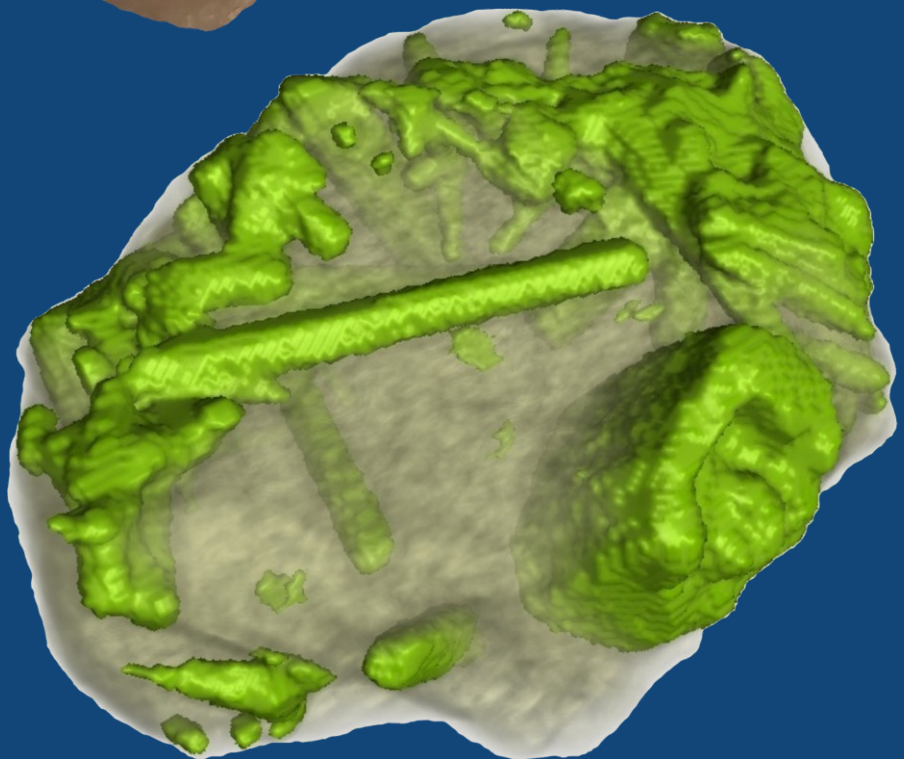


# fizikai szemle

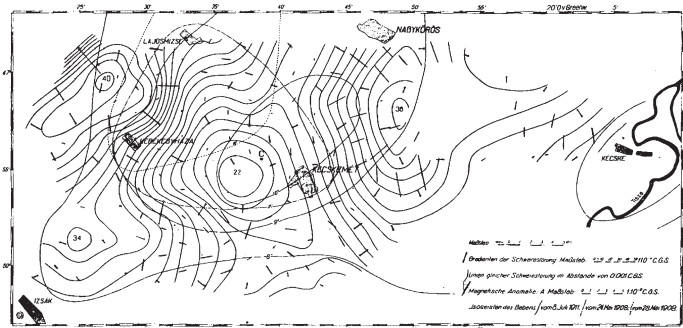


2019/9

# EÖTVÖS LORÁND MŰSZEREI AZ EMLÉKGYŰJTEMÉNYBEN – 4.

## Kettős kis eszköz (1908)

1908-ban született meg a kettős kis eszköz, amely az előző ingákhoz képest jelentős súly- és méretcsökkentést jelentett. A kisebb méret miatt azonban a külső zavaró hatások (talajnyugtalanság, szél stb.) jelentősen megnövekedtek. A korai mérési eredmények közül említésre méltó a Kecskemét környékén végzett torziósinga-mérés, amelyre az 1911. évi nagy földrengés után került sor. A gradiensek és a belőlük szerkesztett izogammák alapján a következő megállapításra jutottak: „A sűrűbb altalajban tehát a középen egy mélyedés van, innen a szélek felé haladva a sűrűbb tömeg emelkedik, majd ismét leesik. Szóval egy kráter szerű alakulattal van dolgunk, illetve helyesebben szólva, egy oly fajta »körhegységgel«, mint amilyenek a holdkráterek. Ez a különös alakulat kétségtelenül összefügg a kecskeméti földrengéssel.” A rengés C-vel jelölt epicentruma a minimum közepébe esik (lásd az ábrát). Sokkal többet ma sem tudunk a kecskeméti rengés eredetéről. (Forrás: Szabó Zoltán: 150 éve született Eötvös Loránd. *Földtani Kutatás XXXV/2* [1998] 3–8.) (Fotó: Kármán Tamás)



Az 1911. július 8-i kecskeméti földrengés komplex geofizikai térképe együtt ábrázolja az izoszeisztákat, Eötvös ingaméréseinek gravitációs adatait és mágneses megfigyeléseinek eredményeit. Eötvös Loránd előadásából a XVII. Földmérési Kongresszuson (Hamburg, 1912).



Eötvös Loránd Emlékgyűjtemény  
Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat  
1145 Budapest, Columbus utca 17–23.  
telefon: 06-1-2524999  
e-mail: muzeum@mbfsz.hu  
web: <https://mbfsz.gov.hu/kiallitasok/eotvos-lorand-emlekgujjtemeny>



## KÉT SIKERES KONFERENCIA

A nyár folyamán az Eötvös Loránd Fizikai Társulat szervezésében két sikeres konferencia zajlott le, a GIREP nemzetközi oktatási konferencia és a Fizikus Vándorgyűlés. Mindkét rendezvény csatlakozott az Eötvös-év eseménysorozatához is.

A fizikaoktatás fejlesztésére 1966-ban alapított GIREP (Groupe International de Recherche sur l'Enseignement de la Physique; <http://girep.org/>) egy egyéni tagságon alapuló nemzetközi munkaközösség, általában évenként július–augusztusban rendez nemzetközi oktatási konferenciát. Az idei konferenciának 2019. július 1. és 5. között, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem adott helyet. A rendezvényen 47 országból 318 résztvevő, 32 önkéntes segítő tanár és diák vett részt. A konferencián 233 szóbeli előadás hangzott el, 76 posztert mutattak be és 11 műhelyfoglalkozásra került sor. Öröndetes volt a jelentős magyar előadói és poszterkiállítói megjelenés a szakmailag nagyon színvonalas konferencián. A konferencia kezdetére elkészült a 800 oldalas absztraktkötet. Az előadások és bemutatók alapján elkészülő anyagokból az IOP Publishing ad ki egy internetes konferenciakiadványt, amely a konferencia résztvevői számára ingyenesen elérhető lesz. A Springer Kiadó pedig felajánlotta a 20-30 cikkből álló „Selected Papers” kiadvány ingyenes kinyomtatását. Konferencia szakmailag magas színvonalú volt, a szekciókban kifejezetten érdekes diszkussziók folytak. A GIREP jelenlegi vezetése a konferencia során többször is megemlékezett *Marx Györgyről*, aki a GIREP vezetőségi tagja volt sok éven keresztül, sőt az elnöke is 1992–95 között. A konferencia résztvevői az alig elviselhető, 40 °C körüli hőhullámmal dacolva, megkoszorúzták Marx György Lágymányosi utcai emléktábláját. A rendezvény sikere nagymértékben a konferencia társelnökei, *Jarosievitz Beáta* és *Sükösd Csaba* két éves, minden részletre kiterjedő szervező munkájának köszönhető. Az ELFT Titkárság is óriási munkát végzett, mind az előkészítésben, mind a lebonyolításban.

Az augusztus 21–24. között megtartott XXX. Magyar Fizikus Vándorgyűlésnek a Soproni Egyetem kampusza adott otthont. A Vándorgyűlés közel 200 résztvevője között fizikusok és fizikatanárok is voltak, és a hagyományoknak megfelelően itt került sor a Társulat díjainak és kitüntetéseiének átadására is. Olvasóinknak és a Társulat Elnökségének közös elvárása, hogy a Vándorgyűlés legérdekesebb előadásainak írott változatát a *Fizikai Szemlében* is közzétegyük. Ezért ezúton is kérjük az előadókat a cikkek megírására. A Vándorgyűlés eseményeiről és a díjazottakról következő számunkban közlünk részletes beszámolót.



### Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat havonta megjelenő folyóirata.

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

Főszerkesztő:  
Lendvai János

Szerkesztőbizottság:

**Bencze Gyula**, **Bíró László Péter**,  
**Czitrovsky Aladár**, **Füstöss László**,  
**Gyürky György**, **Hebling János**,  
**Horváth Dezső**, **Horváth Gábor**,  
**Iglói Ferenc**, **Kiss Ádám**, **Koppa Pál**,  
**Ormos Pál**, **Papp Katalin**, **Simon Ferenc**,  
**Simon Péter**, **Sükösd Csaba**,  
**Szabados László**, **Szabó Gábor**,  
**Takács Gábor**, **Trócsányi Zoltán**,  
**Ujvári Sándor**

Műszaki szerkesztő:  
Kármán Tamás

A folyóirat e-mailcíme:

[szerkesztok@fizikaiszemle.hu](mailto:szerkesztok@fizikaiszemle.hu)

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

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

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>



A címlapon:

**Természetes kősókristály és a benne lévő olivin optikai és neutrontomográfiai képe (a kapcsolódó írást lásd a 304. oldalon).**

