találkozott Szalay Sándorral, nem tudhatja, hogy Edén, és Ede tanítványain keresztül megismert gondolkodásmód és szemlélet tőle származik. A *debreceni tudásbázis*ról beszélt, külön hangsúlyozva a *Kísérleti Fizikai Tanszéken* végzett munkák jelentőségét is. A debreceni tudásbázist Szalay Sándor hozta létre, így Őt illeti a köszönet.

Irodalom

1. Molnár M.: A szén és az idő: radiokarbon kormeghatározás. *Fizikai Szemle* 56/6 (2006) 181, <http://www.kfki.hu/fszemle/archivum/fsz0606/tart0606.html>
2. Kertész R., Sümegi P.: Az Északi-középhegység negyedidőszak végi őstörténete (Ember és környezet kapcsolata 30.000 és 5.000 BP évek között) http://www.vfmk.hu/07_00000146
3. Mindentudás Egyeteme Szegeden. Sümegi Pál előadása http://www.webradio.hu/index.php?option=com_zoom&Itemid=100&catid=240&PageNo=4
4. Molnár M., Bujtás T., Svingor É., Futó I., Svetlik I.: Monitoring of atmospheric excess ^{14}C around Paks Nuclear Power Plant, Hungary. *Radiocarbon* 49 (2007) 1031–1043.
5. *Éghajlatváltozás 2007*. IPCC jelentés. http://www.met.hu/omsz.php?almenu_id=climate&pid=climate_ipcc&mpx=0&pri=0
6. Haszpra L.: *Légköri szén-dioxid mérés és szén-mérleg kutatás*. http://www.met.hu/omsz.php?almenu_id=homepages&pid=anaten&pri=3&mpx=0
7. Molnár M., Major I., Haszpra L.: Módszerfejlesztés a légköri széndioxid emberi eredetű hányadának meghatározására. 5. *Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia*. Kolozsvár, Románia, 2009. március 26–29. Szerk.: Mócsy I., Szacsvai K., Urák I. etc., Kolozsvár, Ábel Kiadó, 2009, 439–444.
8. Molnár M., Haszpra L., Major I., Svingor É., Veres M.: Development of a mobile and high-precision atmospheric CO_2 monitoring station. *European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2009*. Vienna, Austria, 19–24 April, 2009. http://www.atomki.hu/hekal/posters/posztterekpdf-ben/EGU2009poster_MM_final.pdf
9. Molnár M., Rinyu L., Nagy T., Svingor É., Futó I., Veres M., Jull A.J.T., Burr G.S., Cruz R., Biddulph D.: Developments and results from the new Hungarian graphite target line. Presented on the *11th International Conference on Accelerators Mass Spectrometry*, September 14–19, 2008 Rome (Italy) http://www.atomki.hu/hekal/posters/posztterekpdf-ben/Molnar_AMS11poster_final.pdf

GYORSÍTOTT IONNYALÁBOKKAL VÉGZETT KUTATÁSOK AZ ATOMKI-BAN

Kiss Árpád Zoltán
ATOMKI, Debrecen

Történeti bevezető

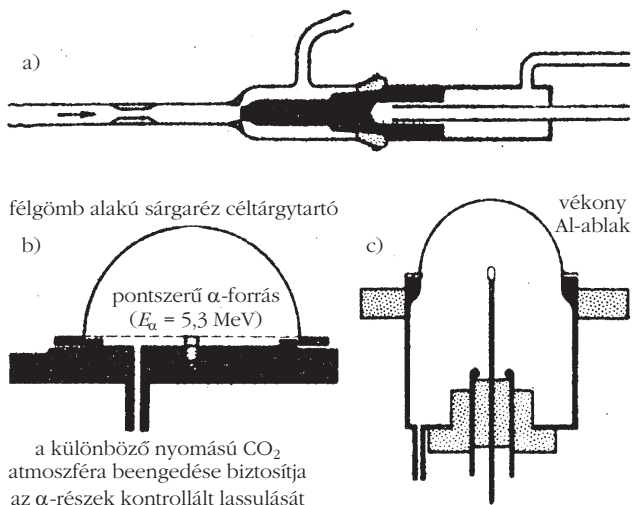
Gyorsított ionnyalábokról nem beszélhetünk az ATOMKI-ban vagy Debrecenben anélkül, hogy ne idéznénk fel *Szalay Sándor* munkásságát. Kezdjük az 1936-os angliai útjával, amikor Cambridge-ben, a kísérleti magfizikai kutatások központjának számító Cavendish-laboratóriumban, *Rutherford* ösztöndíjasként megismerkedett ezzel az új tudományterülettel, az atommagfizikával. Fél éves tanulmányútja után

Debrecenben az egyetem Orvosfizikai Intézetében kapott tanársegédi állást. A rendkívül szerény kutatási lehetőségeket figyelembe véve nehéz elképzelni, hogy miként gondolhatott a külföldön elkezdett magfizikai kutatásainak hazai folytatására. Idézzük fel egyik mondását: „Cambridge-ből optimizmussal tértem haza, mert megtanultam, hogy saját kezűleg készített szerény felszereléssel is lehet értékes tudományos munkát végezni...”. Hazatérése után kísérleti vizsgálatait a $^{27}\text{Al}(\alpha, n)$ reakció tanulmányozásával

kezdte, amely a ^{31}P közbenső magon keresztül elvezet a ^{30}P végmaghoz. Ez a mag radioaktív, és pozitronbomláson keresztül körülbelül 3 perc felezési idővel a ^{30}Si stabil atommagba bomlik.

A magreakció gerjesztési függvénye meghatározható a végmag radioaktivitásának mérésén keresztül. Ezzel a kísérleti módszerrel Szalay Sándor Cambridgeben ismerkedett meg, azonban felismerte, hogy az így meghatározott gerjesztési függvényekben megjelenő elmosódott, széles rezonanciákat nem az atommagnak, hanem a mérőberendezés hatásának kell tulajdonítani. Ebből kiindulva megalkotta az 1. ábrán látható besugárzó kamrát és számlálóberendezést. A megvalósított kísérleti elrendezés lényeges része a pontszerű α -forrás – amelyet polóniumból megfelelő eljárással készített – és a félgömb alakú céltárgytartó. Ezzel a céltárgyat bombázó α -nyaláb energiájának homogenitását minden korábbinál jobban tudta biztosítani. A hurokszálás számlálóberendezés félgömb alakú, vékony alumínium ablaka a jobb számlálási hatásfok elérését biztosította. A Po-forrásból származó 5,3 MeV-es α -nyaláb energiájának változtatása – gyorsítóberendezés nem lévén – fordított művelettel, lassítással történt, amit a besugárzó kamrába engedett CO_2 gáz nyomásának változtatásával lehetett elérni. Az eredmények a *Zeitschrift für Physik*-ben jelentek meg 1939-ben [1]. Ez volt az első magyarországi kísérleti magfizikai közlemény. (A témáról a *Fizikai Szemlé*-ben ld. bővebben [2]).

A Po α -forrás és általában a természetes radioaktív források felhasználásával történő magkutató lehetőségét korlátozottak, ezért szükség volt gyorsítóberendezésekben előállított ionnyalábokra. Ezzel Szalay Sándor is tisztában volt, ezért kezdeményezésére a háború után megindult egy Van de Graaff típusú gyorsító építése, amelyet még az egyetem Kísérleti Fizikai Intézetében, igen szerény körülmények között valósítottak meg. Az elkészült Van de Graaff gyorsítón az építésben résztvevő *Koltay Ede* végezte az első magfizikai kísérleteket, és tette közzé azok eredményeit [3]. Ma már érdekességszámba megy a közlemény címe, amelyben „mesterségesen gyorsított” részecskék szerepelnek, hangsúlyozva, hogy nem radioaktív sugárforrás szolgáltatja a céltárgyat bombázó MeV energiájú részecskenyalábot.



1. ábra. Szalay Sándor első hazai magfizikai kísérleti berendezései: a) pontszerű polónium α -forrást készítő eszköz, b) besugárzó kamra, c) számlálóberendezés a pozitronsugárzás mérésére.

Szalay Sándor professzor kutatói tevékenysége az 1954-ben alapított Atommagkutató Intézetben folytatódott, amelynek első igazgatója lett. Az Intézet létrejöttét követően a 100, 300 és 800 keV energiájú protonok és deuteronok előállítására alkalmas kaszkádgyorsítók építése kezdődött el, majd valósult meg [4], amelyeknek fő szerepe a neutronfizikai kutatásokban volt. Az ATOMKI tankrendszerű, a korábbiaknál nagyobb (5 MeV) energiájú protonnyaláb előállítására alkalmas Van de Graaff gyorsítójának (VdG-5) főbb tervezési elképzelései is Szalay Sándor fejében fogalmazódtak meg [5]. Ez a gyorsító vált kezdetben a magreakció- és az ionnyalábokkal végzett magspektroszkópiai kutatások fő berendezésévé.

Iongyorsítók az ATOMKI-ban és alkalmazásaik

Napjainkra az intézet gyorsítóparkja kibővült, mind a nagyobb energiák irányába az MGC-20E izokrón ciklotronnal, amelyik Magyarország legnagyobb részecskegyorsítója, mind a kisebbek felé az Elektron Ciklotron Rezonancia forrással (ECR). Amint az 1. táblázatból látható, ma már az ionok meglehetősen nagy választéka áll rendelkezésünkre – a nehezebbek akár

Az ATOMKI jelenlegi részecskegyorsítói és azok nyalábparaméterei					
gyorsító neve	ionválaszték	lefosztás (Q)	nyalábenergia (MeV)	nyalábtintenzitás ($\leq \mu\text{A}$)	nyalábcsatornák száma
MGC-20E izokrón ciklotron	H, D, ^3He , ^4He	1 – 2	2,5 – 18 1 – 10 4 – 26 2 – 20	40 40 10 20	9
5 MV-os VdG	H, D, He, C, N, O, Ne	1	0,8 – 5	10	4
1 MV-os VdG	H, He, C, N	1	0,05 – 1,5	12	2
ECR ionforrás	H, He, C, F, N, O, Ne, Fe, Ni, Zn, Kr, Xe, C60	1 – 27	(0,1–30) · Q (keV)	1 nA – 1mA	1

többféle töltésállapotban is – az ionenergia pedig öt nagyságrendet fog át (a protonok esetében 0,1 keV-től 18 MeV energiáig).

Milyen tudományos munkák végezhetők ezzel az ionválasztékkal? A sok eredmény között válogatva, számos példát lehetne felhozni az intézetben klasszikus kutatási területnek számító *magfizikából*, mint a ^{236}U hiperdeformált állapotainak felfedezése, vagy legújabban a kollineáris hármasszög kimutatása. Az új eredmények eléréséhez detektorfejlesztésekre is szükség volt (pl. helyzetérzékeny lavinadetektorok). A gyorsított ionnyalábok az intézetben a magfizikán kívül is alkalmazásra találtak, és általuk új eredmények születtek az *atomfizikában* (pl. a kételektronos „cusp” vagy a többszörös elektronszóródás kimutatása egyetlen ütközésben) és a *nukleáris asztrofizikában* (pl. az asztrofizikai p-folyamat vizsgálata). A részletek tekintetében utalok a *Fizikai Szemlében* megjelent korábbi közleményekre [6–8]. A továbbiakban bővebben a szakterületemhez tartozó, ionnyalábokkal végezhető *elemanalitikával* és *mikromegmunkálással* foglalkozom.

Elemanalitika ionnyalábokkal

A néhány MeV energiára gyorsított ionnyalábokat felhasználó elemanalitikai módszerek a mag- és atomfizikából nőttek ki, és azok kísérleti apparátusát alkalmazzák. Ide soroljuk egyebek között a következő három módszert: az első a részecskeindukált röntgenemisszió alapul, angol nevéből (particle induced X-ray emission) PIXE módszernek nevezik. A második a rugalmas részecske-visszaszórás, amelyet először Rutherford alkalmazott, így neve Rutherford-féle visszaszórás, (Rutherford backscattering) RBS módszer. A harmadik módszer a vizsgálni kívánt célterületen (mintán) végbement magreakció termékeként megjelenő részecskék vagy gamma-sugarak detektálásán alapul, (nuclear reaction analysis) NRA módszer. Ez utóbbi gamma-sugárzást detektáló változata a (particle induced gamma-ray emission) PIGE módszer. E módszerek előnye, hogy kis analizálandó mintamennyiséget (nanogram) igényelnek, és nincs szükség különösebb mintaelőkészítésre. Egyetlen, nem több mint 20–30 perc idejű besugárzásból egyidejűleg a minta sok eleme határozható meg, az egyes elemek kimutathatósági határa elérheti a $\mu\text{g/g}$ tartományt, és az ionnyaláb az esetek nagy többségében nem roncsolja a mintát. Mivel a módszerek a különböző rendszám/tömeg-tartományban különböző érzékenységgűek, így azok egymásnak kiegészítői, (egyidejű) alkalmazásukkal majdnem a teljes rendszám-tartomány (a lítiumtól az uránig) analizálható. Megjegyzendő, hogy a gerjesztő nyaláb és a minta atomjai közötti rugalmas kölcsönhatáson alapuló módszerrel (Elastic Recoil Detection) a hidrogén kimutatására is lehetőség van. Az ionnyaláb a gyorsító vákuumrendszeréből egy vékony, mikrométer vastagságú fólián keresztül az atmoszférára is kihozható, ami a külön-

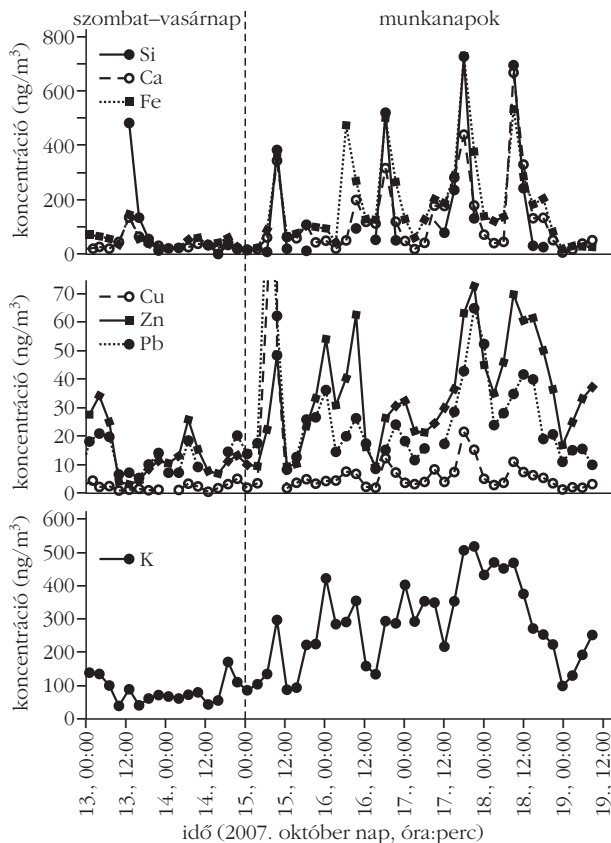
böző méretű és anyagú minták analizálásánál további előnyt jelenthet. Mivel a gyorsított ionok az anyagban rövid a hatótávolságúak (20–50 μm), az említett módszerek hátránya, hogy velük csak a minta felületi része analizálható. Ebben a mintamélységben viszont az RBS és az NRA igen jó, nanométeres mélységfeloldással rendelkezik.

A gyorsított ionnyalábok megfelelő mágneses lencsék alkalmazásával igen jól, egészen a tizedmikrométer alatti méretekig fókuszálhatók. A fókuszált nyalábbal, annak megfelelően irányított pásztázásával több mm^2 felület tapogatható le. Az elvi lehetőségek felhasználásával, az elmúlt évtizedekben kifejlesztették a magfizikai gyorsítóberendezésekre telepített pásztázó nukleáris mikroszondákat. A mikroszonda a fókuszált nyaláb helyzetének megfelelően pontról-pontra gyűjti az analitikai adatokat. Így nemcsak a teljes felületről, hanem a felület meghatározott részéről is lehet röntgen-, részecske- vagy gamma-spektrumokat begyűjteni. Ezekből a minta felületének elemterképei megalkothatók, azaz meghatározható, hogy az egyes elemek a felület mely részein koncentrálnak, vagy éppen mely felületrészről hiányoznak.

Az ATOMKI számára 1993-ban infrastrukturális OTKA pályázat keretében lehetővé vált egy pásztázó nukleáris mikroszonda fő részeinek megvásárlása az Oxford Microbeams Ltd-től, amelyet a VdG-5 gyorsító 0 fokos nyalábcsatornájára telepítettünk. A berendezést az intézet munkatársaira, mérnökeire és műhelyére támaszkodva, pályázati források segítségével sikerült teljesen kiépíteni. (Az ionnyaláb-analitikai módszerek és az ATOMKI ionnyaláb-analitikai laboratóriumának részletesebb leírása megtalálható a [9] közleményben.) A VdG-5 gyorsító mikroszondáján és egyéb nyalábcsatornáin kiépített ionnyaláb-analitikai berendezések és módszerek az alábbi tudományterületeken és témákban nyertek alkalmazást.