## TARTALOM

Lendvai János: Két sikeres konferencia	293
Radnai Gyula: Hogyan kezdte tanítani Eötvös Loránd a fizikát? 1. rész – A fiatal, pályakezdő Eötvös Loránd <i>Eötvös pályájának korai szakaszát és korát mutatja be az írás.</i>	295
Fényes Tibor: Szupernehéz atommagok <i>A szupernehéz atommagok előállításához vezető reakciók és a nehéz atommagok magspektroszkópiái (kísérleti és elméleti) vizsgálatának áttekintése.</i>	300
Szentmiklósi László, Kis Zoltán, Maróti Boglárka, Szilágyi Veronika, Gmélting Katalin, Len Adél, Rosta László, Kun Tibor, Baranyai Rózsa, Fábíán Margit, Bottyán László, Janik József: Tudomány az innováció szolgálatában: neutronos anyagvizsgálati módszerek ipari alkalmazásai a Budapesti Neutron Centrumban <i>A Budapesti Kutatóreaktor mellett működő Budapesti Neutron Centrum bemutatása néhány anyagvizsgálati alkalmazott kutatási téma példáján.</i>	304
Holl András: Fizikai és természettudományi periodikák az interneten <i>A hazai könyvtári digitalizálás helyzetének áttekintése – a fizikai és természettudományos irodalomra fókuszálva.</i>	311
<b>A FIZIKA TANÍTÁSA</b>	
Gyulai Márton, Kadlecsek Ádám, Vavrik Márton, Hömöstrei Mihály, Ispánovity Péter Dusán, Vincze Miklós, Jenei Péter: Ifjú Fizikusok Nemzetközi Versenye 2018 – magyar szemmel – 2. rész <i>További példák a verseny előtt meghirdetett nyílt végű problémák közül, amelyeket a diákok és felkészítőik közel egy éves kutatómunkával oldottak meg.</i>	314
Fülöp László, Brázai Gergő, Kocsonya András: Fogászati röntgenfilmek a fizikában – 3. rész: Természetes radioaktivitás: K-40, háttér és Rn-222 <i>Az időigényes kísérletek eredményei órai szemléltetésre vagy szakköri elemzésre alkalmazhatók.</i>	322
<b>HÍREK – ESEMÉNYEK</b>	
Theisz György: Nyirati László (1948–2019)	328
<i>J. Lendvai: Two successful conferences Gy. Radnai: How Roland Eötvös started his university lectures in physics? – Part 1 T. Fényes: Superheavy nuclei L. Szentmiklósi, Z. Kis, B. Maróti, V. Szilágyi, K. Gmélting, A. Len, L. Rosta, T. Kun, R. Baranyai, M. Fábíán, L. Bottyán, J. Janik: Science in service of innovation: industrial applications of material testing methods in the Budapest Neutron Centre A. Holl: Physics and science periodicals on the internet</i>	
<b>TEACHING PHYSICS</b>	
<i>M. Gyulai, Á. Kadlecsek, M. Vavrik, M. Hömöstrei, P. D. Ispánovity, M. Vincze, P. Jenei: International Young Physicists' Tournament 2018 from Hungarian perspective – Part 2 L. Fülöp, G. Brázai, A. Kocsonya: Dental X-ray films in physics – Part 3 – Natural radioactivity: K-40, background and Rn-222</i>	
<b>EVENTS</b>	
<i>Gy. Theisz: László Nyirati (1948–2019)</i>	



# HOGYAN KEZDTE TANÍTANI EÖTVÖS LORÁND A FIZIKÁT? – 1. rész

## A fiatal, pályakezdő Eötvös Loránd

Radnai Gyula  
ELTE Fizikai Intézet

Akár szimbolikusan is tekinthetnénk, hogy az idei „Eötvös-évet” megelőző évben, mintegy nyitányként bukkant fel egy több mint 700 oldalas, kézírásos, litografált kiadvány talán utolsó, megmaradt példánya, az egykori első éves egyetemi hallgatók számára, Eötvös Loránd egyetemi előadása alapján készült jegyzet.<sup>1</sup>

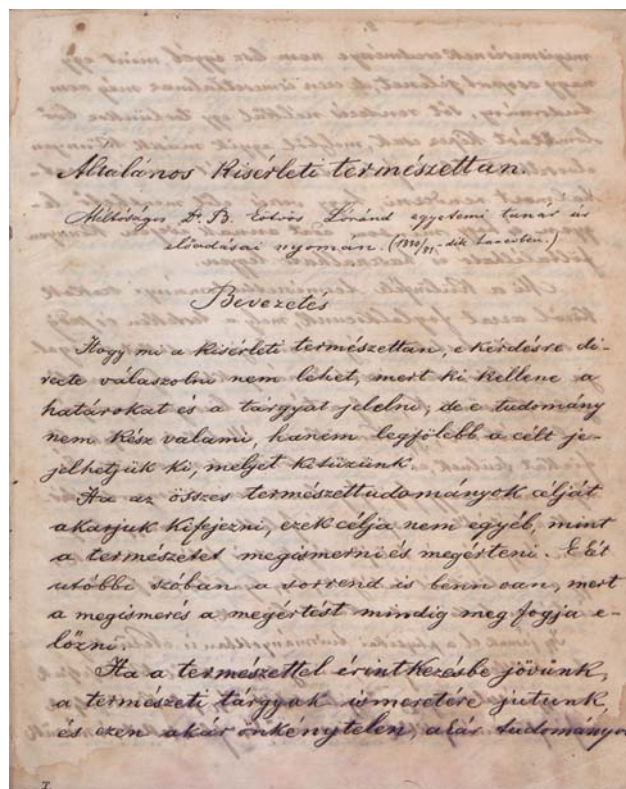
Címe:

*Általános Kísérleti Természettan.*

*Méltóságos Dr. B. Eötvös Loránd egyetemi tanár úr előadásai nyomán. (1880/81-dik tanévben.)*

Többféle kézírást találhatunk e jegyzetben, tehát többben is készíthették, nevük azonban nincs feltüntetve. A szöveg stílusa olyan, mintha szó szerint követné az előadó mondatait, még alcímek is csak ritkán jelennek meg benne. Legvalószínűbb, hogy annak idején gyorsírással jegyzetelték Eötvös előadását, s ezt azután maguk a gyorsírók tették át közönséges kézírásra. Az előforduló ábrák elég szakszerűek, ezek készítését szakember felügyelhette. Lehet, hogy éppen *Bartoniek Géza*, az Eötvös Collegium későbbi híres igazgatója, akit az 1870-es években vett maga mellé tanársegédnek Eötvös Loránd. Az 1880/81-es évszám kissé félrevezető. Ugyanis nem ekkor, hanem az előző években tartott előadások nyomán készült el a kézirat, csak az 1880/81-ben első éves hallgatók számára sokszorosították.

A jegyzet tanulmányozása több szempontból is figyelemet érdemel. Mindenekelőtt szakmai szempontból, amelyre itt is kísérletet teszünk, de majd csak a második részben, a következő számban. De érdekes nyelvészeti szempontból is, nemcsak azért, mert jól megismerhető belőle a magyar nyelv akkori állapota, vagy akár az akkori helyesírás, de azért is, mert Eötvös számos új kifejezést vezetett be az általa németül tanult szakkifejezések magyarosítására. Né-



A jegyzet bevezető oldala.

hány megmaradt, sok persze elfelejtődött az eltelt másfél évszázad óta.

Másfél évszázad! Nem is tűnik olyan hosszú időnek, ha történelmi távlatból nézzük. Viszont elképesztően sokat változott nemcsak a technikai környezet, hanem ennek folytán a mindennapi élet is az utóbbi másfél évszázad alatt. Ennek figyelembevétel nélkül aligha tudnánk Eötvös munkásságát reálisan értékelni. Gondoljunk bele: mennyire elveszettnek érzi magát a ma embere csupán egy kis áramszünet idején. Az 1870-es években nem volt számítógép, nem volt televízió, még csak rádió sem! Nemcsak okos telefon nem volt, de semmilyen telefon sem! Ha valaki üzenni szeretett volna a szomszéd intézetben dolgozó munkatársának, akkor ezt csak levélben tehette meg, melyet rábízott egy intézeti szolgára, hogy vigye át az üzenetet és várja is meg az írásbeli választ, amellyel azután siessen vissza, de sebesen!

Eötvös Loránd a húszas éveiben doktorált Heidelbergben, ekkor nősült meg, és harminc éves korára a kísérleti fizika tanszék vezetője lett. Érdeemes lesz évenkénti bontásban áttekintenünk ezt az időszakot egé-

<sup>1</sup> A teljes jegyzet megtekinthető az ELTE honlapján: <https://edit.elte.hu/xmlui/handle/10831/39533> webhelyen.



Radnai Gyula ny. egyetemi docens, a fizikai tudományok kandidátusa, matematika-fizika tanári szakon végzett 1962-ben. Az ELTE Kísérleti Fizika tanszékén kapcsolódott be a tanárképzésbe, a fizika hazai kultúrtörténetének kutatásába pedig *Simonyi Károly* ösztönzésére fogott a '70-es években. *Physics in Budapest* című – *Kunfalvi Rezsővel* közös – könyve, valamint a *Fizikai Szemlében* és a *Természet Világában* megjelent számos, ma már az interneten is elérhető publikációja hitelesíti ezt a tevékenységét.

szen az 1870-es évek végéig, megjelölve az ő szempontjából is fontos események közül néhányat.

**1865:** ekkor, 17 éves korában érettségizett Eötvös Loránd a pesti piarista gimnáziumban. Otthoni tanulását 12 éves kora óta segítette *Vécsey Tamás* joghallgató és *Kelety Gusztáv*, aki akkoriban szintén jogi tanulmányokat folytatott, de képzőművészeti érdeklődése később a festőművészi pálya felé terelte. Sikert is Loránd rajz tehetségét fejleszteni. *Eötvös József* egyetlen fiának a természet iránti érdeklődését felismerve nemcsak ilyen témájú könyvek vásárlásával próbált segíteni, de a Vécsey Tamással egyidős *Krenner Józsefet*, a későbbi neves ásványkutatót is felkérte fia nevelésére. Bemutatta fiát a Kelety Gusztávval egyidős *Than Károlynak*, a család barátjának, aki pedig megengedte, sőt meghívta Lorándot kísérletezni saját kémiai laboratóriumába. Ebben az évben lett *Arany János* a Magyar Tudományos Akadémia főtitkára, és ebben az évben jelent meg *Deák Ferenc* nevezetes „húsvéti cikke”, amellyel a kiegyezést készítette elő.

**1866:** szülői, nevelői ráhatásra, meg a közfelfogásnak is megfelelően a 18 éves Eötvös Loránd a pesti egyetem elsőéves joghallgatója lett. Közben *Petzval Ottótól* matematikát tanult, *Krenner Józseftől* ásványtant, *Kondor Gusztáv*tól csillagászatot hallgatott az egyetemen. A tanév vége felé levelet írt édesapjának, s benne a következőket: „Az ambíció s a kötelességérzet, mely nemcsak egy privilegizált nemzet, hanem az egész emberiség irányában köt le, velem született; e két indulatot kielégíteni, és pedig kielégíteni úgy, hogy amellet egyéni függetlenségemet megtartsam: életcélom, és legalább úgy találtam, hogy annak leginkább akkor felelhetek meg, ha tudományos pályára lépek... A könyvek által, melyeket nekem ajándékozol, magad segítesz előre; de képes vagyok-e én egyedül azokból tanulni? Tanulom az ásványtant, és nem ismerem ásványt; tanulom a geológiát és a leg egyszerűbb formációnál kétségben vagyok; tanulom az állattant állat, a növénytant növény nélkül, egyszerű természettudományt természet nélkül. E bajon külföldi egyetemen, jó tanárok vezetése alatt, úgy hiszem, segítve lenne...”

**1867:** megtörtént a kiegyezés, létrejött az Osztrák–Magyar Monarchia. Megalakult a saját magyar kormány, amelyben miniszterelnök *gróf Andrássy Gyula*, vallás- és közoktatási miniszter báró Eötvös József (megtartva mellette az MTA elnöki tisztségét), igazságügy-miniszter *Horvát Boldizsár*, pénzügyminiszter *gróf Lónyay Menyhért* lett. *Than Károly* azt ajánlotta az Eötvös-családnak, hogy Loránd Heidelbergbe menjen egyetemre, ahol az ő volt instruktora, *Robert Bunsen* a kémia professzora. Bunsen csak két évvel volt idősebb Eötvös Józsefnél, személyesen is találkoztak már valamelyik üdülőhelyen. Mégsem lehetett Eötvös József számára könnyű elhatározás a létrejött Monarchia miniszterének fiát Bécs helyett Heidelbergbe küldeni... A német egyetemeken nem őszi és tavaszi, hanem téli és nyári félévek voltak. A 19 éves Eötvös Lorándnak az induló, 1867/68-as téli félévben heti



Eötvös Loránd szülei, Eötvös József és Rosty Ágnes, valamint nővére Barabás Miklós 1847-ben készült vízfestményén (Magyar Nemzeti Múzeum Történelmi Képcsarnoka).

négy óra algebra és öt óra kísérleti fizika előadása volt délelőttönként, Bunsen kémiaelőadásai és -laborja mellett. A fizikaelőadásokat *Gustav Kirchhoff* tartotta. Délután is voltak előadások, többek között meteorológiából. Szombaton voltak a szemináriumok. Mindezt németül – Loránd bírta a gyűrődést, különösen a laborokban érezte jól magát. Sikeresen befejezte az első évet.

**1868:** a kiegyezést követően felpezsdült itthon az élet. Ebben az évben jött létre a MÁV, az Angol–Magyar Bank, az Athenaeum Könyvkiadó. A világban történt természettudományos felfedezések közül érdemes megemlíteni, hogy ebben az évben fedezte fel *Pierre Janssen* francia csillagász a héliumot a napkorong színképében, miközben a napfogyatkozást tanulmányozta Indiában. A Bunsen és Kirchhoff által feltalált spektroszkóppal vizsgálva a napkorong színképét, feltűnt neki egy 587 nanométeres sárga vonal, amely ugyan először a nátrium színképére emlékeztette, de azután rájött, hogy inkább egy olyan új kémiai elemről származhat, amely tehát a napkorongban fordul elő. Később az új elemet a Nap görög nevéből héliumnak nevezték el. Elképzelhető, milyen örömet okoztak ezzel a spektroszkóp heidelbergi feltalálójának, s a lelkesedés átragadhatott persze az egyetemi hallgatókra, így Eötvös Lorándra is. Eötvös úgy döntött, hogy kémia helyett a fizikát választja főárgynak az egyetemen. Így közelebb került Kirchhoffhoz is, aki szívesen fogadta őt válogatott tanítvá-





Eötvös Loránd emléktáblája a Heidelbergi Egyetem falán.

nyai sorába. Az 1868/69-es tanévet tehát már fizikus hallgatóként kezdte el, majd a második félévet Kirchhoff tanácsára az ő kedvenc tanárainál folytatta Königsbergben.

**1869:** ez a nyári félév azonban több szenvedést, mint örömet hozott mind Kirchhoff, mind Eötvös számára. Kirchhoff felesége tbc-s lett és alig félévi betegeskedés után meg is halt, magára hagyva Kirchhoffot öt gyermekükkel, köztük egy alig egyéves csecsemővel. A tuberkulózis akkor még gyógyíthatatlan betegség volt. Eötvös számára a königsbergi előadások hallgatása okozott kínszenvedést: nem értette azt a matematikát, amelyet az elméleti fizikus *Franz Ernst Neumann* használt és amelyet Kirchhoff apósa, a matematikus *Friedrich Julius Richelot* adott elő és követelt meg. Ott akarta hagyni az egyetemet és egy Északi sarkra szerveződő expedícióba szeretett volna bekapcsolódni. Eötvös József apai tekintélye és pedagógiai érzéke kellett ahhoz, hogy fiát le tudja beszélni erről. Az 1869/70-es tanévre Eötvös Loránd visszatért Heidelbergbe és – a rá jellemző munkabírással – egy év alatt a legjobbak közé tornászta fel magát. Az 1869-es év itthon a *Természettudományi Közöny* sikeres indulásának éve volt, az érdem *Szily Kálmáné*, akinek később fontos szerepe lett a nála tíz évvel fiatalabb Eötvös Loránd életében. De ebben az évben hozta létre *Konkoly Thege Miklós* is a csillagvizsgálót Ógyallán, amellyel pedig a hazai csillagászatnak szerzett nemzetközi tekintélyt.

**1870:** ez év júliusában tette le Eötvös Loránd a doktori vizsgát Heidelbergben. A fizikát Kirchhoff, a kémiát Bunsen, a matematikát *Königsberger* professzor kérdezte a vizsgán, amelynek nem volt előfeltétele írásbeli doktori disszertáció beadása. Ennek közvetett bizonyítéka az a levél, amelyet édesapjához írt Eötvös Loránd 1870. február 13-án, készülve a júliusban esedékes doktori vizsgára. A levélről *Fröhlich Izidor* akadémiai előadásában beszélt 1929 májusában, amikor Eötvös Loránd halálának tizedik évfordulójáról emlékeztek meg. 1930-ban *Fröhlich Izidor*

szerkesztésében jelent meg a *Báró Eötvös Loránd Emlékkönyv*, amelyben több mint hatvan oldalon közölte *Báró Eötvös Loránd emlékezete* című tanulmányát. Csak a legfontosabbat idézve, *Fröhlich* ezt írja: „(Eötvös) Jelzi, hogy ott Heidelbergben akkoriban már a régebbi szokás szerint készült doktori disszertáció megszűnt a doktorátus kelléke lenni és ez a divatból teljesen kiment...” Miután pedig július 8-án letette a doktori vizsgát, Eötvös Loránd azt írta haza, hogy az elért doktori fokozat „feljogosít egy munka benyújtása és egy halom formalitás teljesítése után az egyetemi docentúrára”. És valóban, hazajövele után készített is Eötvös Loránd egy ilyen tanulmányt *A rezgési elméletből következő távolbani hatás törvényéről* címmel. Az ezzel kapcsolatos kísérleteket itthon végezte el, ugyanis rögtön a doktori vizsga letétele

után haza kellett térnie, mivel júliusban kitört a porosz–francia háború. Szeptemberben Sedánál a francia csapatok döntő vereséget szenvedtek, s a porosz csapatok Párizsig vonultak előre. Párizsban erre felkelés robbant ki.

**1871:** januárban létrejött a fegyverszünet, a francia kormány Párizst átadta a győztes poroszoknak. Márciusban Párizsban fegyveres felkelés robbant ki, ennek során alakult meg a párizsi commune (községtagnács), ekkor kezdődött meg a párizsi kommun május 21-ig tartó uralma. A hazai tudományos életre ennek szerencsére nem volt különösebb hatása: júliusban *Ferenc József* jóváhagyta a József Műegyetem új szervezeti szabályzatát. Ez lett a világon az első műszaki felsőoktatási intézmény, amely nevében az egyetem szót viselte. Sajnos ekkor azonban már nem Eötvös József volt a kultuszminiszter és a Magyar Tudományos Akadémia elnöke, mert februárban meghalt. Összesen fél év adatott Lorándnak, hogy édesapja társaságát élvezze itthon. A 23 éves ifjú a rá háruló felelősség tudatában, igazi felnőttként vette tudomásul apja halálát. Úgy viselkedett, ahogy apja elvárta volna tőle: erős maradt és minden cselekedetével tudományos karrierjét igyekezett megalapozni. Igaz, ebben mérvadó támogatókra talált: Than Károly, Petzval Ottó és *Jedlik Ányos* egyengette útját. Már egy hónappal apja halála után kérvényt adott be a bölcsészkarhoz, egyetemi magántanári képesítésért matematikai természettanból – mai szavakkal elméleti fizikából. Miért ebből? Mert a természet- és eróműtan (értsd: kísérleti fizika és mechanika) tanszék *Jedlik Ányosé* volt, s Eötvös Loránd a saját útján akart járni. Két hét se telt el, s már ő volt a „felsőbb természettan” helyettes tanára az egyetemen. Megkezdhetette előadásait a C épület „kis tantermében”, amelyet Than Károly bocsátott rendelkezésére.

**1872:** *Trefort Ágoston*, Eötvös Loránd nagybátyja és keresztapja lett a vallás- és közoktatási miniszter. Az Eötvös József által megkezdett reformot, amellyel az elemi iskolai oktatást sikerült európai pályára állíta-

nia, Trefort a felsőbb oktatás reformjával igyekezett kiteljesíteni. Ebben az évben jött létre Magyarország második tudományegyeteme, mégpedig Kolozsváron. Pesten Eötvös Loránd lett az „elméleti természettan” tanszék kinevezett nyilvános rendes tanára. (*Nagy Károly* professzor Eötvös Loránd születésének századik évfordulóján, s utána még többször is felemlgette, hogy Pesten hamarabb volt elméleti fizika tanszék, mint Berlinben.) Eötvös Lorándra már hazaérkezése pillanatában felfigyelt Szily Kálmán, a *Természettudományi Közlönyt* felvirágoztató és kiváló szervező képességű fizikus, megette Eötvöst a folyóirat természettudományi rovata vezetőjének. Már a megelőző évben négy cikkét közölte, először a *Doppler elve és alkalmazása a hang- és fénytanban* címűt januárban, amelyet még Eötvös József is a kezébe vehetett. 1872-ben *A Nap physikai alkatáról* volt Eötvös egyik legérdekesebb cikke a *Természettudományi Közlönyben*, ezt 1964-ben *Környei Elek* újra közölte Eötvös Loránd írásainak válogatott kötetében, *Marx György* lektori támogatásával.

**1873:** Pest, Buda és Óbuda egyesülésével létrejött Budapest. Bécsben a világkiállításon nagy sikert aratott Jedlik Ányos „vilámfeszítője”, Budapesten pedig a Magyar Tudományos Akadémia a 25 éves Eötvös Lorándot levelező tagjának választotta. Eddigi cikkeiben és az egyetemen tartott elméleti előadásaiban leggyakrabban a fénytanból választott témát – Kirchhoff volt a példaképe, a nála hallgatott elméletekre épített, a nála elsajátított kísérletező kutatást igyekezett itthon is folytatni. Ebben az évben tovább merészkedett: a Königsbergben Neumann professzor laborjában a prof által megdicsért önálló optikai mérési ötletét, s ennek elméleti háttérét vázolta fel a Természettudományi Társulat szakülésén: most tartott először előadást a kapillaritásról. A sikeres előadásnak több évig tartó kutatás lett a folytatása, amelybe tanársegédeit: Bartoniek Gézátt és *Klupathy Jenőt* is sikerült bevonnia.