Légköri aeroszol

Az intézetben több mint két évtizedes múltra tekint vissza az atmoszférikus aeroszol szisztematikus vizsgálata, ezen belül elemösszetételének meghatározása. Ehhez integrálisan gyűjtött mintákon a PIXE módszerrel alkalmaztuk a következő elemek abszolút koncentráció adatainak meghatározására (ng/m^3 -ben): Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, (Cr), Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, (As), Br, Ba, Pb. Vizsgáltuk az aeroszol durva (PM10) és finom (PM2,5) komponenseiből, azaz a 10 μm , illetve a 2,5 μm aerodinamikai átmérőjűnél kisebb részecskékből gyűjtött minták elemösszetételét, városi (Debrecen) és háttér környezetben (Hortobágy-Nagyiván). 2007-ben elindítottuk az aeroszol gyors időbeli változásának vizsgálatát is, egy-egy hetes időtartamú mérősorozatokban, ahol az úgynevezett streaker mintagyűjtőt használtuk. Az elemi koncentrációkban bekövetkezett változásokat összevetettük meteorológiai adatokkal. Lehetővé vált az aeroszol forrásainak a megismerése, emissziós epizódok szétválasztása stb. A 2. *ábra* példaként a 2007. október



2. ábra. Néhány elem koncentrációjának időbeli változása a 2007. október 13–19-i héten Debrecenben.

13–19-i héten folytatott mérésorozat eredményeként a begyűjtött aeroszolban található különböző elemek koncentrációjának időbeli változását mutatja [10]. Az aeroszolforrások meghatározása statisztikai analízisből történt. Megfigyelhető volt, hogy a talajeredetű forrásokból származó csúcsok hétköznapokon egybeesnek a közlekedési csúcsidőkkel, míg szombat–vasárnap ezen források hozzájárulása minimális. Ez a periodicitás arra utal, hogy a talajeredetű por a közlekedés által kerül a levegőbe. Az is megállapítható volt, hogy a biomassa égetésére jellemző kálium október 15-e után vált jelentőssé, amikor a hőmérséklet csökkent. Ebben az esetben éjszakai és reggeli maximumok figyelhetők meg.

Vizsgálatunk tárgyát képezte még a szaharai aeroszol magyarországi légköri hatása, és a belső-ázsiai Takla-Makán sivatag aeroszoljainak terjedése Kína keleti tájai és Japán irányába. A Chilében található Lonquimay-vulkán kitörésének idején összegyűjtött egyedi aeroszolrészecskék elemeloszlását is részletesen elemeztük.

Biológia, orvosbiológia

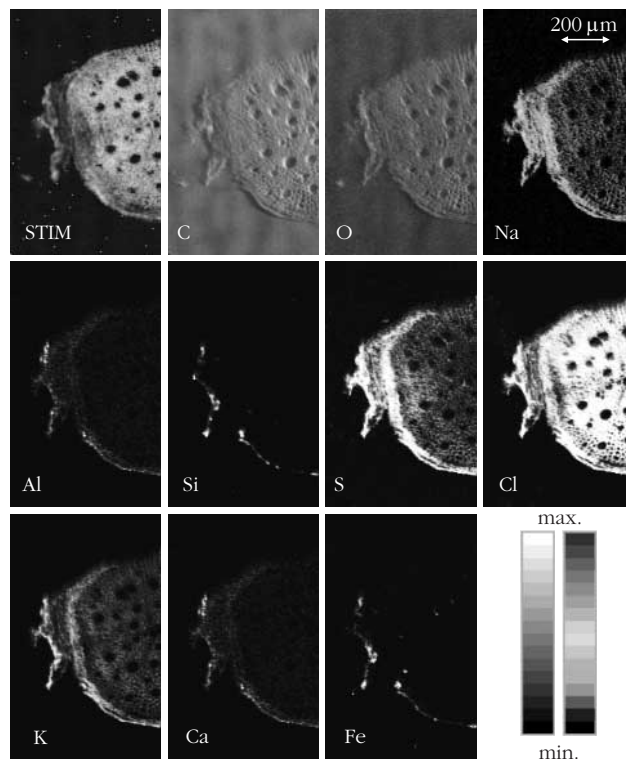
Laboratóriumunkban az ionnyaláb-analitikai módszerek orvosbiológiai alkalmazása a 80-as évek elején kezdődött az emberi vérmintákban lévő nyomelemek meghatározásával. Az orvosbiológiai kutatásoknak nagy lendületet adott az európai NANODERM projekt (2003–2007), amelynek fő célja az volt, hogy kvanti-

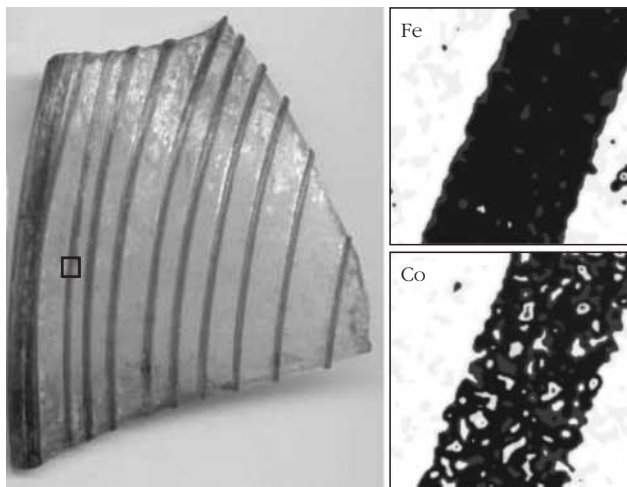
tatív információkat nyerjünk az ultrafinom részecskék behatolásáról a bőr különböző rétegeibe, megismerjük a behatolási útvonalakat, valamint a részecskéknek az emberi egészségre gyakorolt hatását. A cél elérése érdekében egy új mérési elrendezést és kiértékelő rendszert fejlesztettünk ki a debreceni pásztázó nukleáris mikroszondánál. Az új bio-PIXE elrendezést sikeresen alkalmaztuk több multidiszciplináris kutatásra. A fentebb említett NANODERM projekt keretében demonstráltuk, hogy a TiO_2 nanorészecskék nem hatolnak át az ép bőrön. Más típusú interdiszciplináris vizsgálatokban az élő szervezetek nehézfém-akkumulációját tanulmányoztuk vízinövények gyökereiben és a halpikkelyekben felhalmozódó toxikus elemek (Cu, Zn, Pb stb.) mérésével. A 3. ábrán a subás farkasfog (*bidens tripartita*) gyökeréből készült $20\ \mu\text{m}$ vastagságú metszet pásztázó transzmissziós ionmikroszkópiával (scanning transmission ion microscopy – STIM) készült energiaveszteségi térkép és néhány elem térképe látható. A pásztázott terület nagysága $1200 \times 600\ \mu\text{m}^2$ [11].

Geológia

Vizsgálataink fókuszában mikroszkopikus méretű, rendszerint gömbölyű, többnyire mágnesezhető geológiai objektumok, a szferulák állnak, amelyek egy része Földön kívüli (extraterresztriális) eredetű. Az extraterresztriális szferulák kapcsolatba hozhatók a Föld története során létrejött geológiai változásokkal,

3. ábra. Pásztázó transzmissziós ionmikroszkópiával (STIM) készült energiaveszteségi térkép és elem térképek, subás farkasfog (*bidens tripartita*) gyökerének $20\ \mu\text{m}$ vastagságú metszetén. A pásztázott terület nagysága $1200 \times 600\ \mu\text{m}^2$.





4. ábra. A 15. századból származó velencei üveg darabja és a négyzettel megjelölt területen végzett mikro-PIXE vizsgálat Fe és Co elem térképei.

valamint meteorit-becsapódások indikátorai lehetnek. Mágneses szferulákon végzett PIXE vizsgálataink hozzájárultak geológusok és csillagászok (MÁFI, ELTE, Konkoly Thege Observatórium munkatársai) azon hipotézisének kísérleti megerősítéséhez, hogy a perm-triász geológiai kor határán bekövetkezett katasztrófát egy, a Földünkhöz közeli szupernóva-robbanás okozta.

A Földön található becsapódási (impakt) kráterek, amelyeket aszteroidák, üstökösök vagy meteoritok hoztak létre, a tudomány számára jelentős forrásai a Földön kívüli anyagoknak. A leghíresebb és leginkább eredeti formájában megmaradt földi becsapódási kráter a Barringer-kráter (Arizona, USA). Feltételezések szerint vasmeteorit becsapódása által keletkezett. A kráter környékén gyűjtött impakt anyagokat PIXE módszerrel vizsgáltuk együttműködésben a Debreceni Egyetemmel. Ezekben a mintákban különösen fontos a meteoritnak tulajdonítható, vasban gazdag zárványoknak (S-Fe-Ni-Cu-rendszereknek) valamint a platina-csoport elemeinek (Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt) a tanulmányozása.

Régészet, muzeológia

Az ionnyaláb-analitikai vizsgálatok a régészeti és művészeti tárgyak eredetének, hitelességének, az előállítási technikának, valamint a környezeti hatásokra történő pusztulásuk mértékének meghatározására irányulnak. Hozzájárulnak a restaurálás módszereinek kidolgozásához is. Hazai és külföldi múzeumokkal, kutatóintézetekkel együttműködésben végzett vizsgálataink tárgyai voltak a berakásos díszítésű (inkrusztált) kerámiák, régészeti bronztárgyak, késő-római-kori ezüstpénzek, klasszikus gyűrűkövek és utánzataik, festmények ólomfehér pigmentjei stb. Az üvegszerű anyagok ionnyaláb-analitikai vizsgálata laboratóriumunk archeometria terén végzett egyik fontos tevékenysége. A Tokaji-hegységben található természetes üveg, az *obszidián* vizsgálatának az volt a célja, hogy a Nemzeti Múzeum Litotéka adatbázisa

számára adatokat szolgáltatassunk erről, a kőkorszakban eszközök készítésére használatos fontos alapanyagról. Az adatok elősegíthetik annak eldöntését, hogy egy régészeti lelet például a Tokaji-hegységből való obszidiánból, vagy máshonnan (pl. az olaszországi Lipari szigetéről) származó alapanyagból készült-e.

A múzeumi gyűjteményekben található klasszikus *gyűrűkövek* vizsgálata lehetővé tette az eredetiek és újkori utánzataik elemösszetétel alapján történő elkülönítését. Hazánk különböző helyein, így főleg a budai és a visegrádi királyi paloták területén végzett régészeti ásatásokból sok középkori *üvegtárgy* került napvilágra. Elemösszetételük meghatározása lehetővé tette annak kétségtelen megállapítását, hogy ezek magyarországi termékek voltak-e vagy velencei importból származtak. A kobaltkék üvegek nyomelemösszetételéből a színező anyag származási helyére lehetett következtetni, ennek ismeretében pedig közvetve az üveglelet korára. A 4. ábra egy, a 15. századból származó, a visegrádi palotánál végzett ásatásból előkerült velencei üveg darabját mutatja. A négyzettel megjelölt területen végzett mikro-PIXE vizsgálat Fe és Co elem térképei láthatók a mellékábrákon.

Anyagtudomány

Az anyagtudományban a Rutherford-féle rugalmas részecske-visszaszórási módszert kedvező tulajdonságai miatt elterjedten alkalmazzák. A pásztázó nukleáris mikroszkopikus fókuszált nyalábjával végzett RBS különösen hasznos anyagminták felületi topográfiájának, porozitásának, az elemek mélységi koncentráció-profiljának a meghatározására néhány mikrométeres mélységtartományban. Vékony filmek, multirétegek, felületi mintázatok analízisét, a porozitás mélységi eloszlásának meghatározását porózus szilíciumban és diffúziós profilok mérését végeztük el Si/Ge multirétegekben ezzel a módszerrel. Részben az anyagtudományhoz sorolható, bár a vizsgálati módszer a fentitől különbözik, amikor félvezető anyagból készült részecske- és foton-detektorok működését tanulmányoztuk.

Mikromegmunkálás

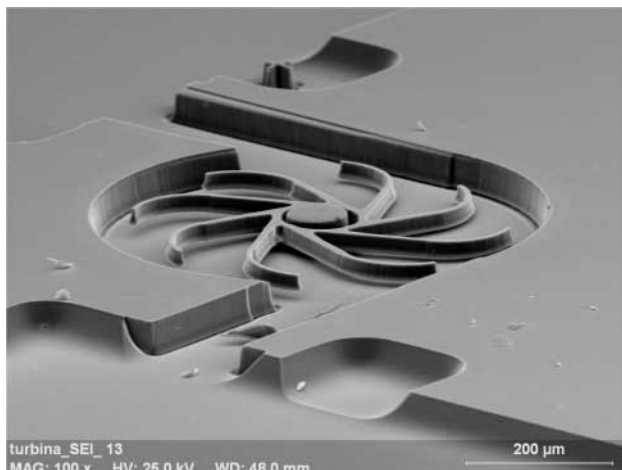
Mikromegmunkálásnak, vagy protonnyaláb-írásnak nevezzük azt módszert, amikor a fókuszált protonnyaláb anyagmódosító hatását használjuk ki különböző mikronnyi méretű alakzatok, anyagszerkezetek előállítására. A protonnyalábot megfelelő alakzat mentén mozgatva a minta felületén, annak anyagában szelektív módosulás jön létre. A besugárzott terület bizonyos oldószerek hatására az anyagtól függően vagy kioldódik, vagy éppen megmarad. Ezzel a módszerrel sokféle eszköz hozható létre. A 2002-ben indult kutatásaink egy része a mikromegmunkálásra alkalmas úgynevezett rezisztanyagok tanulmányozására, más része a módszer alkalmazásaira irányul [12].

Rezisztanyagok

A mikromegmunkáláshoz eddig használt rezisztanyagoknál megvizsgáltuk, hogy azok miképpen változtatják fizikai tulajdonságaikat (pl. optikai törésmutatójukat) a részecskenyalábbal történő besugárzás hatására. Ennek döntő jelentősége van a polimerben kialakított optikai hullámvezetőknél. Fontos feladat a mikromegmunkálásra alkalmazható új anyagok keresése is. E célból vizsgáltuk és alkalmasnak találtuk a részecskék detektálására használt CR-39 anyagot és a fotoérzékeny üveget, a Foturant. Görög–magyar együttműködésben kifejlesztettünk egy új rezisztanyagot is, a TADEP nevű kevert polimert.

Példák a mikromegmunkálással laboratóriumunkban eddig létrehozott eszközökre: *polikapilláris film*, amelyet egy 50 mikrométer vastagságú fóliában egymástól egyenlő távolságra (19 μm) létrehozott 10 mikrométer átmérőjű kör alakú kapilláris csövek alkotnak (2600 kapilláris 1 mm^2 fóliafelületen). Az atomfizikában, mint nagy töltésű, kis energiájú ionok vezetője alkalmazható, az orvosi kutatásban pedig mint szűrőfólia. A szabályosan elhelyezkedő, kör keresztmetszetű kapillárisok sorozata sokkal jobb tulajdonságú szűrő, mint a jelenleg használatos, nehézionokkal nagyenergiájú gyorsítóknál létrehozott, véletlenszerűen elhelyezkedő, sokszor átfedő lyukakkal rendelkező szűrőfóliák. Talán a legérdekesebb eszköz az 5. ábrán látható 3 dimenziós szilícium *mikroturbina*. Előállításához két különböző energiájú protonnyalábbal végzett besugárzást alkalmaztunk, amelyek előhívása két különböző kimaratósi mélységet eredményezett a porózus szilícium anyagában. Ez a munka első demonstrációja annak, hogy szilíciumban a protonnyaláb-írás segítségével mozgó alkatrészekkel rendelkező, mikrométer méretű berendezést lehet készíteni.

Az ATOMKI Ionnyaláb-alkalmazások Laboratóriuma tevékenységének és eredményeinek részletesebb ismertetése megtalálható a [13] közleményben.



5. ábra. Szilícium lapkára integrált mikroturbina.

Összefoglalva: talán nem túlzó az a megállapítás hogy a Szalay Sándor professzor által megalapított tudományos iskola szellemisége a gyorsított ionnyalábokkal végzett kutatásokban tovább él és fejlődik, tehát az iskola második és harmadik generációja is jól sáfárkodott a „Prof” örökségével. Szerencsésnek érzem magam, hogy személyesen ismerhettem és tisztelhettem őt.

Irodalom

1. A. Szalay, *Zeitschrift für Physik* 112 (1939) 29.
2. Csongor É., *Fizikai Szemle* 14 (1964) 369.
3. Koltay E., *Acta Phys. Acad. Sci. Hung.* 16 (1963) 93.
4. Koltay E., *Fizikai Szemle* 14 (1964) 373.
5. Szalay S., Koltay E., *Atomki Közlemények* 6 (1964) 3.
6. Krasznahorkay A., *Fizikai Szemle* 54 (2004) 161.
7. Krasznahorkay A., *Fizikai Szemle* 57 (2007) 357.
8. Sulik B., *Fizikai Szemle* 54 (2004) 151.
9. Uzonyi I., *Archeometriai Műhely* 2007/3. 11–18.
10. Kertész Zs., Dobos E., Szoboszlai Z., Borbélyné Kiss I.: *IV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Debrecen, 2008.* (Szerk.: Orosz Z. és mtrstai) II. kötet, 335–341.
11. Szikszai Z., Kertész Zs., Kocsár I., *Acta Biologica Szegediensis* 52 (2008) 81–83.
12. Rajta I., *Fizikai Szemle* 57 (2007) 187.
13. Borbély-Kiss, I. és mtrstai, *Atomki Annual Report* 2008, 1–14.