**1874:** Budapesten ebben az évben indult meg a fogaskerekű vasút. Az ország egy harmadik városában, Zágrábban is tudományegyetem létesült. (Érdekes módon ezt is, mint a kolozsvárit, Ferenc Józsefről nevezték el.) Eötvös Loránd másik kedvenc heidelbergi professzora, *Hermann Helmholtz Népszerű tudományos előadások* című könyvét fordította le ebben az évben a Természettudományi Társulat Könyvkiadó Vállalata számára, megkérve *Jendrassik Jenőt* az emberi látással foglalkozó, kifejezetten orvosi vonatkozású fejezet lefordítására. Bátor tett volt Eötvöstől, hogy vállalkozott a fordításra, hiszen jónéhány fogalmat, szakkifejezést németül ismert meg Heidelberg-

ben, és ezeket is át kellett ültetnie magyarra. A huszonhat éves Eötvös Lorándnak ezen kívül ahhoz is volt elég bátorsága, hogy az elméleti fizika előadásai mellett a kísérleti előadások tartását is megkísérelje az egyetemen. Sikerült jogot nyernie az ilyen előadások megtartására, ezekhez Jedlik Ányos fizikaszertárát használhatta, de Eötvös önállóságra törekedve saját intézetet és eszköztárat kezdett fejleszteni. Megmaradt idejét sportolással, télen például korcsolyázással töltötte. A korcsolyapályán találkozott a nála öt évvel fiatalabb *Horvát Gizellával*, Horvát Boldizsár volt igazságügy-miniszter lányával, akit Loránd igényes édesanyja is szívesen elfogadott volna leendő menyének. A két fiatal hamar egymásba szeretett.

**1875:** májusi eljegyzést követően júliusban, két nappal Loránd 27. születésnapja után tartották meg az esküvőt, még pedig Marienbadban (ma Mariánske Lázně a cseh–német határ közelében), de itthonról vitt katolikus pap adta össze őket, hazai szertartás szerint. Utána Franciaországba utaztak nászútra. Hazánkban az év egyik legfontosabb eseménye a Zeneakadémia megalakulása volt, *Liszt Ferenc* indítványára. A fiatal pár első lakása a Kecskeméti utcában volt, innen járt Eötvös Loránd a Papnövelde utcában lévő egyetemi épület második emeletén lévő tanterembe előadást tartani a leendő orvosok, gyógyszerészek és tanárok számára. Ez év őszén már *Általános Kísérleti Természettan* címmel hirdette meg kísérleti fizika előadását az első évesek számára. A hét mind az öt nap-



A 27 éves Eötvös Loránd.

ján 12-től 1-ig voltak Eötvös előadásai, azonban hamar kiderült, hogy a kísérletekkel egybekötött előadások számára kevés az egyetemi óra, jobb lenne dupla órákat tartani. Erre először két év múlva kerülhetett sor.

**1876:** rendkívül sok, a mindennapi életet gyökeresen átalakító találmány született ebben az évben. Elég, ha csak a következőket említjük: *Bell* feltalálta a telefont, megszületett az *Otto*-féle benzinmotor és a *Linde*-féle hűtőgép. Budapesten elkészült a Margit-híd és az Egyetemi Könyvtár épülete, amelynek hivalkodó tornya miatt pazarlással vádolták Trefortot a parlamentben. Eötvös Loránd lelkesen tartotta az általános kísérleti természettan előadásait, amelyeket most már valószínűleg gyorsírók is jegyzeteltek. Közben a Magyar Tudományos Akadémia III. (matematikai és fizikai) osztálya elé terjesztette dolgozatát *Új módszer a kapillaritási tűnemények tanulmányozására* címmel. Dolgozatát magyarul és németül is publikálta a *König Gyula* által létrehívott – sajnos nagyon rövid életű – *Műegyetemi Lapokban*. Eötvös boldog családi életének nyilvánvaló jeleként várták első gyermeküket.





Eötvös Loránd, felesége, Horvát(h) Gizella, gyermekei, Rolanda és Ilona a család pestszentlőrinci nyaralójának kertjében 1890 körül (ELTE egyetemi fotótár).

**1877:** megszületett *Eötvös Jolánta*. Budapesten felépült a Nyugati pályaudvar, Európában pedig Svájcban és Franciaországban a kísérletező természettudósoknak néhány csepp folyékony oxigént sikerült előállítaniuk. Mindenütt nagy erőket mozgósítottak, hogy nagyobb mennyiségben tudjanak cseppfolyós, tiszta oxigént előállítani, de ez csak évek múlva – *James Dewarnak* például 1891-ben – sikerült. Ez volt a huszadik századi, annyi meglepetést hozó „hidegfizikai” kutatások hajnala. Nem véletlen, hogy a gázok cseppfolyósításának témája még alig szerepelt Eötvös előadásain, amelyeket ekkor már csak *Kísérleti Természettan* címen hirdettek meg, elhagyva az „általános” jelzőt. Azt viszont sikerült elintéznie, hogy a heti 5 órás előadást kétórás egységekben tarthassa, és nem is délben, hanem mindjárt reggel, konkrétan kedden, csütörtökön és páros pénteken reggel 8 órától 10 óráig. Látszik, hogy a harmincadik éve felé közeledő Eötvös Lorándnak egyre nagyobb tekintélye lett az egyetemi adminisztrátorok előtt is.

**1878:** a világ legtermékenyebb feltalálója, *Thomas Alva Edison* ebben az évben szabadalmaztatta mechanikai hangíró és visszajátszó eszközét, a hengeres fonográfot. Ez persze gyorsan elterjedt a világon, itt-hon ennek köszönhetjük *Kossuth Lajos* megőrzött hangját és ezt használta *Bartók* és *Kodály* is, amikor népzeneét gyűjtöttek a huszadik század elején. A gyógyszerész diplomával rendelkező, Eötvös Lorándnál öt évvel fiatalabb *Zipernovszky Károly* vezetésével ebben az évben alakult meg a Ganz Elektrotechnikai Osztálya. Elgondolkodtató, *Ganz Ábrahám* és később *Mechwart András* is milyen kiváló érzékkel választotta ki munkatársait. 1878-ban azonban nem csak a transzformátor, de még az izzólámpa se léte-

zett, továbbá Edison még az egyenáram mellett kardoskodott, és természetesen Eötvös Loránd előadásán se szerepelt a váltóáram. Eötvös Loránd számára mégis ez az év lett az egyik legsikeresebb. A 78 éves Jedlik Ányos nyugdíjba vonult, egyesülhetett a Jedlik- és az Eötvös-vezette két intézmény, Eötvös Loránd vezetésével. Eötvöst felmentették az elméleti fizika előadása alól, megjelent mellette egy – Zipernovszkyval azonos évben született – fiatal tudós, aki már Berlinben hallgatta a Heidelbergből átigazolt Helmholtz és Kirchhoff professzorok előadásait, ő volt Fröhlich Izidor. Eötvös Loránd minden erejével a hazai kísérleti fizika oktatásának és kutatásának európai színvonalra emelésén dolgozhatott, miközben családja januárban egy második kislánnyal bővült: ekkor született meg *Eötvös Rolanda*.

**1879:** a szénszálas izzólámpa feltalálásának, vagy a Hall-effektus felfedezésének éve – mellesleg *Albert Einstein* és *Zemplén Győző* születésének éve. Eötvös Loránd számára mégis tragédiát hozott ez az év:

ugyan januárban Rolanda első születésnapját ünnepelethették meg otthon, de első kislányukat, a kétéves Jolántát sajnos elvesztették... Eötvöst annyira megviselte a tragédia, hogy édesapja szobrának felállításán se jelent meg májusban – nem tudott ünnepelni. Egyetlen sort se publikált ebben az évben, önértékelése csak az év vége felé kezdett helyreállni, amikor kiderült, hogy felesége újra várandós lett. Valóban, a következő év nyarán megszületett második, a felnőtt kort is megélt kislányuk: *Eötvös Ilona*. Több gyermekük azután már nem született, viszont Eötvös Loránd a lányokat szinte a fiaiként nevelte fel: megtanította őket lovagolni, kerékpározni, sőt hegyet mászni is... De ez már nem a fiatal, pályakezdő Eötvös Loránd, hanem az élet megpróbáltatásait is megtapasztalt felnőtt férfi története, amely azzal kezdődött, hogy 1880 januárjában megtartotta 1873 óta esedékes székfoglalóját a Magyar Tudományos Akadémián.

Zárjuk ezt az Eötvös Loránd pályakezdéséről szóló áttekintést azokkal a mondatokkal, amelyekkel akadémiai székfoglalóját kezdte Eötvös, harminckét éves korában:

„Ifjan, komoly akarattal, de személyes érdem nélkül törekedtem hazánk tudományos munkásságának terére lépni, s előttem minden ajtó, mintegy varázstűre megnyílt, mindenütt baráti karokra találtam, melyek első lépéseim támogatására ajánlkoztak. A szó, melynek ezt köszönhetem, boldogult atyám neve volt, e név, mely legnagyobb öröklött kincsem, s mely folyton arra int, hogy reá munka által érdemessé váljak. Soha máskor nem éreztem ezt annyira, mint mikor a t. Akadémia III. osztálya levelező tagjaként választott. E kitüntetést megérdemelni, arra magamat méltónak mutatni, életem egyik legfőbb törekvése lesz.”

A szupernehéz atommagokban sok proton van, következésképpen erős a taszító Coulomb-kölcsönhatás. Extrem körülmények között alaposabban megismerhetjük a magerők sajátosságait és teljesen új jelenségek is felbukkanhatnak.

A folyadékcséppmodellre alapozott számítások szerint az atommagok stabilitása  $Z = 100-106$  rendszámok körül megszűnik, mivel a Coulomb-taszítás felülmúlja a nukleonokat összetartó, rövid hatótávolságú erőket. Extra stabilitás származhat azonban hélezáródások miatt. Nyitott kérdés, hogy az atommagok milyen rend- és neutronszámokig lehetnek kötött állapotban.

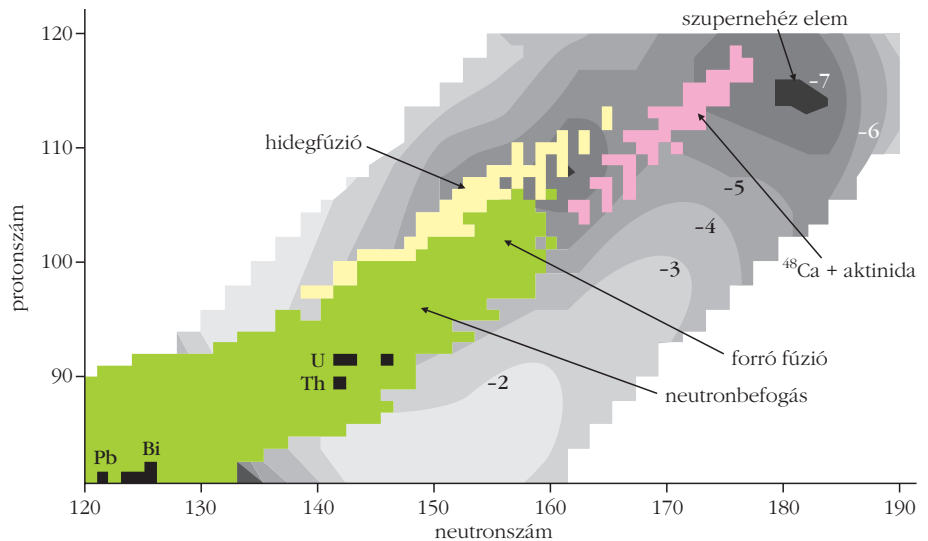
Mindezek indokoltá teszik a szupernehéz atommagokhoz vezető reakciók tanulmányozását és a nehéz atommagok magspektroszkópiái (kísérleti és elméleti) vizsgálatát.