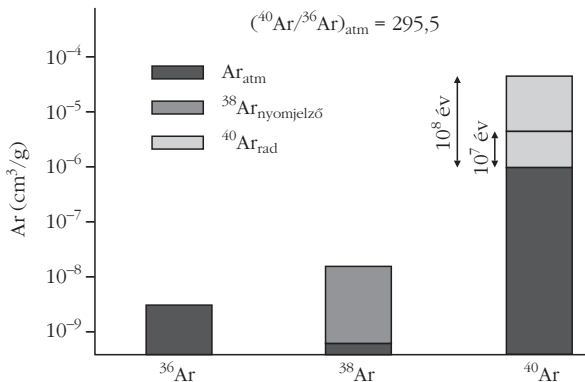
AZ ATOMMAGKUTATÓ INTÉZET K-Ar LABORATÓRIUMA ÉS TEVÉKENYSÉGE

Balogh Kadosa, Pécskay Zoltán
MTA ATOMKI, Debrecen

A K-Ar módszer egyike a természetes radioaktivitáson alapuló földtani kormeghatározási módszereknek. Bevezetését az Atommagkutató Intézetben Szalay Sándor professzor úr javasolta a 70-es évek elején. Az ATOMKI-ban művelt sok kutatási témához hasonlóan erre a szükséges berendezések elkészítésével került sor. Esetünkben ez egy nemesgáz-tömegspektrométer, továbbá egy hozzá csatlakozó vákuumrendszer elkészítését jelentette, az utóbbi a kőzetek argontartalmának kinyerésére és megtisztítására szolgált. Be-

rendezéseink 1974 óta folyamatosan működnek, méréseink színvonalát nemzetközi hitelesítő programban való részvétellel igazoltuk.

Laboratóriumunkban több mint száz földtörténeti probléma vizsgálata történt meg, cikkünk terjedelmi korlátai ezek eredményeinek említését nem teszik lehetővé. Ehelyett áttekintjük a K-Ar módszer elvét és felhasználási lehetőségeit a különböző jellegű földtörténeti problémák tisztázására. Kitérünk emellett a műszerépítés során alkalmazott néhány új megoldá-



1. ábra. A K-Ar módszer elve, az ábra mutatja a radiogén argon növekedését a földtani idő folyamán.

sunkra, továbbá egy módszertani eredményünk ismertetésére, ami a K-Ar kormeghatározás alkalmazási lehetőségeit bővíti és jelentősen csökkenti a kronológiai értelmezés bizonytalanságait.

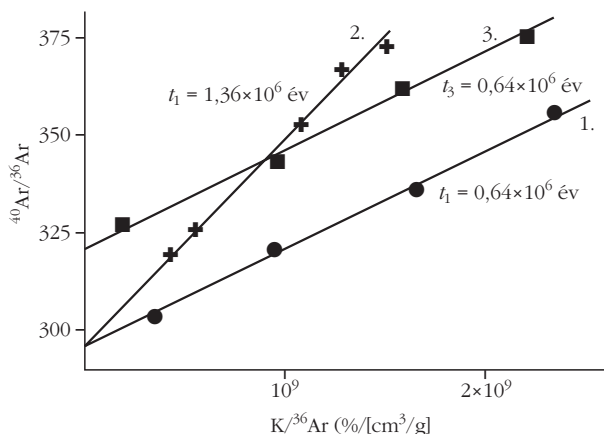
A K-Ar módszer elve

A K-Ar módszer a ^{40}K bomlásán alapul, a folyamatban ^{40}Ar is keletkezik 1,25 milliárd év felezési idővel. A Föld teljes argontartalmának már körülbelül 90%-a kigázósodott az atmoszférába, ezen *atmoszférikus* argon (Ar_{atm}) izotópösszetételét a fekete hasábok mutatják az 1. ábrán. Ez az Ar_{atm} épül be a Föld felszínének közelében megszilárduló magmás kőzetekbe. A lehülés után keletkező, radiogénnek nevezett $^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}$ a kőzetben marad és az idő folyamán felhalmozódik (1. ábra). A ^{36}Ar kizárólag atmoszférikus, mérésével megkülönböztethető a ^{40}Ar izotóp radiogén és atmoszférikus része:

$$^{40}\text{Ar}_{\text{rad}} = ^{40}\text{Ar} - 295,5 \times ^{36}\text{Ar} \quad (1)$$

Az ismert mennyiségű ^{38}Ar nyomjelző segítségével az izotóparány tömegspektrométeres mérésével meg-

2. ábra. Az izokron módszer szemléltetése. Az azonosan, körrel, négyzettel, kereszttel jelölt pontok azonos korú ásványokat, illetve kőzeteket jelölnek. Az azonos meredekségű 1. és 3. egyeneshez azonos korok tartoznak, de a 3. egyenest definiáló minták Ar tartalma nem cserélődött ki az atmoszférával, ezért más a metszéspontja. A 2. egyenesre idősebb kőzetek illeszkednek. Az 1. és 2. egyenesek metszéspontja szerint a kezdeti $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ arány atmoszférikus volt.



állapítható a csak atmoszférikus ^{36}Ar , és az atmoszférikus és radiogén argont egyaránt tartalmazó ^{40}Ar mennyisége. A $^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}$ és a ^{40}K mérésével a koregylet alapján kiszámítható a magmás kőzet lehülése óta eltelt idő, a K-Ar kor.

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left(1 + \frac{\lambda}{\lambda_e} \frac{^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}}{^{40}\text{K}} \right) \quad (2)$$

A ^{40}Ar - ^{39}Ar módszer

A kőzetet atomreaktorban besugározva a $^{39}\text{K}(n,p)^{39}\text{Ar}$ reakcióval tömegspektrométerrel jól mérhető mennyiségű ^{39}Ar izotóp állítható elő. Így a K mérése egy Ar izotóp mérésére vezethető vissza: így a kor egyedül az argon izotópösszetételéből meghatározható. Ez lehetővé teszi többek között a K-Ar módszer mikroszondás eljárásá fejlesztését. A mikroszondás eljárásokkal szilárdtestek lecsiszolt felületeinek részletei tanulmányozhatók, például a leggyakrabban használt elektronmikroszondával egy néhány μm^2 -es felület kémiai összetétele. Esetünkben a besugárzott kőzet egy részét például lézerműzussal elpárologtatva a felszabaduló Ar izotópösszetételéből meghatározható a kőzetrészlet kora.

Az izokron módszer

Ha a kőzet ásványaiba lehüléskor azonos, de nem atmoszférikus izotópösszetételű Ar épül be, akkor több ásvány kálium- és $^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}$ tartalmát is mérve a mérési pontok a $^{40}\text{Ar}_{\text{rad}} - ^{40}\text{K}$ vagy $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar} - ^{40}\text{K}/^{36}\text{Ar}$ koordináta-rendszerben egyenesre illeszkednek, amelynek meredeksége a kort, metszéspontja az y tengellyel pedig a kezdeti izotóparányt (2. ábra) vagy a lehüléskor beépült többlet Ar mennyiségét adja meg.

A bazaltok ásványai, túlságosan kis méretük miatt, legtöbbször nem különíthetők el. Ilyenkor a körülbelül 0,1 mm-re tört, már eltérő kémiai összetételű kőzetdarabkák sűrűségük és mágneses szuszceptibilitásuk alapján választhatók el. Az így előállított „frakciók”, amelyek kálium- és $^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}$ tartalma különböző, szintén alkalmasak az izokron kor meghatározására.

Mire használható a K-Ar módszer?

Kronoztrigráfia

Üledékes kőzetekben egyrészt megtalálhatók a leülepedés idejére jellemző élővilág kövületei, másrészt nyilvánvaló, hogy egymásra települő üledékes rétegek közül a felül lévő a fiatalabb. Ezek alapján egymástól távol levő üledékes kőzetek relatív kora is megállapítható, és definiálható egy relatív korokat tartalmazó földtörténeti időskála. Az egymással kapcsolatban levő magmás és üledékes kőzetek relatív kora ugyancsak megállapítható, a természetes radioaktivitáson alapuló módszerek viszont alkalmasak a magmás kőzetek abszolút korának meghatározására is. A kronoztrigráfia a relatív időskálák abszolút korának megállapítását jelenti a rétegtanilag meghatározott helyzetben lévő magmás kőzetek abszolút korának mérésével.

Vulkáni kőzetek kitörésének kora

A földfelszín közelébe jutó forró magmába atmoszférikus Ar épül be. A gyors lehűlés miatt lényegében a kitöréssel egy időben elkezdődik a $^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}$ felhalmozódása.

Mélységi magmás kőzetek benyomulásának ideje

A nagy mélységbe benyomuló nagyobb magmatest kihűlése földtanilag hosszú ideig tarthat, ezért kor meghatározását több olyan ásványon is célszerű elvégezni, amelyek K-Ar rendszere eltérő hőmérsékleten záródik.

Kőzetek átkristályosodásának (metamorfózis) kor meghatározása

Magas hőmérsékleten új ásványok keletkeznek, a lehűlés során ezek K-Ar rendszere többnyire eltérő hőmérsékleten záródik. Ez a metamorfózist követő lehűlés folyamatának datálását teszi lehetővé.

Kisfokú metamorfózis (T_{max} : 350–400 °C) kor meghatározása

A viszonylag alacsony hőmérsékleten kevés és kis méretű új ásvány képződik, emellett az idősebb ásványok kora gyakran nem nullázódik teljesen. Emiatt a koradatok értelmezése nehezebb, és szempontjai sem tisztázottak még teljesen. E közötti típus kor meghatározása viszont nagy jelentőségű, mivel az ipari nyersanyagok jelentős része is ebben a hőmérséklet-tartományban keletkezik.

Ércesedés kora

Ha az érces ásvány tartalmaz káliumot, akkor datálásával az ércesedés kora közvetlenül tanulmányozható (pl. a kriptomelán az úrkúti Mn-ércben). Ha az ásvány záródási hőmérsékleténél alacsonyabb hőmérsékleten képződik, akkor a K-Ar kor képződésének idejét, ellenkező esetben lehűlésének idejét adja meg. Ha az érces ásvány nem tartalmaz káliumot, akkor a vele egy időben keletkező káliumtartalmú ásványok használhatók kor meghatározásra, például Kárpátalja aranyércesedéséhez alunit ásvány kapcsolódik, továbbá hidrotermális folyamatokban igen gyakran keletkeznek agyagásványok.

Ősföldrajzi problémák vizsgálata

A lepusztulás, elszállítás és lerakódás során a K-Ar kor alig változik, az üledékek „kora” a lepusztulás helyére jellemző. Például a Nagyalföld fiatal üledékes rétegeinek K-Ar „kora” legtöbbször 200–80 millió év. Ezen az elven sikerült kimutatni például, hogy az Alpok 15 millió éve még nem volt vízvázlat.

Tektonikai folyamatok korviszonyainak tanulmányozása

Nagy mélységből gyorsan kiemelkedő kőzetek ásványai a kiemelkedés idején záródnak. A Kárpát-medencében és környékén például variszkuszi korú (350–300 millió éves) kőzetek egy része csak 150–15 millió éve emelkedett ki. Ha pedig nagyobb kőzetes-

1. táblázat		
A K-Ar laboratórium nemzetközi kapcsolatai a közös közlemények alapján		
ország	együttműködő kutatóhely	közös közlemények
környező országok		
Lengyelország	7	15
Cseh Köztársaság	10	18
Szlovákia	8	21
Ukrajna	1	3
Románia	7	31
Bulgária	5	19
Szerbia	5	22
Horvátország	6	8
Szlovénia	3	4
Bosznia	1	2
Macedónia	2	2
<i>összesen</i>	<i>55</i>	
Magyarországnál fejlettebb országok		
Egyesült Királyság	7	17
Hollandia	2	5
Franciaország	4	4
Németország	9	18
Svájc	3	4
Ausztria	3	4
Olaszország	11	24
Japán	2	6
Új-Zéland	1	4
Kanada	2	2
<i>összesen</i>	<i>44</i>	
egyéb országok		
Spanyolország	9	7
Görögország	1	6
Oroszország	4	5
Grúzia	1	1
Örményország	1	1
Nepál	1	1
Vietnam	1	3
Egyiptom	3	4
Argentína	1	1
Chile	1	1
<i>összesen</i>	<i>23</i>	
mindösszesen	122	

tek egymás mellett csúsznak el, a nyírási zónában felörlődnek, a zónában megjelenő folyadékok hatására új ásványok keletkeznek, amelyek datálásával a nyírási ideje megbecsülhető.

Az előbbieken felsorolt földtani folyamatok lényegében lefedik a K-Ar módszer földkéregre való alkalmazásának lehetőségeit. Kutatásaink, eltérő súllyal ugyan, de minden felsorolt kutatási területre kiterjedtek. Tudományos eredményeinkről készült közleményeink az Atommagkutató Intézet honlapján (www.atomki.hu) publikációk címszó alatt e cikk szerzőinek neve után tekinthetők meg.

Nem foglalkoztunk kozmikus anyag vizsgálatával. Részben laboratóriumunk korlátozott kapacitása miatt, részben pedig azért, mert műszereink viszonylag alacsony érzékenységből következően túl sokat kellett volna elhasználnunk az igen ritka kozmikus anyagból.

A K-Ar laboratórium kapcsolatai

Vizsgálatainkat mindig geológus kollégákkal közösen végeztük, így tevékenységünk bemutatására és értékelésére igen alkalmas kialakult együttműködéseink számbavétele. Magyarországon monopolhelyzetben vagyunk, így nemzetközi kapcsolataink a legalkalmasabbak laboratóriumunk munkájának bemutatására. Az 1. táblázat a 2009 nyaráig megjelent közös közleményeinken alapul, nem tartalmazza a közös előadásban, illetve megrendelésben realizált együttműködéseinket, továbbá egy sokszerzős munkát egyetlen együttműködésnek tekintettünk, amelyben partnerként csak a programot szervező kutatóhelyet tüntettük fel.

A hazai földtani kutatás számára a környező országok földtanának ismerete a legfontosabb, ezekkel az országokkal alakultak ki a legszorosabb kapcsolataink. A nálunk lényegesen fejlettebb államok kutatóhelyeivel készített közös közleményeink alapján, amelyek kronológiai része laboratóriumunkban készült, munkánk színvonala ítéhető meg.

Műszeres fejlesztések

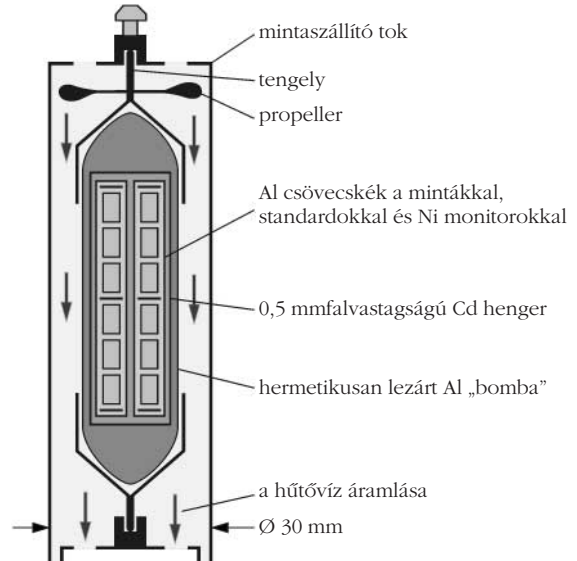
Mintogy laboratóriumunk saját fejlesztésű berendezésekkel dolgozik, törekedtünk műszereink paramétereinek javítására, egyszerű, de a kísérleti munkát megkönnyítő eszközök konstruálására. Ezt a tevékenységünket két, a laboratóriumunkban született megoldás segítségével szeretnénk bemutatni.

A minta besugárzásának egyenletesebb tétele

A ^{40}Ar - ^{39}Ar módszer alkalmazásakor a kőzetmintát atomreaktorban kell besugározni. A ^{39}Ar izotóp előállításához 1,2 MeV-nél nagyobb energiájú neutronok szükségesek, a gyorsneutronok átlagos energiája viszont 0,72 MeV. Emiatt a besugárzást Cd árnyékolás mellett kell elvégezni a termikus neutronok kiszűrése, a minta radioaktivitásának csökkentése céljából. A reaktor központjában viszont, a nagy neutronfluxus miatt, a Cd felmelegedhet, esetleg meg is olvadhat. A besugárzást ezért a reaktor központjától távolabb kell elvégezni, ahol a fluxus már kisebb. Itt viszont már igen nagy a fluxus inhomogenitása, ami nagyon sok standard használatát tenné szükségessé.

A 3. ábrán látható eszközt készítettük el: a mintát tartalmazó hermetikusan lezárt Al „bomba” a mintaszállító tok tengelyében rögzítve van, s a tengelyre szerelt propeller segítségével a reaktor áramló hűtővize forgatja a mintát. Ezzel a körülbelül 15%-os fluxus-inhomogenitást kevesebb, mint 0,3%-ra sikerült csökkentenünk.

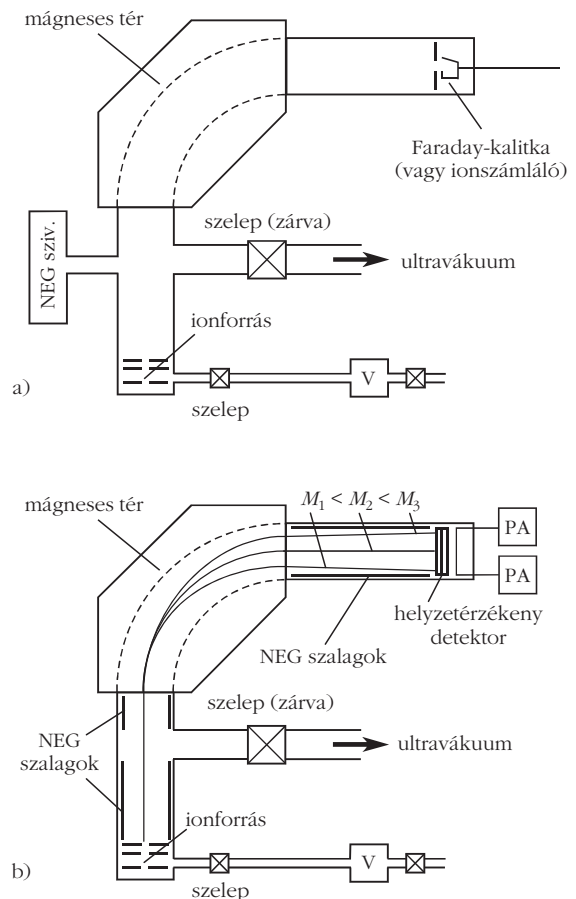
A mérés érzékenységének növelése. A ^{40}Ar - ^{39}Ar módszer mikroszondás eljárásként is használható, a felbontása azonban kicsi. Magyarországi kőzeteken 50 μm -nél kisebb átmérőjű ásvány kora még a legérzékenyebb műszerekkel sem lenne meghatározható, ez indokolja az izotópanalízishez szükséges argon-



3. ábra. Eszköz a besugárzás egyenletesebbé tételére a minta forgatásával.

mennyiség csökkentésére irányuló erőfeszítéseket. Az érzékenység a háttér csökkentésével és az ionáramok hatékonyabb detektálásával növelhető. A kereskedelemben kapható és az általunk javasolt tömegspektrométerek elvi rajzát a 4. ábra mutatja.