Új elemek szintéziséhez alapvető érdekek fűződnek a kémia oldaláról is. Ha nagy mennyiségben sikerül előállítani szupernehéz elemeket, gyakorlati alkalmazások is lehetnek.

## A szupernehéz atommagok előállítása

A  ${}_{93}\text{Np}$ -tól a  ${}_{98}\text{Cf}$ -ig terjedő transzurán elemek, valamint a  ${}_{101}\text{Md}$  felfedezése ( $n, \gamma$ ), illetve ( $\alpha, n$ ) reakciók segítségével történt. A vizsgálatokhoz nehéz-aktinida-céltárgyakat használtak, amelyek többségét reaktorokban, intenzív neutronbesugárással állították elő. Az  ${}_{99}\text{Es}$  és  ${}_{100}\text{Fm}$  elemeket először *termonukleáris robbanás maradványaiban* sikerült azonosítani.

A további szupernehéz elemek előállításához már nehézion-reakciókat kellett felhasználni. A  ${}_{102}\text{No}$ -tól a  ${}_{106}\text{Sg}$ -ig terjedő öt transzurán elemet „forró” fúziós



1. ábra. A nehéz atommagok előállításához vezető reakciók a rendszám és a neutronszám függvényében. A negatív számok a héjkorrekciók amplitúdóit jelzik a mag potenciális energiájának folyadékcsépp modell alapján történő számításánál. Oganessian [1] alapján.

reakcióval szintetizálták. Ezekben az azonosított atommag az erősen gerjesztett közbelső atommagból több neutron kibocsátása után állt elő, például a  ${}^{163}\text{Sg}$  a  ${}^{249}\text{Cf}$  ( ${}^{18}\text{O}, 4n$ )  ${}^{263}\text{Sg}$  reakcióból.

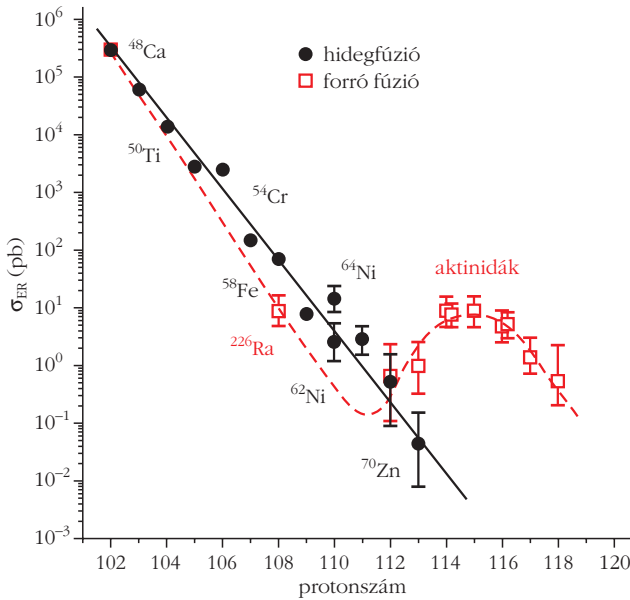
Mivel az erősen gerjesztett közbelső atommagban a hasadás valószínűsége nagy, a további elemek előállításához célszerű volt *hidegfúziós reakciókat* használni. Ezeknél zárt (vagy közel zárt) héjakkal rendelkező céltárgymagokból indultak ki (például a  ${}^{126}\text{Pb}$ ,  ${}^{126}\text{Bi}$ ,  ${}^{152}\text{Bk}$  atommagokból), mivel így a nehézion-reakciók viszonylag kis gerjesztési energiájú közbelső atommagokhoz vezetnek. Neutronok kibocsátása után a végtermék  $\alpha$ -emisszióval bomlik és az  $\alpha$ -bomláslánc lehetőséget ad a termék azonosítására. Így sikerült azonosítani hat új elemet a  ${}_{107}\text{Bh}$ -tól a  ${}_{112}\text{Cn}$ -ig.

Japánban, a Tokió melletti RIKEN radioaktívizotópgyárban a  ${}^{70}\text{Zn} + {}^{209}\text{Bi} \rightarrow {}^{278}113 + 1n$  hidegfúziós reakcióval sikerült a  $Z = 113$ -as (Nh, nihonium) elem 278 tömegszámú izotópját előállítani. Az  $\alpha$ -bomláslánc az ismert Bh- és Db-izotópokhoz vezetett.

A szupernehéz elemek előállításában áttörő sikert eredményezett a  ${}^{48}\text{Ca} + \text{aktinida}$  céltárgy *forrófúziós reakció* használata. A  ${}^{48}\text{Ca}$  erősen neutrontöbbletes és kétszeresen mágikus atommag, amelyben mind a protonoknál, mind a neutronoknál hélezáródás lép fel. Ezzel a  ${}_{90}\text{Th} - {}_{98}\text{Cf}$  elemek hosszú felezési idejű izotópjait bombázva sikerült előállítani a  $Z = 114$  (Fl),  $Z = 115$  (Mc),  $Z = 116$  (Lv),  $Z = 117$  (Ts) és  $Z = 118$  (Og) elemek különböző izotópjait. A felhasznált céltárgyak, például a  ${}^{242}\text{Pu}$ ,  ${}^{244}\text{Pu}$ ,  ${}^{243}\text{Am}$ ,  ${}^{245}\text{Cm}$ ,  ${}^{248}\text{Cm}$ ,  ${}^{249}\text{Cf}$  és  ${}^{249}\text{Bk}$  izotópok világviszonylatban csak behatárolt mennyiségben, speciális technikákkal és kevés helyen állíthatók elő.



Fényes Tibor az MTA Eötvös-kosorús doktora, az Atomki professzor emeritusa. Hat évig dolgozott az Egyesített Atommagkutató Intézetben Dubnában és közel fél évig a Kentucky Egyetem tandem gyorsító laboratóriumában. Fő kutatási területei az atommag- és részecskefizika. Több mint 130 tudományos publikáció és 10 könyv szerzője, illetve társszerzője.



2. ábra. Maximális hatáskeresztmetszetek egy neutron párolgására hidegfúziós reakciónál,  $^{208}\text{Pb}$  és  $^{209}\text{Bi}$  céltárgyakon, különböző bombázó részecskéknél (az ábrán jelezve). Az ábrán a  $^{48}\text{Ca}$ -mal aktinida céltárgyon létrehozott fúziós reakció hatáskeresztmetszetei is fel vannak tüntetve a 3 és 4 neutroncsatornára az összetevő mag rendszáma függvényében.

Az 1. ábra áttekintést ad a nehéz atommagok előállításához vezető magreakciókról a  $Z$  rendszám- és az  $N$  neutronszámsíkban.

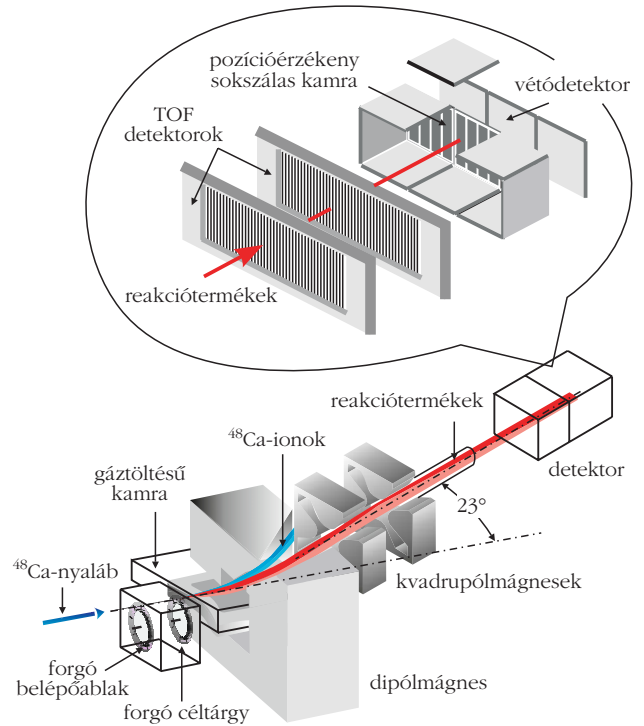
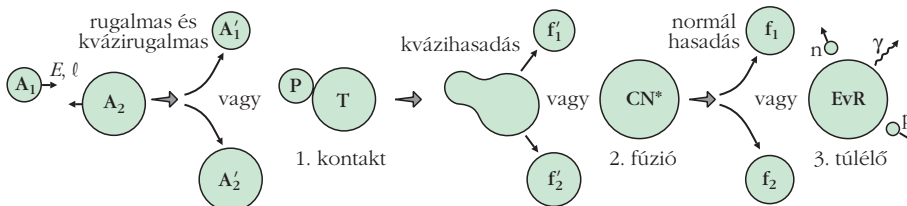
A 2. ábra tájékoztatást nyújt a hideg- és forrófúziós reakciók hatáskeresztmetszeteiről. Az előállítási hatáskeresztmetszetek a 114, 116 rendszámú elemekre pb nagyságrendben vannak; a 35–50 MeV-re gerjesztett atommagokból 3–5 neutron lép ki.

Míg a  $^{249}\text{Bk}_{152} + ^{22}\text{Ne}_{12} \rightarrow ^{267}\text{Bh}_{160}$  hidegfúziós reakciónál elért hozam 2 atom/óra volt, a  $^{48}\text{Ca}_{28} + ^{255}\text{Pu}_{150} \rightarrow ^{288,289}\text{Fl}_{114}$  reakciónál egy nagyságrenddel kevesebb, csak 5 atom/nap hozamot értek el.

A 3. ábrán a nehézion-fúziós reakciók folyamatai láthatók. Az ütközés első fázisában rugalmas és kvázirugalmas vagy kontakt ütközés; a másodikban kvázihasadás vagy összeolvadás (összetevő atommag) lép fel. A harmadik fázisban normál hasadás vagy párolgás után kialakul a maradék atommag (EvR, párolgási maradék, túlélő).

A hatáskeresztmetszetek ilyen felosztását az időskála is alátámasztja. A Coulomb-fal legyőzése mindössze  $\sim 10^{-21}$  s alatt lezárul, míg a neutronemisszió az összetevő atommag gyengén gerjesztett állapotából legalább két nagyságrenddel több időt igényel.

3. ábra. Szupernehéz atommagok kialakulása nehézion-fúziós reakciókban. Zagrebaev és Greiner [2] alapján.



4. ábra. A dubnai gáztöltésű szeparátor és detektorrendszer vázlatrajza. A detektorrendszer helyzetérzékes és repülési időt is mér. Oganessian és Utyonkov [3] alapján.

## Mérőberendezések

A szupernehéz atommagok vizsgálatára többféle berendezést is használtak. Itt most csak a dubnai gáztöltésű szeparátort ismertetjük. A párolgási reakció termékeit gáztöltésű szeparátorral (vagy sebességszűrő berendezéssel) választották el egymástól és a bombázó nyalábtól. A munka a dubnai Egyesített Atommagkutató Intézet – Lawrence Livermore Nemzeti Laboratórium, illetve Dubna – GSI (Darmstadt) együttműködésben folyt a dubnai U-400 nehézion-gyorsítón.

A dubnai gáztöltésű szeparátor vázlatrajza a 4. ábrán látható. A céltárgyból kilépő részecskék (céltárgyszerűek és a fúziós-párolgási reakció termékei) átlagtöltésre tesznek szert a fékező  $\text{H}_2$ -gázban. A dipólímagnes eltéríti mind a bombázó részecskéket, mind a reakciótermékeket a

$$\langle Br \rangle = \frac{m v}{\langle q \rangle}$$

képlet szerint, ahol  $\langle Br \rangle$  az átlagos mágneses merevség,  $m$  a részecske tömege,  $\langle q \rangle$  az ion átlagos töltése.

A  $\langle Br \rangle$  értékek  $\text{H}_2$ -gázban különbözők lesznek a bombázó részecskékre, a céltárgyszerű és fúziós párolgási termékekre. Így  $>10^{16}$  rendű háttérnyomás érhető el a bombázó nyalábra és  $>10^5$  rendű a nem teljes fúziós reakciótermékekre. Repülési idő-mérésekkel meghatároz-



ták a részecskék  $v$  sebességét. A  $\langle q \rangle$  átlagtöltés az ion  $Z$  rendszámával a következő összefüggésben van:

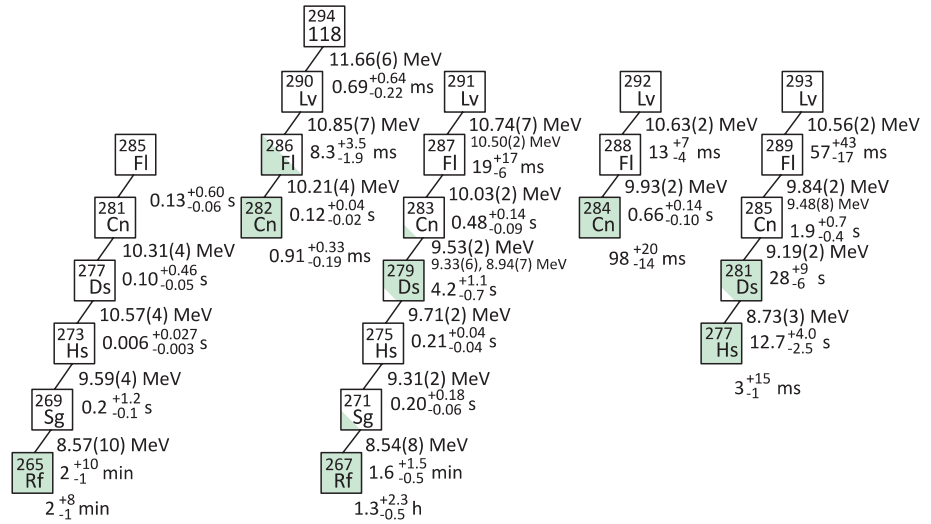
$$\langle q \rangle \approx v Z^\alpha,$$

ahol  $\alpha$  kísérletileg meghatározható. (Ez az összefüggés a  $\langle q \rangle / Z < 0,3$  tartományban érvényes, de más tartományokban is van ismert összefüggés.) A  $dE/dx$  specifikus energiavesztés mérése a rendszám meghatározásához szükséges. Méri a céltárgyból kilökött reakciótermékek teljes energiáját is. Így végső fokon meghatározható a reakciótermék tömege. A rendszer gyűjtési határfoka a reakciótermékekre nagy (elérheti a 30–40%-ot), a berendezés viszonylag egyszerű, hátránya viszont a közepes tömegszelektivitás.

Az észlelőrendszer több repülési idő mérő detektorból, az  $\alpha$ -részecskék energiáját mérő helyérzékeny Si-detektorokból, valamint  $\gamma$ -detektorokból áll. Az új elemeket rendszám és neutronszám szerint például a hosszú  $\alpha$ -bomláslánc alapján azonosíthatják, amelyek már ismert atommagokat tartalmaznak.

## Eredmények

Az 5. ábra a páros rendszámú szupernehéz elemek izotópjainak bomlási sajátságait mutatja; az  $\alpha$ -részecskék energiáját és a felezési időket.



5. ábra. A páros rendszámú szupernehéz elemek izotópjainak bomlási sajátságai: az átlagos  $\alpha$ -részecskeenergiák és felezési idők. A színezett négyzetek spontán hasadást jelölnek. Az atommagokat  $^{48}\text{Ca}$  bombázó nyalábokkal állították elő úgy, hogy  $^{238}\text{U}$ ,  $^{242,244}\text{Pu}$ ,  $^{245,248}\text{Cm}$  és  $^{249}\text{Cf}$  céltárgyakat bombáztak.

A legnehezebb ismert szupernehéz atommagok bomlási adatai az 1. táblázatban láthatók. Az atommagok főleg  $\alpha$ -bomlással bomlanak, így a táblázatban az  $E_\alpha$   $\alpha$ -részecskeenergiák és az  $\alpha$ -bomlási  $Q_\alpha^{\text{exp}}$  teljes energiák is fel vannak tüntetve. A nyert adatok különböző kutatólaboratóriumok eredményei. További szupernehéz atommagok adatai, valamint a hivatkozások *Oganessian* és *Utyonkov* [3] munkájában megtalálhatók.

Az észlelt bomlások száma nagyon kevés, mivel a 3. ábra szerint a lejátszódó reakcióknak csak rendkívül csekély hányada vezet szupernehéz atommagok keletkezéséhez.

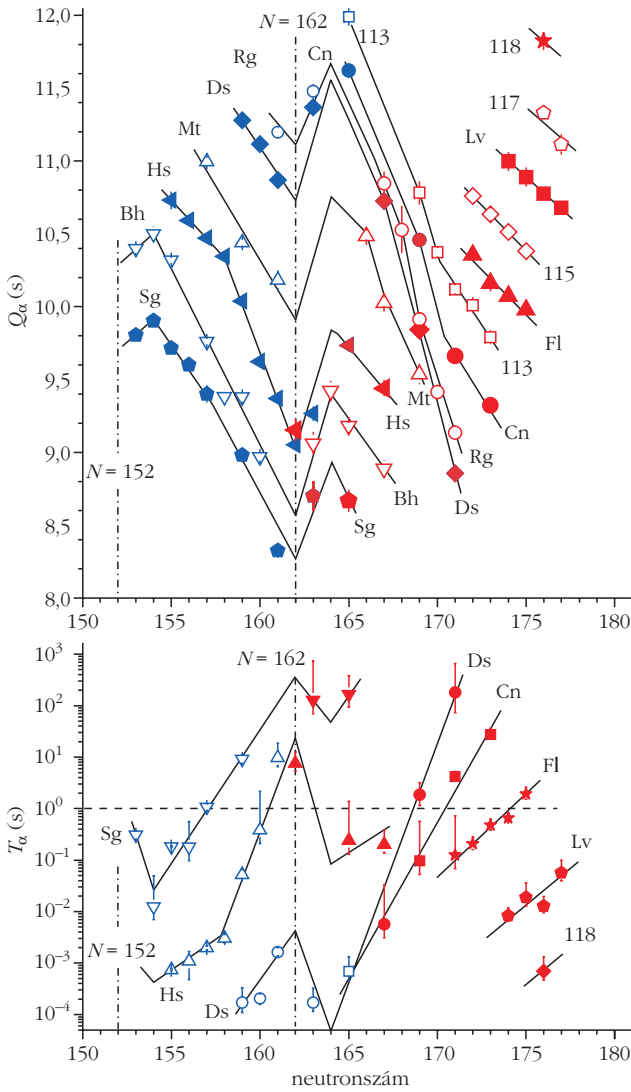
A 6. ábra a neutronszám függvényében mutatja a  $Q_\alpha$   $\alpha$ -bomlási energiákat és a  $T_\alpha$  felezési időket.

A 7. ábra a parciális elektronbefogási vagy  $\beta^+$ -bomlási felezési időket mutatja a  $Q_\beta$   $\beta$ -bomlási energia függvényében. Az észlelt adatok megfelelnek a várható tendenciának: a  $T_\beta$  felezési idő csökken a  $\beta$ -bomlási energia növekedésével. Az ábrán alul a spontán hasadási felezési idők vannak feltüntetve a neutronszám függvényében. Jól látható a héjszerkezet hatása a régóta ismert  $N = 152$ -nél, valamint a szupernehéz atommagoknál a 162 és 184 neutronszámoknál.

A 8. ábra egy egyszerű, centrális magkölcsonhatási Woods–Saxon-potenciállal számolt  $\alpha$ -bomlási energiákat mutatja az  $N$  neutronszám függvényében. Jól átható az  $N = 184$ -nél fellépő atommag-

1. táblázat							
A szupernehéz atommagok bomlási sajátságai							
Z	N	A	észlelés*	bomlás	felezési idő	$E_\alpha$ (MeV)	$Q_\alpha^{\text{exp}}$ (MeV)
118	176	294	d:4	$\alpha$	$0,69^{+0,64}_{-0,22}$ ms	$11,66 \pm 0,06$	$11,82 \pm 0,06$
117	177	294	d:3, f:2	$\alpha$	$51^{+38}_{-16}$ ms	10,81–11,07	$11,18 \pm 0,04$
	176	293	d:15	$\alpha$	$22^{+8}_{-4}$ ms	10,60–11,20	$11,32 \pm 0,05$
116	177	293	d:4, g:1	$\alpha$	$57^{+43}_{-17}$ ms	$10,56 \pm 0,02$	$10,71 \pm 0,02$
	176	292	d:5, g:4	$\alpha$	$13^{+7}_{-4}$ ms	$10,63 \pm 0,02$	$10,78 \pm 0,02$
	175	291	d:3, g:1	$\alpha$	$19^{+17}_{-6}$ ms	$10,74 \pm 0,07$ $10,50 \pm 0,02$	$10,89 \pm 0,07$
	174	290	d:11	$\alpha$	$8,3^{+3,5}_{-1,9}$ ms	$10,85 \pm 0,07$	$11,00 \pm 0,07$
115	175	290	d:4, f:2	$\alpha$	$650^{+490}_{-200}$ ms	9,78–10,31	$10,41 \pm 0,04$
	174	289	d:16	$\alpha$	$330^{+120}_{-80}$ ms	10,15–10,54	$10,49 \pm 0,05$
	173	288	d:27, f:19	$\alpha$	$164^{+30}_{-21}$ ms	10,29–10,58	$10,63 \pm 0,01$ $\approx 10,7$
	172	287	d:2, f:1	$\alpha$	$37^{+44}_{-13}$ ms	$10,61 \pm 0,05$	$10,76 \pm 0,05$

\* d: FLNR, Dubna; g: GSI, Darmstadt; f: fókuszszík-detektor, GSI; számok: észlelések száma.