4. ábra. a) Az Ar izotópanalízisére használt, kereskedelemben kapható tömegspektrométerek felépítése, és b) a javasolt, részben megvalósított megoldások az érzékenység növelésére. PA: töltésérzékeny erősítő; M_i : Különböző tömegű elválasztott Ar izotópok.



A statikus üzemmódban használt nemesgáz-tömegspektrométerekben a nemesgázmintát az ultravákuum szelep elzárása után engedjük be a vákuumtérbe, s a mérés közben a háttérrel okozó aktív gázokat NEG (Non Evaporable Getter) szivattyú szívja az aktív gázok abszorpciójával. E folyamat részben reverzibilis, a megkötött gázok nagyobb része magasabb hőmérsékleten (kb. 300 °C) a vákuumtér szivattyúzásával eltávolítható.

A szokásos megoldás (4.a ábra) szerint az NEG szivattyú egy vékony csövön csatlakozik a vákuumtérhez, s ez az elrendezés jelentősen csökkenti az aktív gázokra vonatkozó szívósebességet. Az izotóparányok mérése a mágneses tér változtatásával történik: az izotópok egymás után jutnak a kollektorra, így az éppen nem mért izotópok által képviselt információ elvész. Tömegspektrométerünkben (4.b ábra) az NEG szalagokat a vákuumtérben helyeztük el, ezzel az aktív gázokra vonatkozó szívósebességet több mint egy nagyságrenddel sikerült megnövelnünk. Az ezáltal lecsökkent háttérű tömegspektrométerünk már alkalmassá vált a ^{40}Ar - ^{39}Ar módszer bevezetésére.

Kimutattuk, hogy a legérzékenyebb mérések végzésekor, amikor az ionáram kicsi ($< (2-5) \times 10^{-14}$ A), a helyzetérzékeny detektor használatával minden izotóp egyidejűleg mérhető. Az általunk javasolt konstrukció a 4.b ábrán látható. Becslésünk szerint a javasolt tömegspektrométerrel a kormeghatározáshoz szükséges ásvány mérete körülbelül felére csökkenthető. Ezt a mérési módszert csak javasolni tudtuk, megvalósítására vákuumtechnikai okokból nem tehetünk kísérletet.

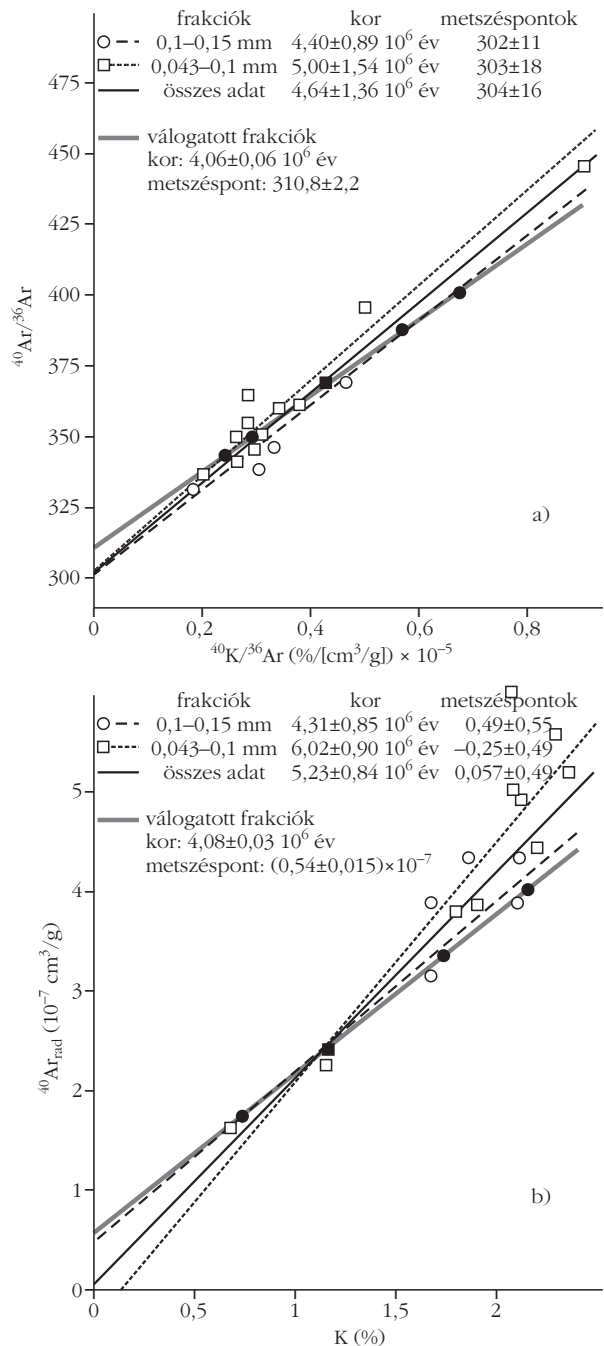
2. táblázat			
Somoskő bazaltjának frakcióin mért K-Ar korok			
frakció	K (%)	$^{40}\text{Ar}_{\text{atm}}$ 10^{-6} normál cm^3/g	kor $\pm 1\sigma$ (10^6 év)
szemcseméret 0,15–0,1 mm			
D1M7	2,140	1,72	5,18 \pm 0,38
D1M5	2,182	1,11	4,72 \pm 0,28
D1M3	2,132	2,19	4,65 \pm 0,44
D1M1	1,884	3,49	5,89 \pm 0,75
D2M7	1,760	1,06	4,89 \pm 0,31
D2M4	1,689	1,90	5,80 \pm 0,49
D2M2	1,698	1,26	4,70 \pm 0,35
D2M1	0,743	1,06	5,96 \pm 0,60
szemcseméret 0,10–0,043 mm			
w.r.1	1,819	2,05	5,35 \pm 0,48
w.r.2	1,932	2,48	5,15 \pm 0,51
D1M3	2,389	2,41	5,62 \pm 0,45
D1M1	2,107	2,54	7,27 \pm 0,56
D2M3	2,223	2,59	5,12 \pm 0,47
D2M2	2,282	2,75	6,26 \pm 0,53
D2M1	2,145	3,52	5,92 \pm 0,67
D3M2	2,109	1,47	6,08 \pm 0,37
D4M3	1,173	1,07	5,27 \pm 0,38
D4M2	1,162	0,44	4,98 \pm 0,20
D4M1	0,678	0,88	6,16 \pm 0,53

D a frakció sűrűségét, M mágnességét jellemzi.
w.r.: teljes kőzetminta

Módszer a többletargon inhomogén eloszlásban tartalmazó bazaltok kormeghatározására

Ez a kérdés a magyar–szlovák határ mentén található bazaltvulkán, a Somoskő vizsgálata során merült fel. Minthogy a környező bazaltvulkánok kora 2,6–1,9 millió év, geológus kollégáink hasonló kort vártak a Somoskőre is. A 2. táblázat szerint viszont az igen sok kőzetfrakción mért formális korok egyértelműen idősebbek voltak, és a 7,27–4,65 millió év kortarto-

5. ábra. A Somoskő bazaltjának frakciói az izokron diagramokban: jól látható a pontok nagy szórása, és az Ar_{atm} tartalom alapján változó pontok jó illeszkedése.



mányban szórtak. Ez azt mutatja, hogy a K-Ar módszer alkalmazásának feltételei Somoskő bazaltjára nem teljesültek. Vagy a kőzetbe lehülésekor beépült argon izotópösszetétele nem volt azonos, vagy pedig a kőzet káliumra és/vagy argonra nézve nem volt zárt rendszer. Az izokron diagramokban (5. ábra) a mérési pontok nem illeszkedtek egyenesre, de az „illesztett” egyenesek mind szintén idősebb kort jeleztek. Adataink és a földtani várakozások közötti ellentmondás feloldása érdekében feltettük a kérdést: lehetséges-e, hogy az izokron korok azonosak, de mégis hibásak? Rövid számítással igazoltuk, hogy ez bizony lehetséges: ha a kálium- és többlet Ar tartalmak között lineáris összefüggés áll fenn, akkor az egymással egyező izokron korok is hibásak lehetnek.

A többletargon akkor jelenik meg, ha a kitorés idején a bazalt argontartalma nem cserélődik ki teljesen az atmoszférával. A többlet- és radiogén argon sajnos nem különböztethető meg, így korrelációjuk nem vizsgálható. Mindenesetre, a kitorés és lehülés alatt a kőzetben a nagyobb mélységből származó többletargon koncentrációja nem nőhet, az atmoszférikus argoné viszont igen. Elgondolásunk szerint az atmoszférikus argont kisebb koncentrációban tartalmazó

frakciók argontartalma közelíti jobban a záródás idejére jellemző izotópösszetételt, továbbá az atmoszférikus argont hasonló koncentrációban tartalmazó frakciókról feltételezhető, hogy bennük a többletargon koncentrációja is hasonló. A 2. táblázatban dőlt karakterekkel jelöltük az atmoszférikus argont hasonló és alacsony koncentrációban tartalmazó frakciókat, és látható hogy ezekben a káliumtartalom is jelentősen változik. Ezen kiválasztott minták pontjait az 5. ábrán besötétítve jelöltük, pontjaik jól illeszkednek egyenesre, az általuk meghatározott korok pontossága szokatlanul nagy, és egymással is jól egyezik. Összefoglalva, ezek a korok azért tekinthetők megbízhatóknak, mert alacsony és hasonló koncentrációjú atmoszférikus argont tartalmazó frakción mértük őket, továbbá ezen frakciók káliumtartalma jelentősen különbözik. A későbbiekben kimutattuk, hogy a kálium- és többlet Ar tartalmak korrelációja esetén az ^{40}Ar - ^{39}Ar korok is hibásak, teljesen hasonlóan a K-Ar korokhoz. Meggyőződésünk szerint az előbbieken vázolt eljárás a legalkalmasabb jelenleg a hibás K-Ar korok felismerésére és a tényleges kor meghatározására a többletargon inhomogén eloszlásban tartalmazó kőzetek esetén.

SZALAY PROFESSZOR HATÁSA A DEBRECENI NUKLEÁRIS MEDICINÁRA

Galuska László

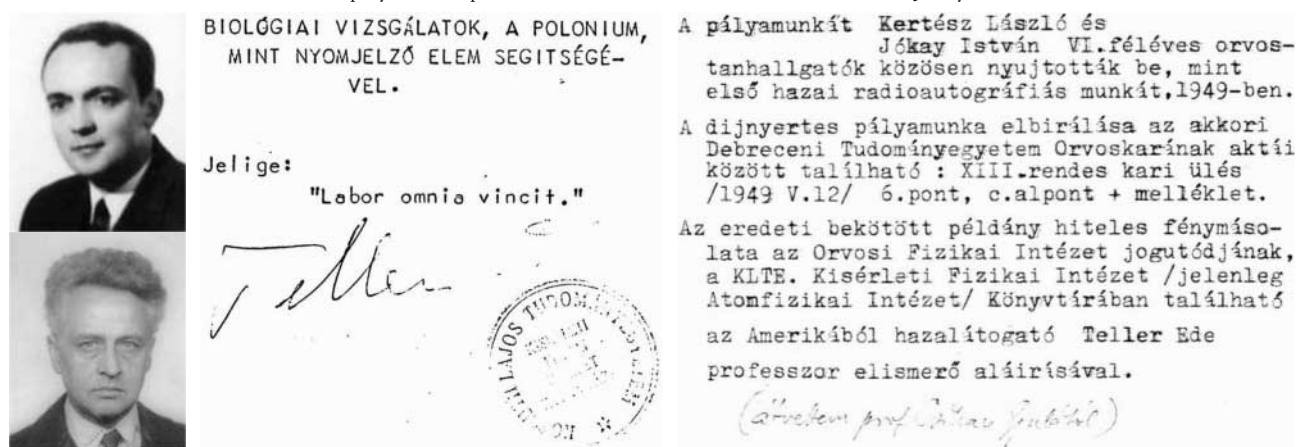
Debreceni Egyetem Orvos- és Egészségtudományi Centrum
Nukleáris Medicina Intézet

Szalay Sándor professzor születési centenáriuma jó alkalom arra is, hogy összefoglaljuk munkásságának hatását egy diszciplína – a nukleáris medicina – indulására és töretlen fejlődésére.

Tudjuk, hogy Szalay professzor széles látókörű tudós volt, akit nemcsak a magfizika, hanem annak alkalmazásai és ezen belül a humán felhasználás lehetőségei is érdekelték.

Szalay professzor kutatásai mellett kiváló oktatóként is ismert volt, így több kézikönyv és szakkönyv is kikerült kezéből, amelyet nagy haszonnal forgattak például a gimnáziumban oktató, a debreceni egyetemen végzett fizikatanárok is. Így fordulhatott elő, hogy az 1960-as évek elején, amikor gimnáziumi éveimet töltöttem Miskolcon, a fizikaórákon a kísérletek során felvetődött atomfizikai kérdésekre az általa írt

1. ábra. 1949: pályamunka polóniummal. Szerzők: Kertész László (fenn) és Jókay István (alul).





A Debreceni Orvostudományi Egyetem I. sz. Belklinikájának (igazgató: Fonet Béla dr. egyet. tanár),
Kórház Intézetének (igazgató: Kesztöly László dr. egyetemi tanár) közleménye

A pleuralis nyirokkeringés izotopos vizsgálata

Írta: VÉGH LAJOS dr., KOCSÁR LÁSZLÓ dr. és KERTÉSZ LÁSZLÓ dr.

Kísérleteink megindításához azon beteggy-nál tett megfigyelés adta az impulzust, hogy a pleuralis részben kimutatható cardialis transsudatumok rendszerint jobboldalon, a renalis és hypoproteinaemiás viszont inkább baloldalon helyezkednek el. 160 cardialis decompensációban, ahol folyadék volt a pleuralis űrben, 89-nél csak jobboldalon, 51-nél mindkét — de itt is főleg jobboldalon — és 20-nál csak baloldalon jelentkezett. Hypoproteinaemiás állapotban 31 esetből 16-nál csak baloldalon, 13-nál mindkét oldalt — itt viszont baloldalon volt a több — és 2 esetben csak jobboldalon tudtunk folyadékot kimutatni.

Hasonló arányszámot észleltünk kísérletesen is Gál Imrével, részben Masugi nephritiszes nyulakban, részben plasmapheresissel hypoprotein-

semiással tett állatokban. Ezen eredményeinkről már korábban részletesen is beszámoltunk.

A különböző eredetű transsudatumok localis-tiójának különbözőségét kielégítően magyarázni nem tudtuk. A cardialis, tehát főként jobboldali localisatiót egyes szerzők (Graeff, Binder) úgy magyarázzák, hogy jobboldalon a három lebény nagyobb filtrációs terület képvisel és így pangás esetén a transsudatio itt előbb következik be. Van-nak szerzők, akik elsősorban a nyirokpangást tes-zik felelőssé a pleuralis transsudatumok keletke-zéséért. Sokkal nehezebben magyarázható a bal-oldali elhelyezkedés veseredetű, ill. hypoprotein-emiás körkörüben. Ennek nem lehet oka a bal rekesz mélyebb állása, mert vannak esetünk, ahol a magasabb bal rekeszállás mellett is baloldalon

2. ábra. 1950-es évek: állatkísérleti munkák indulása, közleményekkel (Kertész László, Péter Ferenc és Lampé László).

kézikönyvek valamelyikében keresett választ áldott emlékü fizikatanárnőnk. A magam részéről a sors kezét látom abban, hogy egy többedmagammal beadott gimnáziumi pályamunkánk a Van de Graaff generátor előállítását tűzte ki célul, amelyet politechnikai gyakorlatok keretében meg is valósítottunk. Ámultan néztük a hatalmas szikrákat, amelyeket a félgömb alakú réz habverő üstök összehegesztése után plexi oszlopokon álló szerkezetünk produkálni tudott. Így elmondhatom, hogy Szalay professzor munkásságával már gimnazistaként – igaz véletlen-szerűen – találkozhattam.

A hatvanas évek végén Szegeden, orvostanhallgató koromban a Csernay professzor által elindított izotóp-laboratóriumban diákkörösként már tudatosan kezdtem foglalkozni izotópdiaosztikával, amelyet a het-venes évek végétől nukleáris medicinának neveznek. 1980-ban a belgyógyászat alapszakvizsga után tehettem le az izotópdiaosztikai szakvizsgát, amelyet a Kecskeméti Megyei Kórházban 15 évig osztályvezető főorvosként napi rutinban végeztem.