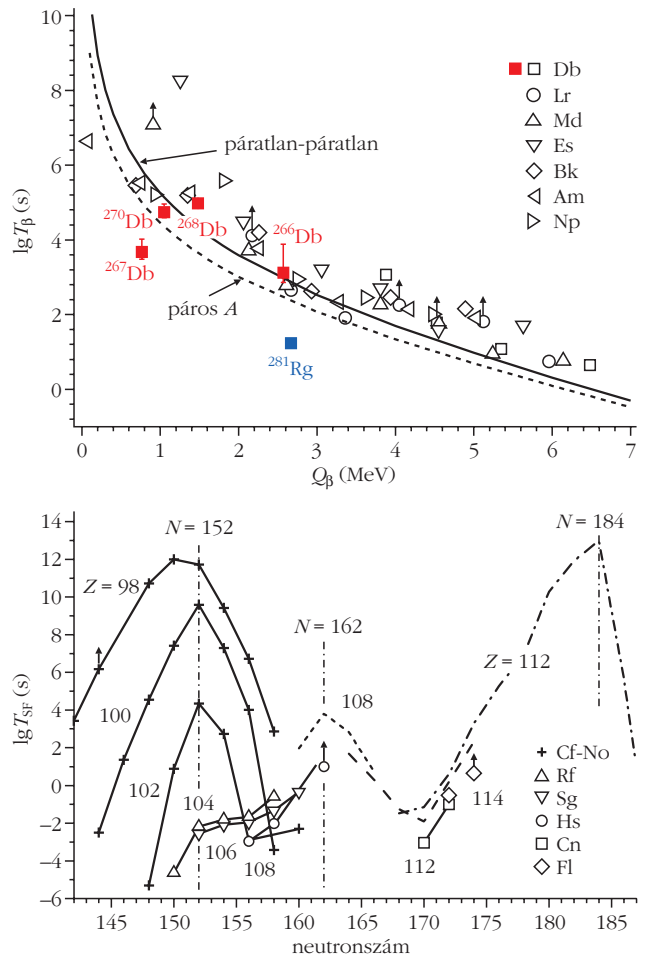
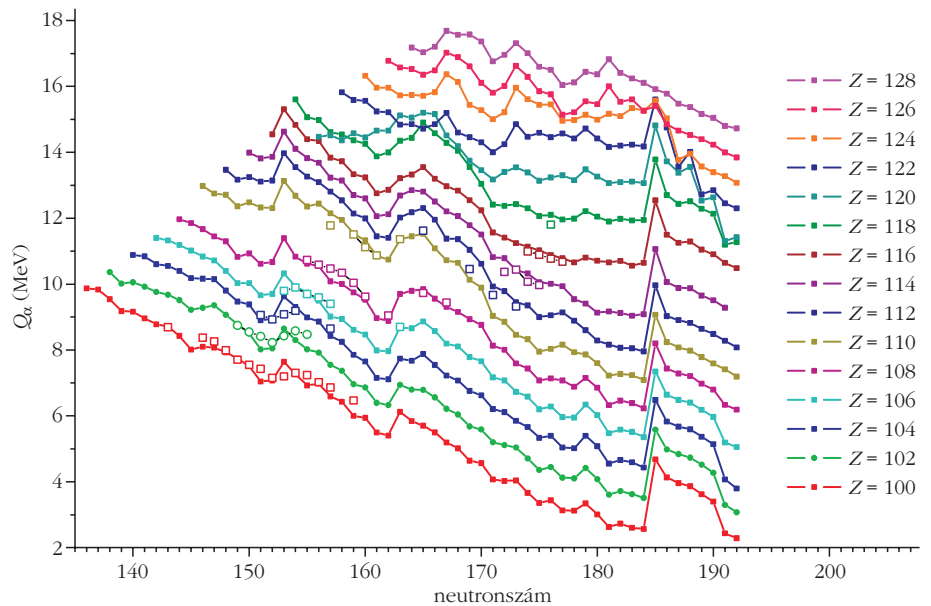
6. ábra. Fölül a  $Z = 106\text{--}118$  elemek izotópjainál mért  $Q_\alpha$   $\alpha$ -bomlási energiák az  $N$  neutronszám függvényében. Alul a  $Z = 106\text{--}118$  elemek páros  $Z$ -jú izotópjainak  $\alpha$ -bomlási  $T_\alpha$  felezési idejei a neutronszám függvényében. A vonalak csak az eligazodást segítik.

héj-lezáródás hatása. Figyelemre méltó, hogy az elméleti számítás még elő nem állított elemekre ( $Z > 118$ ) is tartalmaz előrejelzéseket.

## Összegzés

A 2. táblázat Düllmann [5] alapján összegzi a legnehezebb elemek elnevezéseit, a felfedezések éveit és a felfedezők neveit.

8. ábra. A Woods–Saxon-moddal számolt  $\alpha$ -bomlási energiák (görbék) összehasonlításban a kísérleti adatokkal (nyitott szimbólumok). Heenen és munkatársai [4] alapján.



7. ábra. Felül parciális elektronbefogási és  $\beta^+$  felezési idők a  $Q_\beta$   $\beta$ -bomlási energia függvényében a  ${}_{93}\text{Np} - {}_{105}\text{Db}$  ismert páratlan-páratlan izotópjaira. A szisztematikából várható vonalak segítik az eligazodást. Alul a  $Z = 98\text{--}114$  rendszámú elemek páros-páros izotópjainak  $T_{\beta^+}$  parciális spontán hasadási felezési ideje a neutronszám függvényében. A pontozott, szaggatott és szaggatott-pontozott görbék az elméleti  $T_{\beta^+}$  értékeket mutatják a  $Z = 108, 110$  és  $112$  izotópokra. Mindkét ábra Oganessian és Utyonkov [3] alapján.

További igen részletes információ áll rendelkezésre a szupernehéz elemekről a Düllmann és munkatársai által szerkesztett [6] anyagban. A magfizikai alapokra lásd például a *Fényes Tibor* által szerkesztett kötetet [7].

#### Irodalom

1. Y. Oganessian: Heaviest nuclei. *Nucl. Phys. News* 23/1 (2013) 15–21.
2. V. I. Zagrebaev, W. Greiner: Cross sections for the production of superheavy nuclei. *Nucl. Phys. A* 944 (2015) 257–307.
3. Yu. Ts. Oganessian, Y. K. Utyonkov: Superheavy nuclei from  $^{48}\text{Ca}$ -induced reactions. *Nucl. Phys. A* 944 (2015) 62.
4. P.-H. Heenen, J. Skalski, A. Staszczak, D. Vretenar: Shapes and  $\alpha$ - and  $\beta$ -decays of superheavy nuclei. *Nucl. Phys. A* 944 (2015) 415–441.
5. Ch. E. Düllmann: Studying chemical properties of the heaviest elements: one atom at a time. *Nucl. Phys. News* 27/2 (2017) 14–20.
6. Ch. Düllmann (szerk.), *Special Issue on Superheavy Elements*, *Nucl. Phys. A* 944/3–4 (2015) 1–470.
7. T. Fényes (szerk.): *Atommagfizika*. 2. korszerűsített kiadás. (2009) Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen.

2. táblázat

Az aktinidákon túli elemek				
Z	név	jel	felfedezés éve	felfedező
104	Rutherfordium	Rf	1969	Ghiorso és mtsai. (LBNL Berkeley)
105	Dubnium	Db	1970	Ghiorso és mtsai. (LBNL Berkeley)
106	Seaborgium	Sg	1974	Ghiorso és mtsai. (LBNL Berkeley)
107	Bohrium	Bh	1981	Münzenberg és mtsai. (GSI Darmstadt)
108	Hassium	Hs	1984	Münzenberg és mtsai. (GSI Darmstadt)
109	Meitnerium	Mt	1982	Münzenberg és mtsai. (GSI Darmstadt)
110	Darmstadtium	Ds	1995	Hofmann és mtsai. (GSI Darmstadt)
111	Roentgenium	Rg	1995	Hofmann és mtsai. (GSI Darmstadt)
112	Copernicium	Cn	1996	Hofmann és mtsai. (GSI Darmstadt)
113	Nihonium	Nh	2004	Morita és mtsai. (RIKEN Wako-shi)
114	Flerovium	Fl	2004	Oganessian és mtsai. (FLNR Dubna)
115	Moscovium	Mc	2010	Oganessian és mtsai. (FLNR Dubna)
116	Livermorium	Lv	2004	Oganessian és mtsai. (FLNR Dubna)
117	Tennessine	Ts	2010	Oganessian és mtsai. (FLNR Dubna)
118	Oganesson	Og	2006	Oganessian és mtsai. (FLNR Dubna)

# TUDOMÁNY AZ INNOVÁCIÓ SZOLGÁLATÁBAN: NEUTRONOS ANYAGVIZSGÁLATI MÓDSZEREK IPARI ALKALMAZÁSAI A BUDAPESTI NEUTRON CENTRUMBAN

Szentmiklósi László,<sup>1</sup> Kis Zoltán,<sup>1</sup> Maróti Boglárka,<sup>1</sup> Szilágyi Veronika,<sup>1</sup> Gméling Katalin,<sup>1</sup> Len Adél,<sup>2</sup> Rosta László,<sup>2</sup> Kun Tibor,<sup>2</sup> Baranyai Rózsa,<sup>1</sup> Fábíán Margit,<sup>1</sup> Bottyán László,<sup>2</sup> Janik József<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Budapesti Neutron Centrum, MTA Energiatudományi Kutatóközpont

<sup>2</sup>Budapesti Neutron Centrum, MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont

2019. március 28-án az MTA dísztermében ünnepelhattük a Budapesti Kutatóreaktor fennállásának 60. évfordulóját, hiszen az akkor még csak 2 MW-os reaktor 1959. március 25-én lépett először működésbe. Jelenleg a Budapesti Neutron Centrum (BNC) [1], az MTA Energiatudományi Kutatóközpont és az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont konzorciuma koordi-

nálja a Budapesti Kutatóreaktor körül folyó tudományos és ipari K+F tevékenységeket. A Kutatóreaktor a köré települt mérőhelyekkel, tágabb értelemben pedig az MTA csillebérci kampusza az egyik legjelentősebb technikai és tudásközpontnak számít hazánkban. A neutronközpont a hazai és nemzetközi tudományos közösség, valamint az ipari szereplők számára is elérhető nyílt kutatási infrastruktúra, azaz a mérőhelyek kiválóság alapú felhasználói programok, illetve kétoldali megállapodások révén az érdekeltek számára hozzáférhető (CERIC-ERIC, IPERION CH,

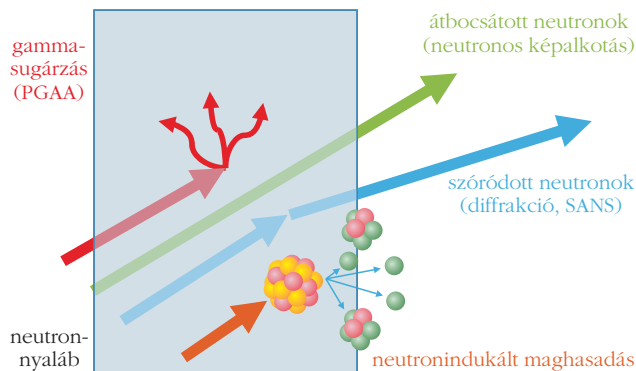


A szerzők a Budapesti Neutron Centrum munkatársai, ahol interdiszciplináris alap- és alkalmazott kutatásokat folytatnak roncsolásmentes elemanalitikai, szerkezetvizsgálati és képalkotási technikák felhasználásával. A BNC műszerparkjában több unikális berendezés is található, így

máshol nem megvalósítható kísérleteket is végezhetünk, jellemzően nemzetközi együttműködések, EU-támogatott projektek, illetve ipari kutatás-fejlesztési feladatok formájában.