Szakmai pályafutásomban 1995. fordulópontot jelentett, amikor meghívást kaptam a Debreceni Egyetemre, az akkor még különböző klinikai helyszíneken működő izotópdiaosztikai központ vezeté-sére. Ekkor már működött az a PET központ is az ATOMKI-ban, amely a korábban beszerzett szovjet ciklotronra alapozta tevékenységét. Itt találkoztam először azokkal a munkatársakkal, akik Szalay professzorral együtt dolgozva állatkísérletek keretében, majd humán adaptációk után megalapozták az izotópdiaosztika debreceni fejlődését.

2008-ban ünnepelte a debreceni nukleáris medicina indulásának 50 éves jubileu-mát, és ez alkalomból egy kis könyvben foglaltuk össze Trón Lajos, Varga József,

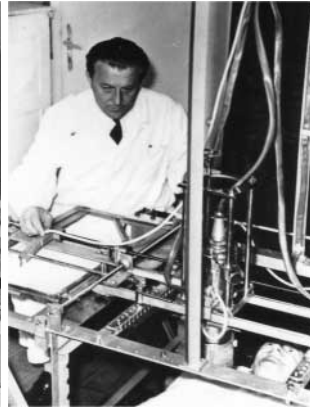
Kertész László és Szabó Tibor szerzőtársaimmal a szakma debreceni kezdeteit és későbbi történetét. Ebből a könyvből is kitűnik – elsősorban Kertész László írásai alapján –, hogyan sikerült Szalay professornak külföldi, elsősorban angliai tanulmányútjai során megismerkedni azokkal az atomfizikai mérőeszközökkel, amelyek megalapozták a humán izotópvizsgálatokat.

1949-ben Kertész László és Jókay István VI. éves orvostanhallgatók pályamunkát nyújtottak be poló-nium segítségével végzett biológiai vizsgálataikról (1. ábra). Az ötvenes években ezekből a biológiai méré-sekből már közlemények születtek (2. ábra), ame-lyek a pajzsmirigy jódforgalmát élettani állatkísérleti körülmények között taglalták.

A hatvanas évek elején megszülettek az első hu-mándiaosztikai berendezések, amelyek izotópdia-gnosztikai módszerek segítségével – elsősorban – a pajzsmirigy, de más belső szervek funkcionális viz-gálatát is lehetővé tették. Ezeket az eszközöket a kli-nikai gyakorlatba az új orvostechnikák iránt fogékony

3. ábra. Úttörő klinikusok 1950. és 1990. között.





4. ábra. 1960-as évek, a humán diagnosztika indulása Debrecenben, önálló eszközfejlesztés Budapesten. Csabina Sándor (fenn) Nagy János (balra lent) és Kertész László (jobbra lent).

5. ábra. Az 1970-es évek, az első európai színvonalú műszerek a Gamma Művekből. A ma is korszerű NK 350 (balra) és NB900 gamma-kamera család (jobbra).



6. ábra. Az 1985-ben telepített ciklotron az ATOMKI-ban.



7. ábra. Az első PET kamera az ATOMKI PET centrumban 1994-ben.

vezető klinikusok kezdték alkalmazni, elsősorban a *Petrányi Gyula* professor úr vezette belgyógyászati klinikán. (Az 50 éves jubileumot is az itt 1958-ban végzett első pajzsmirigy jódterápia alapján ünnepeltük.) Ha megnézzük a *Petrányi* Klinika orvosi tablóját (3. ábra), a már említett *Kertész László* fotója mellett több olyan klinikus kollégát találunk, akik később a nukleáris medicinával kapcsolatban maradtak. Itt elsősorban *Szabó Tibor* tanár úrra gondolok, aki később a *Kenézy* kórház izotópdiaosztikai osztályának vezetője lett.

De itt van a tablón *Leövey András* professor úr is, aki sokáig főnöke volt az I. sz. Belgyógyászati Klinikán üzemeltetett izotópdiaosztikai laboratórium-

nak. A kilencvenes évek végén *Kakuk György* professor úr klinikaigazgatói idejében ez a laboratórium önálló szervezeti egységként fejtette ki tevékenységét. Ebben az időben már korszerű gamma-kamerák és emissziós computer tomográf (SPECT, Single Photon Emission Computer Tomography) is a klinikum rendelkezésére állt.

Ez annak a hazai műszerfejlesztési munkának az eredménye volt, amely Budapesten elindult, és első prototípusai Debrecenben is működtek (4. ábra). A következő ábra azt szemlélteti, hogy a hetvenes években a budapesti *Gamma Művek* által gyártott elektronikai és számítógépes elemeket is tartalmazó berendezésekkel rendelkező klinikai nukleáris medicina egyre hatékonyabbá vált a napi diagnosztikai munkában (5. ábra).

Mint korábban említettem, Debrecenben a nukleáris medicina fejlődése szempontjából

döntő jelentőségű volt a Szalay professzor munkássága nyomán létesült Atommagkutató Intézetben 1985 óta működő ciklotron (6. ábra).

1994-től a Trón Lajos professzor vezette PET centrumban működni kezdett az első hazai PET kamera, amely a kelet-európai régióban az elsők között került beszerzésre (7. ábra).

Az ezredfordulón az egyetemünkön működő nukleáris medicina műszerparkot mutatja be a 8. ábra, amely az egésztest-leképezés mellett a koponyáról történő információk gyűjtésére – például agydaganat, vagy az agyi vérátfolyás vizsgálata esetén –, valamint kardiológiai vizsgálatok elvégzésére alkalmasak.

A fejlődés nem állt meg és egyetemi, valamint pályázati források segítségével egy kizárólag orvosi célokat szolgáló ciklotron beszerzése is megtörtént, amelynek elhelyezésére új épületet alakított ki a Debreceni Orvostudományi Egyetem. Ezt a PET-Trace ciklotront mutatja be a 9. ábra. Így az ATOMKI-ból a PET technika a klinikaparkba került.

2006-ban sikerült elérni, hogy a nukleáris medicina szervezeten belül magába foglalja mind a PET, mind pedig a hagyományos (egyfotonos) izotópok technikáját.

A terápiához és az egyfotonos izotóppal történő vizsgálathoz azonban a nukleáris medicina kinőtte eddigi

területét, 2007-ben a MEDISO cég elkezdte építeni az új épületet, ezt 2009 kora nyarán adták át (10. ábra).

10. ábra. Történelem, épületekben. Az „egyfotonos” technikák egy szolgálati lakásból átalakított otthona az átköltözés előtt (balra) és a jelenlegi két épület távlati képe – előtérben a PET centrum új épülete –, amelyben ma a nukleáris medicina minden részterületét együtt helyezték el (jobbira).



8. ábra. Az 1990-es évek „egyfotonos” műszerparkja a DOTE-n. Elscint SPECT (balra), 4 fejes SPECT (jobbra fent) és Kardio C SPECT (jobbra lent).



9. ábra. A PET-Trace orvosi ciklotron távlati képe a DEOEC PET centrumban (balra). A targetkamrák régiója Pótári Norbert gyártásért felelős vegyészrel (jobbra).





11. ábra. A PET-CT Kft. (a MEDISO cégcsoport tagja) Philips TOF PET-CT berendezése betegvizsgálat közben, Tornay Istvánné aszisztenssel 2007-ben.

Időközben beszerezte a cég azt a Time-of-flight (TOF – repülési idő) PET-CT-t is, amely világszínvonalon teszi lehetővé most már az egészségtest onkológiai és agyi vizsgálatokat (11. ábra).



Összegzésként elmondható, hogy Debrecenben a Szalay Sándor professzor úr által elindított és segített izotópos technikák nemcsak jó gondolatnak bizonyultak, de a nukleáris medicina szakma kialakulásához vezettek. Ma a Debreceni Egyetemen mintegy 4000 m²-en működik a nukleáris medicina, világszínvonalú műszerparkkal és igen jól képzett szakembergárdával. Ha élne, Szalay professzor urat minden bizonnyal nagy örömmel töltené el ez a sikeres út, amelyen az ő munkásságával és közreműködésével indulhattunk el.

SZALAY SÁNDOR, A SZONOKÉMIA ÚTTÖRŐJE

Molnár Árpád

Szegedi Tudományegyetem, Szerves Kémiai Tanszék

A szonokémia olyan módszer, amelynek során kémiai átalakulásokat nagyfrekvenciás ultrahang (20 kHz – 1 MHz) jelenlétében hajtunk végre (az 1 MHz feletti tartományt orvosi és diagnosztikai célra használják). Az eljárás, az elmúlt mintegy három évtized viharos fejlődésének köszönhetően, napjaink egyik elfogadott és széleskörűen alkalmazott kísérleti technikájává vált. Figyelembe véve, hogy a kémiai reakciók energiaigényének kielégítésére viszonylag szűk lehetőségeink vannak – ilyen célra elsősorban és széleskörűen csak a hőenergia és az ultrabolya fény alkalmazása jön szóba – az ultrahang (és mellette a mikrohullám) kémiai alkalmazása új, hasznos nem hagyományos aktiválási eljárásnak tekinthető [1].

Habár az ultrahang kémiai célú felhasználása sokkal régebbi időkre nyúlik vissza – és jelen ismertető hangúlyozottan éppen az előzményekről és Szalay Sándornak ebben játszott úttörő szerepéről szól –, a tényleges fejlődés az 1980-as évek kezdetére tehető. Ez elsősorban az abban az időben kereskedelmi forgalomba került olcsó, egyszerű, megbízható készülékeknek köszönhető [1]. A gyors fejlődést jól illusztrálja, hogy az *Európai Szonokémia Társaság* 1986-ban rendezte első nemzetközi szonokémiai konferenciáját, 1990-ben indult az *Advances in Sonochemistry* című monográfiásorozat, amelynek azóta 6 kötete jelent meg, illetve 1994-ben az általános jellegű *Ultrasonics* folyóiratból kivált az *Ultrasonic Sonochemistry*, kizárólag kémiai alkalmazásra vonatkozó eredményeket közlő folyóirat. Ugyanakkor az is látható, hogy a fejlődés eredményeként a szonokémia ma már „mindössze” egyike a bevált, általánosan alkalmazható aktiválási módszereknek. Így talán az újdonság varázsának elvesztéseként tekinthetjük azt is, hogy miközben az említett monográfiásorozat kötetei 1990-től kezdő-

dően általában két évente jelentek meg, a legutóbbi, 6. kötet viszonylag régen, 2001-ben került kiadásra.

Az ultrahang gyakorlati célú felhasználásának vizsgálata az 1910-es években kezdődött. Egyrészt a Titanic 1912-es katasztrófája kapcsán, a hajózás biztonságosabbá tétele miatt felmerült az igény a jéghegyek tényleges méretének meghatározására, másrészt az I. világháborúban a tengeralattjárók felderítése vált fontossá. Ilyen gyakorlati igények eredményeként kezdte vizsgálni *Paul Langevin* az ultrahang tengervízben történő terjedését [2]. Ezek a kezdeti vizsgálatok vezettek a II. világháborúban a visszhangtechnikán alapuló, a tengeralattjárók felderítésére használt ASDIC rendszer kidolgozásához (Allied Submarine Detection Investigation Committee vagy Anti-Submarine Depth Indicating Control), illetve az ultrahang egy másik, napjainkban fontos gyakorlati, a tengeri mélységmérésben történő alkalmazásához (SONAR technika – Sound Navigation and Ranging).

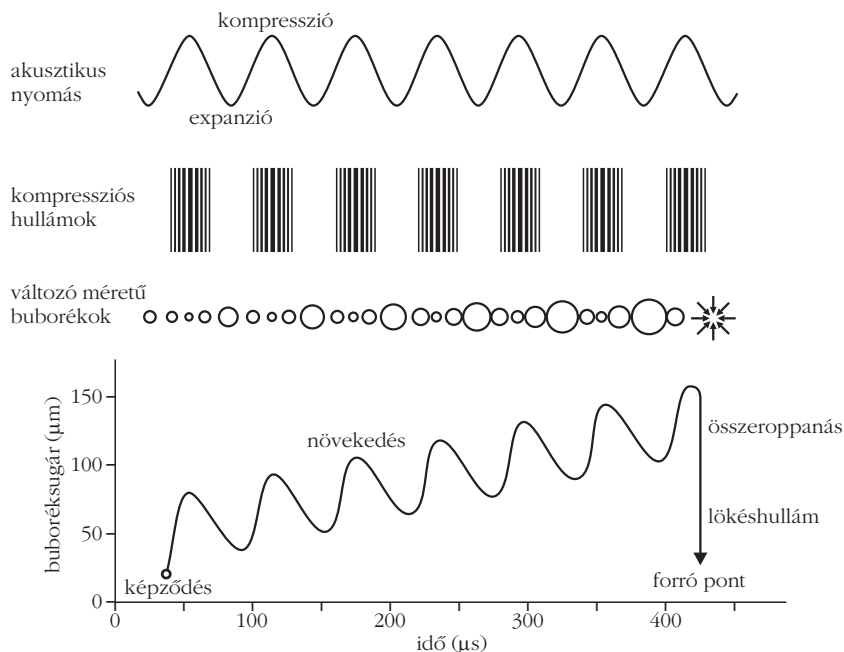
Érdemes megemlíteni továbbá azt is, hogy az alábbiakban tárgyalandó, az ultrahang kémiai alkalmazása szempontjából fontos kavitációs jelenség felismerésének is haditechnikai vonatkozásai vannak. Az 1893-ban épült *HMS Daring* angol torpedórombolónál (csúcssebessége 27 tengeri csomó/óra, azaz mintegy 50 km/h) nagy sebességnél vibrációt és a motor teljesítményének jelentős csökkenését figyelték meg, illetve itt tapasztaltak először a propelleren erózióhoz hasonló jelenségeket [3]. Ezeket a fémfelületen kialakuló buborékok összeroppanása okozza. Napjainkban a fentiekben túlmenően az ultrahangot legelterjedtebben az orvosi diagnosztikában alkalmazzák.

Az ultrahang első kémiai felhasználása *Loomis* és *Richards* nevéhez fűződik [4]. Munkájuk során – egyebek mellett – megfigyelték, hogy a besugárzott folyadékok felmelegednek, forráspontjuk néhány fokkal csök-

ken, továbbá azt, hogy gázzal telített folyadékokból ultrahang hatására felszabadulnak a gázok. Legfontosabb megállapításuk azonban az volt, hogy az ultrahang felgyorsítja a reakciókat. Dimetil-szulfát hidrolízise, illetve a KIO_3 redukciója során végeztek körültekintő vizsgálatokat. Utóbbi esetben a reakcióelegy keményítőt tartalmazott, amely a KIO_3 redukójakor képződő jóddal kék színreakciót adva jelezte a reakció megindulását (jód „órareakció”). Azt tapasztalták, hogy az ultrahanggal történt besugárzásnál – a hagyományos melegítéssel összehasonlítva – alacsonyabb hőmérsékleten kezdődött a jód „órareakció”. Nem meglepő módon a jóddazid (N_3I), ami mechanikai hatásokra nagyon érzékeny vegyület, ultrahang hatására felrobbant, viszont a kevésbé érzékeny ammónium-nitráttal semmi nem történt.

Néhány évvel később, 1933-ban jelent meg Szalay Sándor történeti távlatokban úttörő jelentőségűnek tekinthető munkája [5], amelyben elsőként tanulmányozta az ultrahang hatását polimer molekulákon. A méréseket a maga építette ultrahang-generátorral keltett 722 kHz-es ultrahanggal végezte. Vizsgálataihoz két fehérjemolekulát (keményítő, zselatin), illetve a gumiarábikumot (poliszacharidok és glikoproteinek keveréke) használta. A keményítő vizsgálatánál a fent már említett kék színreakciót használta indikátorként, míg a zselatin és a gumiarábikum esetén vizes oldatuk viszkozitásának változását mérte. Az eredmények – vagyis a viszkozitás csökkenése – alapján megállapította, hogy az ultrahang kisebb részekre darabolja a polimermolekulákat (azaz depolimerizációt idéz elő). Hasonló jelenséget egyszerű, kis molekuláknál nem tapasztalt. A Szalay által közölt felismerések alapján hamarosan további vizsgálatokat végeztek más természetes óriásmolekulákkal (pl. a hemocinain nevű fehérjével) [6], illetve mesterséges polimerekkel is [7].

Szalay Sándor abban az időben *Szent-Györgyi Albert* mellett, a Szegedi Tudományegyetem Orvosi Kémiai Intézetében dolgozott. *Ralph W. Moss* amerikai újságíró Szent-Györgyiről szóló, magyar fordításban is megjelent életrajzi könyvéből [8] tudjuk, hogy Szent-Györgyi azzal a kifejezett céllal alkalmazta az akkor 22 éves fiatal fizikus Szalay Sándort,¹ hogy egy megfelelő teljesítményű ultrahang-generátort építsen. Szent-Györgyi Albert igazi célja patkányok daganatos (rákos) sejtjeinek nagy energiájú ultrahangos besugár-



1. ábra. Az átmeneti kavitáció jelensége.

zással történő elpusztítása volt. Talán ezzel is magyarázható, hogy Szalay Sándor egyedüli szerzőként jegyzi kémiai vonatkozású eredményeit. Ugyanakkor Szent-Györgyi Albert még abban az évben a *Nature* című nagy tekintélyű folyóiratban egy rövid közleményben foglalta össze az ultrahanggal kapcsolatos tapasztalataikat megállapítva, hogy a rákos sejtek elpusztítása nem járt sikerrel [9].

Az eredmények jelentőségét mi sem mutatja jobban, mint hogy röviddel e cikk megjelenése után a *The New York Times* heti *The week in science* rovatában beszámol a korai, ultrahanggal nyert eredményekről, utalva Loomis vizsgálataira és idézve Szent-Györgyi megállapításait [10].

Szent-Györgyi Albert fent említett cikkében lehetőségként megjegyzi [9], hogy nagyobb energiájú sugárzással esetleg lehetővé válhat kis molekulák átalakítása is, illetve lehetőség nyílhat arra, hogy az ultrahang segítségével kémiai kötések erősségét is megmérjük. Látni kell azonban azt, hogy az ultrahang energiája nem alkalmas arra, hogy vele kémiai kötések közvetlenül hasítsunk. Az ultrahang hatására a kémiai reakciók hatékonyabban, gyorsabban, enyhébb reakciókörülmények között, nagyobb hozamot adva mennek végbe, esetleg a reakcióút is megváltozhat, vagyis az ultrahang lényegében újfajta, különleges, hatékony energiaközlést jelent.

Az ultrahang kémiai átalakulásokban történő felhasználási lehetősége az akusztikus kavitáció jelenségén alapul. Az ultrahanghullámok (mint bármely hanghullám) összenyomódási (kompressziós) és tágulási (expanzíós) ciklusokból állnak. Folyadékokban a tágulás során fellépő negatív nyomás eredményeként a molekulák eltávolodnak egymástól. Ha a hanghullám elegendő nagy energiájú, akkor a molekulákat összetartó kötőerők megszűnnek és buborékok képződnek. Nagyon tiszta folyadékok esetén a buborék-

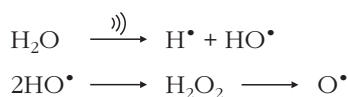
¹ Az angol eredetiben Szalay Sándor neve A. Szalayként jelent meg (ismert, hogy tudományos munkáit Alexander Szalayként jegyezte). Sajnálatos módon a fordító, illetve a lektor figyelmen kívül hagyta a magyar fordításban Szalay Andrásné szerepét.

képződéshez szükséges negatív nyomás nagyon nagy (tisztá víznél pl. ~1000 atm). Amennyiben azonban a folyadékban oldott gázok vannak (és a gyakorlatban ez mindig fennáll), ezek buborék formájában könnyen megjelennek. A buborékképződést szennyezősek is elősegítik. A buborékok belsejében a nyomást az adott folyadék adott körülmények közötti gőznyomása határozza meg, amihez hozzáadódik az oldott gáz felszabadulásából eredő nyomás is (vagyis a buborékban nem vákuum van) [1].

A kavitációnak két formája ismert. A stabil – az akusztikus hatás szempontjából elhanyagolható – kavitáció azt jelenti, hogy a képződő buborékok stabilak több kompressziós-expanziós cikluson keresztül. Ezzel szemben az átmeneti vagy tehetetlenségi (tranzien) kavitáció során a buborékok a ciklusok során növekednek, majd egy bizonyos méret elérése után – a buborékban uralkodó nyomás jelentős csökkenése miatt – hevesen összeroppannak (*1. ábra*). Utóbbi eredményeként a folyadékokban lokálisan extrém nagy hőmérsékletek és nyomások alakulnak ki. Konkrét mérések szerint ezek elérhetik az 5500 K (ez a Nap felszíni hőmérséklete) és az 1000 atm értékeket is, ugyanakkor ezek a hatások gyorsan elenyésznek (a hűlési sebesség 10^{10} K/s). Az ultrahang kémiai reakciókra gyakorolt hatásának ilyen értelmezését forró pont (hot spot) modellnek nevezzük. Amennyiben a buborék szilárd felület mentén omlik össze, akkor a buborék ellentétes oldaláról nagy sebességű, túszerű kilövellés indul meg a felület felé (microjet). Ez okozza a kavitáció mechanikai hatását, vagyis szilárd felületek (pl. hajócsavar és szivattyúk, illetve az ultrahangkészülék) erózióját.

A szonokémiának sokféle kémiai alkalmazási lehetősége közül – érdekességük és jelentőségük alapján – két fontos területet emelünk ki, megemlítve azt, hogy legszélesebb körben elsősorban a szerves kémiában használják.

Az ultrahang vízre gyakorolt hatását már 1929-ben vizsgálták és megfigyelték, hogy ilyenkor hidrogénperoxid képződik. Mivel a víz, mint oldószer fontos szerepet tölt be a kémiában, érthető, hogy ezt a területet behatóan tanulmányozták. Ma már ismert, hogy ultrahang hatására vízben – az alábbi, a részletezés és teljesség igénye nélkül bemutatott reakcióban feltüntetett – reaktív részecskék képződnek, amelyek másodlagos, oxidációs folyamatokat indítanak el (a nyíl fölött látható jelet használják kémiai reakciók esetén az ultrahang szimbólumaként). Ez a terület a *vizes szonokémia*.



A másik fontos alkalmazás a *heterogén szonokémia*, amikor két, nem elegyedő fázis között megy végbe kémiai átalakulás. Ezen belül – különösen a szerves kémiában – nagyon gyakori egy folyadékfázisban oldott reagens és szilárd anyag – igen gyakran fém – közötti reakció. A fémek többségének felülete

oxidréteggel borított, ezért a reagens csak e felületi oxidrétegen keresztüli diffúzió révén tud eljutni a fémhez, ami lassú folyamat. Az oxidréteg alatt folyó reakció eredményeként azonban a felületi oxidréteg egy idő után leválik és a szabad fémrel így a továbbiakban már gyors reakció mehet végbe. A reakció lassú kezdeti időszakát indukciós periódusnak nevezzük. Ha ilyen esetekben ultrahangot alkalmazunk, az indukciós periódus jelentősen lerövidül és a reakció sokkal rövidebb idő alatt megy végbe. Az ultrahang ugyanis lényegében gyorsan „megtisztítja” a felületet, vagyis nagyon reaktív, tiszta fémfelületet hoz létre és ez eredményezi a reakciósebesség növekedését. A legfontosabb ilyen alkalmazási lehetőségek a fémorganikus kémia területére esnek, amikor is szerves vegyületek és fémek közötti reakcióval fém-szén kötést tartalmazó vegyületeket szintetizálunk. Ezek többsége igen nagy reaktivitású és ennek eredményeként nagyon széles körben használhatók a szintetikus szerves kémiában. Végezetül érdemes utalni arra is, hogy az ultrahang előidézheti szilárd anyagok (pl. fémek) apródozását (diszpergálódását) is (ez az alkalmazott körülmények és az anyagok tulajdonságai, pl. olvadáspont, függvényében eltérő mértékű lehet). Ennek a heterogén katalízisben lehet nagy jelentősége, ugyanis itt a reakció sebességét befolyásoló egyik legfontosabb tényező a reagensek számára hozzáférhető felület.

Befejezésül érdemes utalni Szalay Sándor munkájának utóéletére is. Ahogy azt *Török István* körültekintő elemzése kimutatta [11], az 1933-ban megjelent publikációra még az utóbbi években is hivatkoznak és nem csak összefoglaló közleményekben. Ez is világosan utal arra, hogy a tudományos közvélemény Szalay Sándor eredményeit tényleg úttörő jelentőségűnek tartja, és valóban úgy tekinthetünk rá, mint az ultrahang kémiai alkalmazásának egyik legelső művelőjére, vagyis a szonokémia egyik úttörőjére.

Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetet mond *Hannus István* egyetemi tanárnak a Szent-Györgyi Albertre vonatkozó dokumentumok rendelkezésre bocsátásáért.

Irodalom

1. Török B., Molnár Á.: Kémiai átalakulások mikrohullámú és szonokémiai aktiválással. *A kémia újabb eredményei*. 82. kötet (szerk. Csákvári Béla). Akadémiai Kiadó, Budapest, 1997, 99–301.
2. Tarnóczy T., *Fizikai Szemle* 22 (1972) 321.
3. J. Thornycroft, S. Barnaby, *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers* 122 (1895) 51.
4. W. T. Richards, A. L. Loomis, *J. Am. Chem. Soc.* 49 (1927) 3086.
5. A. Szalay, *Z. Phys. Chem. A* 164 (1933) 234.
6. S. Brohult, *Nature* 140 (1937) 805.
7. G. Schmid, A. Rommel, *Z. Phys. Chem. A* 185 (1939) 97.
8. R. W. Moss: *Szent-Györgyi Albert*. Typotex, Budapest, 2003.
9. A. Szent-Györgyi, *Nature* 131 (1933) 278.
10. *The New York Times*, Sunday, March 26, 1933.
11. I. Török, *ATOMKI Annual Report* 2006, x–xi; *Természet Világa* (2007. április) 172–174.

A témakörhöz kapcsolódó honlap: <http://www.freeweb.hu/lorincza/labinfo/dokument/7szlabresz.pdf>

SZALAY SÁNDOR A TALAJ-NÖVÉNY RENDSZERRŐL

Győri Zoltán

Debreceni Egyetem, Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma,
Élelmiszertudományi, Minőségbiztosítási és Mikrobiológia Intézet

Szalay Sándorról egy olyan kutató-oktató szemszögéből tudok beszámolni, akinek a pályafutását végigkísérte a talaj-növény-állat-ember tápláléklánc kutatása. Pályámat 1973-ban kezdtem, s akkor már megjelent Szalay professzor magyarországi láptalajokon folytatott kísérleteinek és vizsgálatainak eredménye. Azért is fogadtam érdeklődéssel ezeket a megállapításokat, mert készülő egyetemi doktori disszertációm témája – igaz más talajtípuson – indokolta ezt. Egy kutató reális megítéléséhez elengedhetetlenül hozzátartozik annak a politikai, társadalmi környezetnek a megítélése, amelyben alkotott. Az elmúlt évszázadban a hatvanas-hetvenes éveket a „szocialista tábor”-ban az 1. táblázatban látható első igény jellemezte.

Ez azt jelentette, hogy akkor minden talpalatnyi földet (termőtalajt) az élelmiszerellátás szolgálatába kívánták állítani. Mellettünk a hatalmas kiterjedésű – élelmiszerhiánnyal küszködő – Szovjetunió igényei mind a termelés volumene, mind pedig az azt megalapozó tudományos eredmények iránt fokozottak voltak. Így fordultak a hazánkban kisebb jelentőségű, de a világ számos helyén nagy területet elfoglaló láptalajok felé. Ráadásul, például Finnországban már akkor is folytak olyan kutatások, amelyek a láptalajokon élő populáció látszólag egészséges táplálkozása és bizonyos szívbetegségek gyakoribb előfordulása közötti kapcsolatot, illetve ennek okait keresték. Ezért is fordulhatott Szalay professzor és kutatócsoportjának néhány tagja a láptalajon termesztett növények mikroelem-tartalmának vizsgálata felé, azon korábbi kutatási eredményeinek birtokában, amelyek bizonyították egyes uránvegyületek megkötődését a huminsavakon.

Ezeket a kutatásokat kezdetben spektrofotometriás (ld. Beckman) elemtartalom-mérés jellemezte, majd megjelentek az első generációs atomabszorpciós (Unicam SP90, Beckman 485) spektrofotométerek. Örömmel tájékoztatom az olvasót, hogy ma ICP-OES (plazmagerjesztéses atomemissziós) és ICP-MS (plazmaemissziós analízátor tömegszelektív detektor) típusú készülékekkel folytatjuk a korábban említett tápláléklánc elemforgalmának vizsgálatát, kiegészítve azzal a speciális elválasztástechnikával, amellyel eltérő biológiai aktivitású ionformák is meghatározhatók.

Szalay Sándor csoportja széleskörű kutatómunkát végzett, s amint az 1. ábra térképén látható, szinte minden láptalajról voltak vizsgálati adataik. Később figyelmük a Hortobágy szikes legelői felé fordult.

Ez a folyamat egyáltalán nem meglepő, hiszen már a keszthelyi rétlápon is a talaj-növény-állat láncot vizsgálták egy szélsőséges talajtípuson és a hortobágyi szikes legelőkön is nyomelemfelvételi rendelkezésekre lehetett számítani. A kutatócsoport által vizsgált növények a következők voltak a láptalajon:

fehér mustár, borsó, szója, köles, szudánifű, zab, lapterületek flórája (vadontermő és kultúrnövények).

Ennek eredményei a következők voltak: ezeken a talajokon általánosan jelentkezik a növényzet mikroelemhiánya (mangán, réz, cink), míg a molibdén esetén túlellátottság figyelhető meg.

A hortobágyi legelők fontosabb növénycsaládjainak mikroelem-tartalmát mutatja a 2. táblázat.

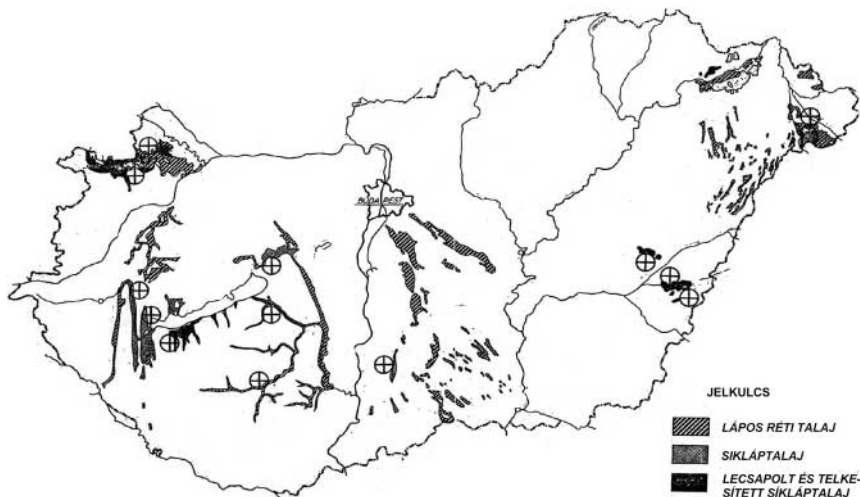
A kutatások eredményeként megállapították: „A hortobágyi legelőkön élő állatállománynál úgy látszik, hogy mutatkoznak a mikroelemhiány-tünetek, de ezeket nem tudták eddig biztosan diagnosztizálni. Kétségtelen, hogy a juhállomány szaporodási indexe mintegy 40%-kal alacsonyabb a jó legelőkön megszőköttnél, amit rézhiány, cinkhiány vagy mangánhiány is okozhat. 1976-ban a Hortobágyon egy juhállományt alapos és elsősorban mikroelem-analíziseken alapuló tudományos vizsgálatnak vetettünk alá. A Hortobágyon megismert cink- és rézhiány okait keresve arra a következtetésre juthatunk, hogy ez a fokozatos elszikesedés a pH emelkedésének következménye és feltehetően csak a Tisza vízszabályozása után lépett fel jelentős mértékben. Feltételezhető, hogy az országos általános belvízszabályozás, Tisza-szabályozás előtt, amíg a Tisza és mellékfolyói évenként többször is elöntötték e terület nagy részét, kirívó mikroelemhiány egyáltalán nem volt. A mikroelemhiány-jelenségek valószínűleg ugyanazon a területen is csak időszakosan, bizonyos időjárási tényezők kombinációjának hatására lépnek fel és így az állatállományt is csak időszakosan sújtják.” (Agrokémia és Talajtan 26 (1977) 1–2. 107.)

Az előzőekben bemutatott eredmények után joggal kérdezhető, hogy miként folytatódott ezek a kutatások az elmúlt évtizedekben. Mint azt korábban jeleztem, az egyetemi doktori disszertációm is többek között mikroelemtémájú volt. Ezt követte kandidátusi értékezőm, majd az akadémiai disszertációm, azok-

1. táblázat

Társadalmi igények változása

Évek	Fogyasztó	Politika/Élelmiszer-ipar
1945–1950	Éhes vagyok.	Élelmiszer-ellátás biztonsága
1960–1980	Mit egyek? Választani akarok.	Túltermelés csökkentése
1990–2000	Mit jelent az élelmiszer-biztonság?	Élelmiszer-biztonság (hivatal, közvélemény tájékoztatása)
2000-től	Melyik a legjobb az egészség szempontjából?	Sokféle fogyasztói réteg igénye, táplálkozás és egészség jelentősége



1. ábra. Szalay Sándor kutatócsoportja által vizsgált magyarországi láptalajterületek, a megvizsgált területek ⊕ jellel jelölve.

kal a műszerekkel, amelyekről már írtam. Ma már a Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma, Élelmiszertudományi, Minőségbiztosítási és Mikrobiológiai Intézetben munkatársaim folytatják a kutatást, amelyről a következőkben kívánok néhány mondatot írni.

Jelenleg lehetőségünk van egy-egy mezőgazdasági művelésben lévő tábláról – a GPS helymeghatározást is igénybe véve – mikroelem-, illetve toxikus elem-térképet készíteni. Eredményes módszerfejlesztést végeztünk és így mikro-, nano-, pikogram pontossággal elemtartalmat tudunk meghatározni különböző növényekből és talajokból. Ezáltal többek között a nitrogén-, foszfor-, káliumtartam-trágyázás hatását is ki tudjuk mutatni. Ez az analitikai lehetőség jól használható talajok egymás utáni (különböző kivonószerekkel) extrakciós mikroelem-tartalmának meghatározására, különösen a hosszú távú változások megítéléshez. Továbbá olyan ártéri szennyeződések kockázatának becsléséhez, mint a 2000. évi tiszai nehézfém-szennyezés volt.

S végezetül mind a kutatók, mind pedig a téma iránt fogékony érdeklődők joggal tehetik fel azt a kérdést, hogy az előzőekben említett szakterületen mi

Szalay professzorék üzenete a mai kor emberének. A különböző drogrégiák polcain található és megvásárolható, különböző elemekkel dúsított étrend-kiegészítők az ilyen kutatások eredményein is alapulnak, és mi sem bizonyítja jobban a mikroelemek jelentőségét a táplálékláncban, mint az a tény, hogy az Európai Unió egyik kutatási programjában a következő címmel hívják vezető kutatók az Európai műhelyeket együttműködésre. COST – European Cooperation in Science and Technology (Európai Tudományos és Technológiai Együttműködés): *Mineral-improved crop production for healthy food and feed* (Javított

ásványi összetételű növények termesztése egészséges ételmisszer és takarmány előállítására). Prof. *Bal Ram Singh*, Norwegian University of Life Sciences (Norvégiai Élettudományi Egyetem). Ez is mutatja, hogy közel 60 évvel e kutatások hazai megjelenése után, különösen a világ fejlődő régióiban van kiemelt jelentősége a mikroelem-felvétel, mikroelemtranszport vizsgálatának, és ezek hatásának a táplálékláncban.

Irodalom

- Belák S., Győri D., Sámsoni Z., Szalay S., Szilágyi M., Tóth A.: A mikroelemek felvételének tanulmányozása a keszthelyi rétlápon. I. *Agrokémia és talajtan* (1969) 263–288.
- Belák S., Győri D., Sámsoni Z., Szalay S., Szilágyi M., Tóth A.: A mikroelemek felvételének tanulmányozása a keszthelyi rétlápon. II. Szudáni cirokfű és zab. *Agrokémia és talajtan* (1970) 27–38.
- Győri Z.: *A borsó, lucerna és kukorica nitrogén és ásványi anyag tartalmának változása különböző tápanyagellátottsági szinten öntözetlen és öntözött viszonyok mellett*. Doktori értekezés, Debrecen (1977) 118.
- Győri Z.: A Műszerközpont 20 éve. Az élelmiszertudományi és minőségügyi képzés fejlődése a Debreceni Egyetemen. *Az Élelmiszertudományi, Minőségbiztosítási és Mikrobiológiai Tanszék új épületének avatására készített kiadvány*. (szerk.: Loch J., Ungai D., Sipos P.) Debreceni Egyetem, 2006.
- Landy L., Sámsoni Z., Szalay S., Szilágyi M.: Mikroelem permetezéssel szabaddéli kísérlet az Enying környéki láptalajon. *Agrokémia és talajtan* (1972) 193–196.

2. táblázat

Fontosabb hortobágyi növénycsaládok átlagos mikroelem tartalmának összehasonlítása

növénycsalád	fajok száma	minta száma	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Mo (ppm)	B (ppm)
fűfélék (<i>Poaceae</i>)	22	122	74	48	14,1	2,8	1,6	7,1
pillangósok (<i>Fabaceae</i>)	22	75	159	55	29,6	7,5	3,8	24,0
fészkesek (<i>Compositae</i>)	15	46	197	77	38,9	12,4	1,3	28,4
libatopfélék (<i>Chenopodiaceae</i>)	9	17	363	87	28,6	7,9	1,5	27,0
sásfélék (<i>Cyperaceae</i>)	8	35	90	124	17,4	5,5	1,9	9,8
szittyófélék (<i>Juncaceae</i>)	5	12	59	147	49,7	6,1	3,0	13,1
szegfűfélék (<i>Caryophyllaceae</i>)	4	10	257	100	40,4	4,7	0,7	29,7

Forrás: *Agrokémia és Talajtan* 26 (1977) 1–2. 105.

- Sámsoni Z., Szalay S., Szilágyi M.: Néhány láptalaj és azon termelt takarmány nyomtápelem vizsgálata. *Agrokémia és talajtan* (1971) 353–360.
- Sámsoni Z., Szalay S., Szilágyi M.: Magyarországi tőzeges láptalajok kationszorpció és mikroelem vizsgálata. *Növénytermelés* 23 (1974) 327–334.
- Sámsoni Z., Szalay S., Szilágyi M.: Magyarországi tőzeges talajok növényeinek mikroelem hiányjelenségeiről. *Növénytermelés* 24 (1975) 35–45.
- Sámsoni Z., Szalay S., Szilágyi M., Tóth A.: A mikroelemek felvételének tanulmányozása a keszthelyi rétlápon IV. *Agrokémia és talajtan* (1975) 61–70.
- Szalay S. nyomtatásban megjelent tudományos munkái 1932–1969. (I.–II. kötet)
- Szalay S., Sámsoni Z., Siroki Z., Y. El-Hyatemy: A Hortobágy legelőterületeinek mikroelem ellátottsága. *Agrokémia és talajtan* (1977) 95–112.
- Szalay S., Sámsoni Z., Szilágyi M.: A mikroelemek felvételének tanulmányozása a keszthelyi rétlápon. III. Fehér mustár, borsó (Lincoln), szójabab és köles. *Agrokémia és talajtan* (1970) 39–54.
- Szalay S., Sámsoni Z., Szilágyi M.: Összehasonlító vizsgálatok néhány magyarországi lápterület és ásványi talaj flórájának mikroelem-tartalmáról. *Agrokémia és talajtan* (1970) 13–26.
- Szalay S., Szilágyi M.: Laboratory Determination of the Retention of Micronutrients by Peat Humic Acids. *Plant and Soil* 29 (1968) 219–224.
- Szalay S., Szilágyi M.: Nyomtápelemek szorpciója tőzegtumuszsavakon és jelentősége a gyakorlati mezőgazdaságban. *Agrártudományi Közlemények* 27 (1968) 109–114.
- Szalay S., Szilágyi M.: Accumulation of Microelements in Peat Humic Acids and Coal. *4th Int. Meeting on Organic Geochemistry*. Pergamon Press, Oxford (1969) 567–577.
- Szalay S., Szilágyi M., Sámsoni Z.: Mikroelem hiányjelenségek az Eying környéki láptelepen. *Agrokémia és talajtan* (1970) 1–12.

HÍREK – ESEMÉNYEK

HÍREK ITTHONRÓL

Félszáz éves jubileum

1925-ben *Faragó Andor Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapok* címmel újította fel a Rátz László által 1914-ben abbahagyott *Középiskolai Matematikai Lapok* szerkesztését és kiadását. A cím megváltoztatásának célja több volt a formális megkülönböztethetőségénél, jól illeszkedett a *Klebsberg Kuno* kultuszminiszterségére jellemző, a reáliákat előtérbe helyező irányzatba. Másrészt a *Lapok* szakmai háttérét jelentő Társulat neve is akkor még Matematikai és Fizikai Társulat volt, kifejezve e két tudományág szoros kapcsolatát. Fennállásának másfél évtizede alatt a *Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapok*ban több, mint 700 fizikafeladat és számos érdekes ismeretterjesztő cikk jelent meg, érdemes lesz egyszer részletesebben is feltárni a *Fizikai Szemle* olvasói számára Faragó Andornak a két világháború közötti középiskolai fizikaoktatást segítő, a tehetségek felkutatását és fejlesztését szolgáló tevékenységét. 1939-ben Faragó Andor rákényszerült a *Lapok* kiadásának beszüntetésére és 1947-ig semmilyen formában nem jelent meg hasonló újság a tehetséges középiskolások számára.

1947-ben Szegeden *Soós Paula* középiskolai matematikatanár kezdett újra szerkeszteni és stencilezett formában terjeszteni egy középiskolai matematika feladatokat kitűző, hasonló célú kiadványt. Kezdeményezését felkarolta a szegedi egyetem fiatal matematikus kutatója, *Surányi János*. Ketten együtt a Társulat támogatását is megszerezték, amely ugyancsak Szegeden szerveződött újjá, a középiskolai oktatást lelkesen támogató *Kalmár László* matematika professzor tevékenysége nyomán. A fizikusok valamivel később, Budapesten kezdtek újjászerveződni, de az itteni egyetemi fizikusok sokkal inkább az ismeretterjesztés

megszállottjai voltak, mint a középiskolai oktatásé. A különböző helyeken, más-más indítással szerveződő Társulat törvényszerűen bomlott ketté, így alakult meg a Bolyai János Matematikai és az Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Nem csodálható, hogy amikor Surányi Jánosnak sikerült támogatást szereznie a *Lapok* újra történő kiadására, visszaálltak az *Arany Dániel*, majd Rátz László által használt *Középiskolai Matematikai Lapok* címre és eltűnt a *Lapokból* a fizika.

1959-ben – fél évszázaddal ezelőtt – *Kunfalvi Rezsőben* és *Vermes Miklósban* erősödött fel legjobban az a kívánság, hogy jó lenne, ha újra megjelenhetne a fizika a *Középiskolai Matematikai Lapok*ban. Ők ketten még egyetemista korukból ismerték egymást: annak idején évfolyamtársak voltak. Meglehetősen eltérő személyiségek, leginkább a fizika tanításának szeretete kötötte össze őket. Az egyetem elvégzése után Kunfalvi Vermes ajánlására került *Ortway Rudolf* mellé az elméleti fizika tanszékre, Vermes pedig saját erejéből *Mikola Sándor* mellé a fasori evangélikus gimnáziumba. Szenvedélyes fotósok, alpinisták, fizikatanárok voltak mindketten. A második világháború alatt és után is kapcsolatban maradtak egymással. 1959-ben Vermes már Csepelen tanított a Jedlik Ányos gimnáziumban, Kunfalvi pedig Budán, a József Attila gimnáziumban. Kunfalvinak voltak tehetségesebb tanítványai, Vermes viszont az Eötvös-versenyt szervezte és a Fizikai Társulat alelnöke volt. Kunfalvi javaslatára, Vermesnek és *Turi Zsuzsának*, a *Fizikai Szemle* szerkesztőjének aktív támogatásával sikerült a Fizikai Társulatnak kivívnia a minisztériumban, hogy megindulhasson a *Középiskolai Matematikai Lapok* „fizikai rovata”. A lapok kiadását ugyanis a minisztérium támo-

gatta és felügyelte. (Így volt ez már Faragó Andor idején is, mindig szükség volt külső támogatóra.)

Szerencsés körülménynek mondhatjuk, hogy az az ember, akít a fizikai rovat főszerkesztőjének kért fel Kunfalvi tanár úr, éppen ebben az évben, 1959 tavaszán kapott félévezető kutatási eredményeiért Kossuth-díjat. *Bodó Zolán* annak idején a Faragó-féle *Lapok* szorgalmas és tehetséges megoldója volt és 1938-ban meg is nyerte az Eötvös-versenyt (ami akkor matematikaverseny volt). Villamosmérnöki diplomát szerzett a Műegyetemen és 1947-ben már részt vett a Holdradar kísérletben – *Bay Zoltán* csapatának legfiatalabb tagjaként.

Most hát szívesen segített a feladatok kitalálásában és a beérkező problematikusabb megoldások értékelésében. Hiába volt villamosmérnök, a mechanika-feladatok voltak a kedvencei. Így volt ezzel a fizikai rovat feladatkitűző bizottságának többi tagja – nemcsak Vermes Miklós de például a Rákóczi gimnázium, majd az ELTE Apáczai Csere János gyakorló gimnáziumának tanára, *Holics László* is. *Holics László* eleinte helyet is adott a bizottságnak, amely felváltva ülésezett hol *Holics László*, hol *Kunfalvi Rezső* lakásán.

1959-től 1965-ig aktív középiskolai tanárként, társadalmi munkában szerkesztette *Kunfalvi Rezső* a fizikai rovatot. Munkájában tehetséges egyetemisták segítettek, részben olyanok, akiket még középiskolában tanított, onnan kerültek egyetemre. 1965-től 1975-ig azután már teljes állásban végezte ezt a munkát. *Staar Gyulán*ak így beszélt az indulásról:

„Igen, a lapszerkesztés új horizontot nyitott. Úgy éreztem, megtaláltam azt a területet, ahol még a legtöbbet teljesíthetek. Jó dolog tehetséges tanulókkal

együtt dolgozni, a folyóirat erre széles területet nyitott. Osztályaim, szakköreim határai országossá tágultak. Alkalmam nyílt középiskoláink tehetséges fiataljaira hatni, feladatokon, kísérleti pályázatokon keresztül elérni őket, de közvetlenül is. Volt diákjaim és az egyetemi hallgatók közül kiválasztottam a legjobbakat, akik ebben a munkában segítettek: elbíralták, osztályozták a beérkező pályázatokat, elkísértek vidéki útjaimra, ahol a diákoknak előadásokat, bemutatókat, foglalkozásokat tartottunk, igyekeztünk magasabb nézőpontból bemutatni a középiskolai fizikát. Néhány éven belül 30-40 vidéki helységet kerestünk fel a mi kis »vándorzenekarunkkal«. *Chatel Péter*, *Tichy Géza*, *Major János*, *Gnädig Péter*, *Mihály László* és sokan mások tartoznak ehhez a csoporthoz, nekik is jót tett, hogy a fizikát nemcsak hallgatták az egyetemen, hanem továbbadni is megtanulták.”

A „fizikai rovat” kifejezés megőrződött azok emlékezetében, akik az indulást követő első évtizedben voltak a *Lapok* fizikapéldáinak megoldói, olykor kitálói. Pedig ma már újra *Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapok* a folyóirat neve, adózva ezzel mind *Faragó Andor*, mind az *Eötvös Loránd* által alapított *Mathematikai és Fizikai Társulat* emlékének. Lehet, hogy eljön egyszer majd az idő, amikor a két társulat újra egyesülni fog? Nemcsak *Eötvös Loránd* és *Faragó Andor* örülne ennek, de bizonyára *Kunfalvi Rezső* és *Vermes Miklós* is, és lehet, hogy sok mai matematika és fizika szakos tanár is.

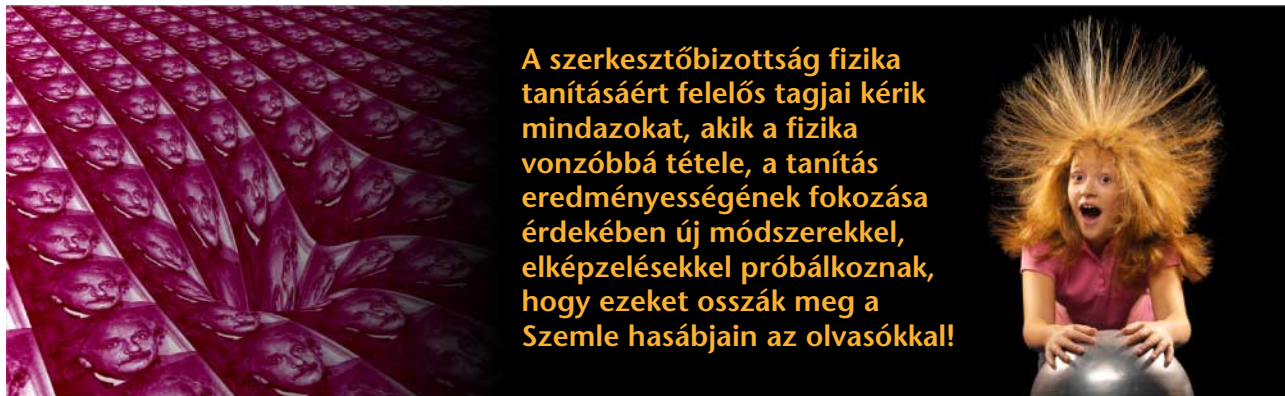
A félszázados jubileum csendes megünneplésével emlékezzünk e nagyszerű tanárookra.

R. Gy.

A Fizikai Szemle 2008. évi nívódíja

A *Fizikai Szemle* Szerkesztőbizottsága a 2008. évi *Marx György-nívódíjat* ÁKOS ZSUZSA, NAGY MÁTÉ, VICSEK TAMÁS: *Kinek jobb a siklórepülési stratégiája, a*

madaraknak vagy nekünk? című cikknek ítélte oda. A díjat és az oklevelet az *Eötvös Társulat* következő közgyűlésén adják át a szerzőknek.



A szerkesztőbizottság fizika tanításáért felelős tagjai kéri mindazokat, akik a fizika vonzóbbá tételé, a tanítás eredményességének fokozása érdekében új módszerekkel, elképzelésekkel próbálkoznak, hogy ezeket osszák meg a Szemle hasábjain az olvasókkal!

Szerkesztőség: 1027 Budapest, II. Fő utca 68. Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Telefon/fax: (1) 201-8682

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

Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős: Szatmáry Zoltán főszerkesztő.

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

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

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

Megjelenik havonta, egyes szám ára: 780.- Ft + postaköltség.

HU ISSN 0015-3257 (nyomtatott) és HU ISSN 1588-0540 (online)

A FIZIKAI SZEMLE LIX. ÉVFOLYAMÁNAK TARTALOMJEGYZÉKE

<p><i>Balogh Kadosa, Pécskay Zoltán:</i> Az Atommagkutató Intézet K-Ar laboratóriuma és tevékenysége 422</p> <p><i>Berényi Dénes:</i> Szalay Sándor 402</p> <p><i>Borkovits Tamás:</i> Pontatlan csillagórák 41</p> <p><i>Csizmadia Szilárd:</i> A kettőscsillagok fejlődése 49</p> <p><i>Fenyvesi András, Fényes Tibor:</i> Spallációs és fragmentációs atommag-reakciók 157</p> <p><i>Földi Péter:</i> Kvantumos interferenciajelenségek nanoméretű gyűrűkben 378</p> <p><i>Füstöss László:</i> Száz éve született Gombás Pál 251</p> <p><i>Gabányi Krisztina Éva:</i> Kvazárok gyors fényességváltozásai rádióartományban 334</p> <p><i>Galuska László:</i> Szalay professzor hatása a debreceni nukleáris medicinára 427</p> <p><i>Geszti Tamás:</i> Tisza László, 1907–2009 209</p> <p><i>Györi Zoltán:</i> Szalay Sándor a talaj-növény rendszerről 434</p> <p><i>Hamvas István:</i> A hazai urán 410</p> <p><i>Hargittai Magdolna, Hargittai István:</i> Nevek és hírnevek – Herzberg, Jahn, Renner, Teller és az elektron-rezgési kölcsönhatások 247</p> <p><i>Hartmann Ervin:</i> Növekedési, egyensúlyi és oldási kristályformák 205</p> <p><i>Házi Gábor:</i> A rács-Boltzmann módszer 244</p> <p><i>Horváth Dezső:</i> Anyag és antianyag (avagy angyalok és démonok?) 200</p> <p><i>Horváth Dezső:</i> Igazából mi van az LHC-vel? 388</p> <p><i>Horváth Gábor:</i> Hogyan mozoghattak a dinoszauruszok? 141</p> <p><i>Hraskó Péter:</i> A fizika axiomatizálásáról 229</p> <p><i>Hraskó Péter:</i> Biztos-e, hogy az energia megmarad? 131</p> <p><i>Jéki László:</i> Feketelyuk-sugárzás 182</p> <p><i>Kádár György:</i> A ferromágneses hiszterézis 163</p> <p><i>Kereszturi Ákos:</i> Megszondázzuk a Naprendszert 193</p> <p><i>Kiss Árpád Zoltán:</i> Gyorsított ionnyalábokkal végzett kutatások az ATOMKI-ban 417</p> <p><i>Kiss Péter, Csabai István, Lichtenberger János, Jánosi Imre:</i> Kozmikus sugárzás, időjárás, éghajlat: hol a hiányzó láncszem? 238</p> <p><i>Kistüttői Gyula:</i> Kinematika a karteziánus fizikában 306</p> <p><i>Kovács Ferenc:</i> Üzemidő-hosszabbítás a Paksi Atomerőműben 207</p> <p><i>Laczik Bálint:</i> Szövevényes rajzolatok... 92</p> <p><i>László János:</i> Fájdalomcsillapítás mágneses térrel 169</p> <p><i>Ligetfi Zoltán:</i> Neutrínóoscillációk és a kvantumállapotok összefonódása 329</p> <p>Magyarországon temették el Hevesy György lányát (<i>Palló Gábor</i>) 314</p> <p><i>Molnár Árpád:</i> Szalay Sándor, a szonokémia úttörője 431</p> <p><i>Nagy Dénes Lajos:</i> Jéki László (1942–2009) 180</p> <p><i>Néda Zoltán, Káptalan Erna:</i> A sokaság ritmusa – meglepő szinkronizációs folyamatok 301</p> <p><i>Ódor Géza:</i> Univerzalizációs osztályok és fázisátalakulások komplex, nemegyensúlyi rendszerekben 136</p> <p><i>Oláh Katalin:</i> Nézz fel és csodálkozz! – Csillagászat 2009 1</p> <p><i>Oláh-Gál Róbert:</i> Eötvös Loránd és Réthy Mór levelezése 311</p> <p><i>Oláh-Gál Róbert:</i> Kacsóh Pongrác, a fizikus 7</p> <p><i>Ormai Péter, Hegyháti József:</i> Merre tart az Európai Unió a nukleáris hulladékok kezelése területén? 381</p> <p><i>Pál Lénárd:</i> Ötven éve a KFKI-ban 81</p> <p><i>Patkós András:</i> Csillagászat és részecskefizika 365</p> <p><i>Pecz Béla:</i> Mojzes Imre, 1948–2009 210</p>	<p><i>Pósfai Mihály:</i> Mágneses baktériumok 174</p> <p><i>Pozsgai Imre:</i> Atomerő-mikroszkóp a Marson 3</p> <p><i>Radnai Gyula:</i> Séta az Aulában 190</p> <p><i>Somogyi Gábor, Trócsányi Zoltán:</i> Regularizáció és renormálás: példák a klasszikus fizikából 88</p> <p><i>Svingor Éva:</i> Szolgáltatunk? Vagy szolgálunk? 414</p> <p><i>Szabó Róbert:</i> Bolygóáradat és asztroszeizmológia 121</p> <p><i>Szalay A. Sándor:</i> Élmények, tapasztalatok és egyéniségformálódás egy tudós családban 404</p> <p>Szalay-centenárium nap – ATOMKI, Debrecen (<i>Fülöp Zsolt</i>) 401</p> <p><i>Szöke Larissa:</i> Teljesítménynövelés a paksi atomerőműben 178</p> <p><i>Trampus Péter:</i> Az atomenergia alkalmazásáról – nem műszaki szemmel 385</p> <p><i>Vancsó Péter, Biró László Péter, Márk Géza István:</i> Kvantum fönix – hullámcsomag-dinamika az interneten 233</p> <p><i>Varga Péter:</i> A Jánossy-kísérletek – I., II., III. 293, 339, 371</p> <p>Vatai Endre, 1936–2008 (<i>Berényi Dénes</i>) 9</p> <p><i>Vető Balázs:</i> Az elektromos kölcsönhatás a speciális relativitáselmélet szemszögéből 127</p>
A FIZIKA TANÍTÁSA	
52. Középiskolai Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató (<i>Kopcsa József</i>) 266	
A 2008. évi Eötvös-verseny ünnepélyes eredményhirdetése (<i>Gündischné Gajzágó Mária</i>) 103	
A természettudományos közoktatás javításáért 26	
A XXXII. Országos Általános Iskolai Fizikatanári Ankét és Eszközkiállítás (<i>Horváthné Fazekas Erika, Ósz György, Szénási Istvánné</i>) 72	
Az Országos Szilárd Leó Fizikaverseny meghirdetése a 2009/2010. tanévre 396	
<i>Baranyai Klára:</i> Földrajzi helymeghatározás a Nap segítségével 147	
<i>Beke Tamás:</i> Termoakusztikus projektfeladat Rijke-cső vizsgálatára 253	
<i>Daróczy Csaba Sándor:</i> Kulcsok a fizikához 184	
Egy élet a fizika és tanításának szolgálatában: Jeges Károly (<i>Lakatos Tibor</i>) 57	
<i>Eichhardt Iván, Jaloveczki József:</i> Numerikus módszerek a diákköri munkában 348	
Fogolydilemma és tojáshéj-csontimplantátum az MFA nyári kutatótáborában 277	
<i>Gyulai József:</i> Élt 65 évet... – Requiem egy tanszékvért 278	
<i>Hartmann Ervin:</i> BME Kísérleti Fizikai Tanszék 65 éve 278	
Hogyan készítettem töltésmegkülönböztető elektrozkópot? (<i>Czétényi Benjámin</i>) 265	
<i>Holics László, Sükkösd Csaba:</i> A hangsebesség hőmérséklettől való függésének kísérleti igazolása 357	
<i>Jendrék Miklós:</i> Minden, ami ellenállás 260	
<i>Jubász Nándor, Ósz György, Vida József:</i> A XIX. Öveges József Fizikaverseny országos döntője 351	
Kétszer 125 év (<i>Füstöss László</i>) 150	
<i>Kopasz Katalin, Papp Katalin, Szabó M. Gyula, Szalai Tamás:</i> Üstökös az asztalon – Hogyan „főzzünk” csillagászati demonstrációs eszközöket? 257	
<i>Kovács László:</i> Blaise Pascal, a francia kísérleti fizika megteremtője 391	
Kutató leszek egy napra – Részecskefizikai Diákműhely 2010 397	
<i>Nagy Anett, Papp Katalin:</i> Hangszerek a „semmiből” 64	

Paizs Ottó: Új utak a fizika tanításában	25
Poór Attila: Saját fejlesztésű AD-konverter az oktatás szolgálatában	211
Radnóti Katalin, Pipek János: A fizikatanítás eredményessége a közoktatásban	107
Radnóti Katalin: Galilei szerepe a mai, modern világképünk kialakulásában – I., II.	15, 59
Rárosi Ferenc, Papp Katalin: Hertz-kísérletek videomagnóval?	98
Simon Péter: Hogyan élhetett Erdős Pál 2,5 milliárd évet?	11
Sükösd Csaba: Science on Stage 2008	101
Sükösd Csaba: XI. Szilárd Leó Nukleáris Tanulmányi Verseny – beszámoló, I., II. rész	35, 75
Szabó Árpád: A fizikatanítás kialakulásáról, fejlődéséről és jelenlegi helyzetéről	216
Szabó László Attila, Szittyai István, Sükösd Csaba: A Torricelli-kísérlet	20
Szatmáry Károly: Egy „nem hivatalos” tanulmányi verseny sikeréről: a Galilei Országos Csillagászati Diákvetélkedő	275
Szórád Endre: Tehetség gondozás a Vajdaságban	315
Vannay László, Fülöp Ferenc, Máthé József, Nagy Tamás: A Fizika Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny harmadik fordulója, a második kategória részére	270

ATOMOKTÓL A CSILLAGOKIG

Szabó György: A tisztességes magatartás kialakulása: játékelméleti elemzés	118
---	-----

VÉLEMÉNYEK

A „Matematikai közoktatás a PISA/TIMSS felmérések tükrében” műhelykonferencia eszmecseréinek következtetései	221
Grandpierre Attila: Csillagászat és civilizáció – a csillagászat jelentősége a tudomány és a pedagógus társadalom jövője számára	362
Laczkovich Miklós: Bologna és a tanárképzés	218
Szondy György: Gondolatok a fizika mibenlétéről	114
Theisz György: Gondolatok az iskolai energiafogalomhoz	281
Vélemény a fizikatanítás eredményességéről (Tóth Endre)	187

DISZKUSSZIÓ

Az antropikus elvről – 58. évf. 321–322. (Bánó Miklós, Hráskó Péter)	9
Az antropikus elvről – 58. évf. 321–322. (Szabó M. Gyula, Hráskó Péter)	152

ÁLFIZIKAI SZEMLE

A hatodik Budapesti Szkeptikus Konferencia (Füstöss László)	113
---	-----

KÖNYVESPOLC

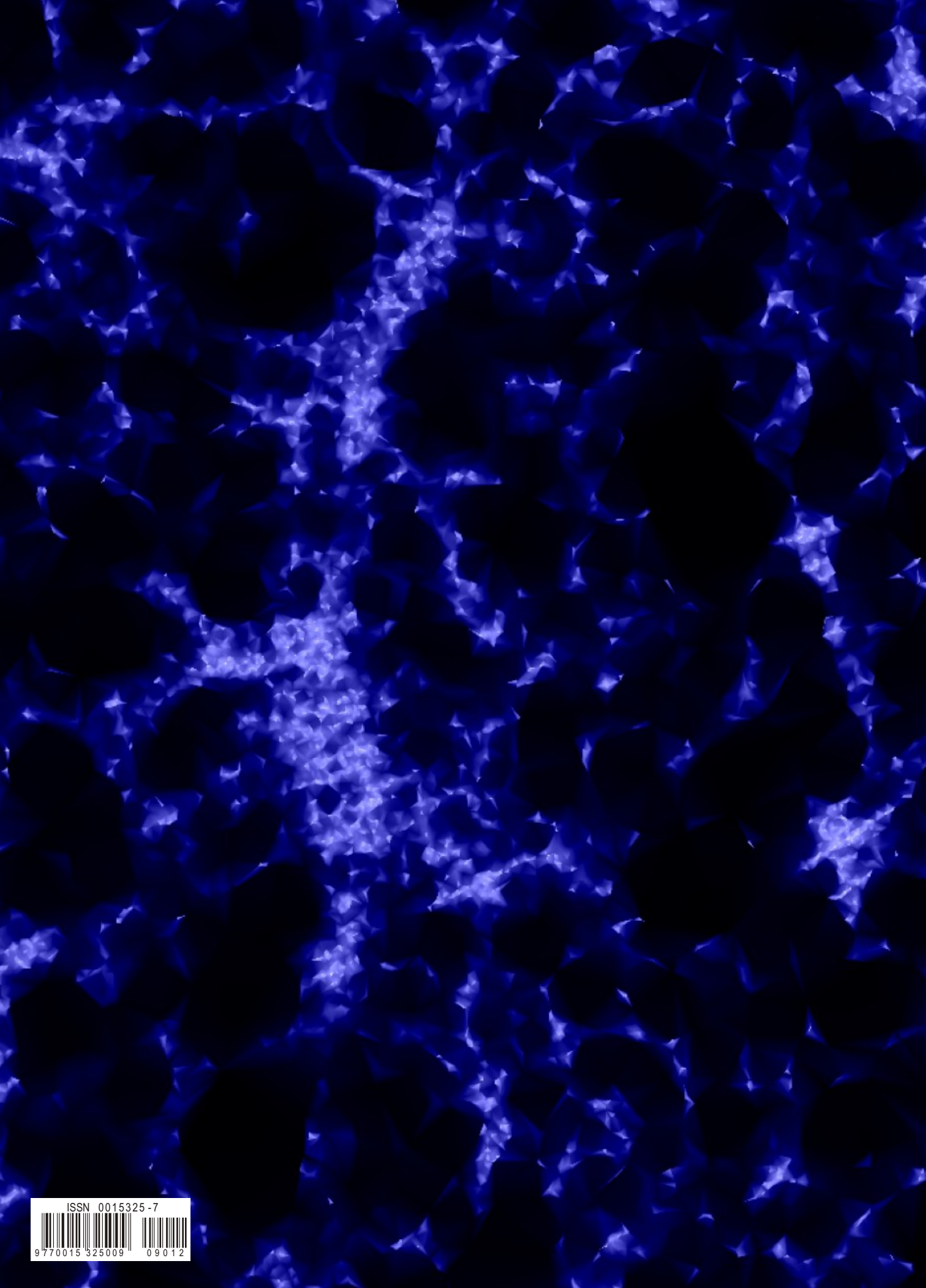
Abonyi Iván: Kiemelkedő fejezetek a XVII–XIX. század fizikájából (Füstöss László)	80
Abonyi Iván: Kiemelkedő fejezetek a XX. század fizikájából (Füstöss László)	364
Az ismeretterjesztés ötletes útja – Lawrence M. Krauss: A Star Trek fizikája (Füstöss László)	154
Mit adott az emberiségnek a „nukleáris korszak”? (Bencze Gyula)	285
Ponori Thewrewk Aurél: Az ég királynője (Füstöss László)	318
Révai Gábor: Beszélgetések nem csak tudományról (Berényi Dénes)	115
Walter Isaacson: Einstein (Füstöss László)	283

PÁLYÁZATOK

Kutatók éjszakája kisfilm-pályázat	225
Pályázat kísérleti fizikából	224

HÍREK – ESEMÉNYEK

A CERN megerősítette, hogy az LHC 3,5 TeV energián fog működni	321
A Fermilab új kísérletei korlátot szabnak a Higgs-bozon tömegének	156
A Fizikai Szemle 2008. évi nívódíja	436
A Koppenhága Budapesten (FL)	400
A Lawrence Livermore Nemzeti Laboratórium lézer fúziós berendezése elkészült, de fog-e működni?	189
A legjobb egyetemek rangsora	323
A neutroncsillagok kérge tízmilliárdszor keményebb mint az acél	190
A Tejtrendszer aprócska szomszédja	364
A változó bomlási állandók rejtélye	40
A világháló születésének huszadik évfordulója	156
Alan Guth nyerte el a Newton-érmét	323
Ausztria 50 év után ki akar lépni a CERN-ből	189
Automatizált mágnesszalag-tároló a CERN számítógépközpontjában	156
Az ELFT Vákuumfizikai, -technológiai és Alkalmazásai Szakcsoportja és a Magyar Vákuumtársaság 2009. II. félévi közös szemináriumai	291
Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2009. évi Küldöttközgyűlése	80, 289
Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Közhasznúági jelentése a 2008. évről	227
Az ITER fúziós kísérlet újabb három évet késik	292
Egy évtizede vizsgálódik a Chandra űrtávcső (Szalai Tamás)	326
Egyetemi-akadémiai összefogás az eredményes fizikatanításért	320
Emlékezés szóban és tetteben... (Füstöss László)	399
Eötvös-verseny 2009	320
Erdélyi kirándulás	40
Felhívás javaslatételre	40
Félszáz éves jubileum (R. Gy.)	436
Fizikai előadássorozat az ELTE TTK-n	321
Galileitől az űrtávcsőig	328
Így görbül a tér a Nap körül (Kovács József)	324
Irán nukleáris programjának ellenőrzése	322
Iránnak egy-két év múlva lesz atomfegyvere	117
Japán diplomata az Atomenergia Ügynökség élén	292
Kannibalizmus a lokális galaxishalmazban is (Kovács József)	323
Kitüntetések a nemzeti ünnepen	288
Kitüntetések az Akadémia Közgyűlésén	188
Kitüntetések március 15-e alkalmából	156
Kosály György, 1933–2009 (Solt György)	287
Közgyűlés, 2009	40
Lang János, 1927–2009 (Benedict Mibály, Gyulai József)	116
Letették a világ legbonyolultabb neutrínókísérletének alapkövét	190
Megszűnik az alap kutatás a Bell Laboratóriumban?	117
Megújuló energia Ausztráliában	322
Musical a hűrelméletről	322
Nanoflerek fűtik a napkoronát? (Kovács József)	325
Pazar képek az ismét aktív Hubble-űrtéleszköptől (Kovács József)	328
Peter E. Hodgson, 1928–2008 (Bencze Gyula)	286
Röntgen-sugarakkal az Alzheimer-kór nyomában	292
Sarkadi László az Academia Europaea tagja	227
Takács Sándor: Fizikai Nobel-díj – 2009	398
Tudományos csalási ügy a bíróság előtt	322
Tudományos publikációs adattár	188
Tudománytallózó	288
Új típusú objektumok – szuper planetáris ködök (Kovács József)	328
Ünnepi tudományos ülés Kiss Árpád Zoltán 70. születésnapja alkalmából (Rajta István)	226
Uránt találtak a Holdon	292



ISSN 0015325-7



9 770015 325009 0 9 0 1 2