A felsorolt eredmények a SINE 2020 (EU H2020 Grant No. 654000), a V4-Korea RADCON (NKFIH NN17 127102), az NKFIH K17 124068 és a CAK (NVKP\_16-1-2016-0014) projektek, továbbá az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíj anyagi támogatásával jöttek létre. Köszönjük továbbá a Rogante Engineering Office, *Horváth László*, *Benyács Gábor* és *Gadó János* közreműködését.





1. ábra. A neutronok és az anyag kölcsönhatása.

E-RIHS, SINE 2020). A BNC ipari nyílt napokon [2, 3], valamint az Automotive kiállításon is rendszeresen bemutatja hazánkban egyedülálló K+F potenciálját.

A kutatóreaktorban  $^{235}\text{U}$  magok szabályozott láncreakciójával szabad neutronokat keltünk. A neutronok semleges töltésű részecskékként képesek mélyen az anyag belsejébe hatolni és kölcsönhatásaik révén anyagösszetételei, -szerkezeti és strukturális információt szolgáltatni a vizsgált tárgyról. Míg a széleskörben használt röntgensugárzás az elektroneutrónnal, a neutronok az atommagokkal lépnek kölcsönhatásba, így a kémiai, anyagtudományi, régészeti alkalmazások mellett az ipari roncsolásmentes anyagvizsgálatban sem konkurens, hanem egymást kiegészítő és támogató eljárásokról beszélhetünk. Neutronok segítségével a röntgenvizsgálatok méret és szelektivitás-korlátai sokszor átléphetők és a keresett anyagszerkezeti információ ilyen esetekben is megszerezhető.

## Módszerek

A neutronok kölcsönhatása a mérendő tárggyal alapvetően kétféle: magreakciók és szóródás. Előbbire példa a sugárzásos neutronbefogás, illetve urántartalmú minták esetén a neutronindukált maghasadás; utóbbi esetben megkülönböztethetünk például rugalmas és rugalmatlan neutronszórást (1. ábra).

Neutronok keltette magreakciók segítségével lehetőségünk van roncsolásmentes *elemösszetétel-meghatározásra*. Amennyiben a besugárzás kivezetett neutronnyalábban történik és a spektrumot a besugárzás közben vesszük fel, prompt-gamma aktivációs analízisről (PGAA) beszélünk [4], míg a kutatóreaktor aktív zónájában történő besugárzással keltett radioaktivitás besugárzás utáni mérésén alapuló technikát műszeres neutronaktivációs analízisnek (NAA) nevezzük [5].

A neutronszóráson alapuló módszerek a *szerkezetvizsgáló eljárások* közé tartoznak, ahol a kapott szórásképből számítással vezetjük le az anyagszerkezeti információt. Két fontos technika a neutrondiffrakció (TOF-ND) és a kisszögű neutronszórás (SANS), amelyekkel az anyagok kristályszerkezetét, fázisait, zárványait, textúráját, nanoszerkezetét lehet feltárni, így az anyag belső feszültségviszonyait, fáradását jellemezni. Fontos kiemelni, hogy az így nyert kísérleti adatokkal

ellenőrizhetők a numerikus végelem-számolások, amelyekből ezek után sokkal megalapozottabb következtetések vonhatók le.

Az ipari, mérnöki gyakorlatban az egyik legkerekesebb neutronos technika a *képpalkotás* [6]. A radiográfia olyan direkt roncsolásmentes leképezési eljárás, ahol a tárgyon átbocsátott neutronsugárzás gyengülésének mérésével a neutronok és a tárgy anyagának kölcsönhatását az emberi szem számára is megjeleníthető képpé alakítjuk. Amennyiben ezt a vetületet több irányból is elkészítjük, matematikai algoritmusok (az úgynevezett Radon-transzformáció és a szűrt visszavetítés) segítségével előállíthatjuk a tárgy háromdimenziós képét; ezt nevezzük tomográfiának. A vizsgált tárgyak belső szerkezetének minél informatívabb roncsolásmentes ábrázolásához esetenként többféle, az anyaggal másként kölcsönható sugárzást (termikus, gyors vagy hidegneutron, gamma, röntgen, 3D optikai szkennelés) érdemes használni (multi-modality imaging) [7, 8]. A neutronos képpalkotás használata akkor előnyös, ha a tárgy túl nagy méretű, nagy sűrűségű, vagy nehéz elemekből áll, és így a röntgensugárzás nem képes áthatolni rajta, illetve ha a leképezendő tárgy fémes és szerves részeket is egyaránt tartalmaz, amely utóbbiakra a röntgensugárzás a mindennapi gyakorlatban elhanyagolható érzékenységű.

A Budapesti Neutron Centrum 16 anyagvizsgáló mérőállomása közül kettő szolgál roncsolásmentes képpalkotásra (RAD [9], NORMA [10]), három elemösszetétel-mérésre (PGAA [11], NIPS [12], NAA [13]), kettő a sugárzás hosszútávú roncsoló hatásának tanulmányozására (BAGIRA, BIO), a többi pedig atomi léptékű, vagy nanométerskálájú szerkezetvizsgálata.

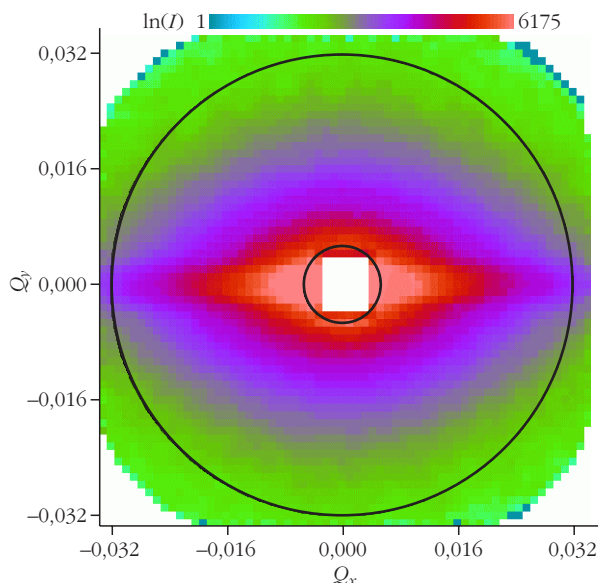
## Esettanulmányok

### Roncsolásmentes elemösszetétel-mérés

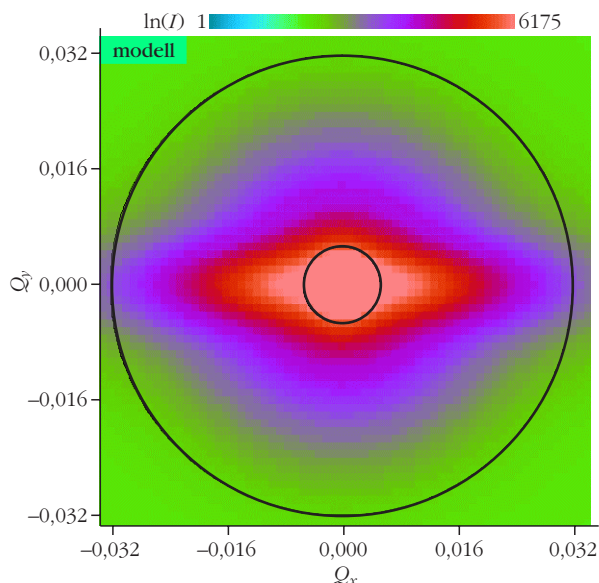
A neutronos elemanalitikai módszerek roncsolásmentesen képesek pontos és precíz tömbösszetétel-mérésre, akár felszíni bevonat vagy korróziós réteg jelenlétében is. Kiválóan alkalmasak referenciamódszernek az ipari anyagvizsgáló laborok mérési protokolljainak validálására, illetve olyan minták mérésére, ahol nem áll rendelkezésre az adott mátrixra vonatkozó, az elterjedtebb műszeres analitikai módszerek (például XRF, ICP-OES) által megkívánt hitelesített anyagminta (*certified reference material, CRM*).

A neutronos mérés nem igényel mintaelőkészítést, a minta eredeti állapotában mérhető, majd igény szerint a tulajdonos számára, vagy további vizsgálatok céljára visszaadható. A PGAA és az NAA módszer – a mérhető elemek és a kimutatási határok tekintetében – kiegészíti egymást. A két módszer kombinációjával a periódusos rendszer csaknem egésze lefedhető.

Elemösszetétel-mérésre az egyik legkedvezőbb mátrix a – félvezetőipar és a fotovoltaiikus alkalmazások szempontjából fontos – szilícium. A gyártási folyamatba bevitt nyersanyagok tisztaság-ellenőrzését a



2. ábra. 1200 °C-on, in-situ hőkezelt minta 2D szórási képe.



3. ábra. 1200 °C-on, in-situ hőkezelt minta 2D illesztett modellje.

gyárban rutinszerűen végzik, azonban az ottani protokollt számos elemre, kiemelten a bór analízisére validálni kell. PGAA-val a Si, Fe, Mg főelemek mellett Ca, Mn, La, Ce, Cr, Ni, Cu, Ti, Sb, Zn mellékalkotókat és H, B, Cl, Nd, V és Gd nyomszennyezőket lehetett kimutatni, míg az NAA módszer az As, Ba, Ce, Co, Cr, Cu, Eu, Fe, Ir, La, Lu, Mn, Mo, Nd, Sc, Sm, Tb, Th, U, W, Yb, Zn és Zr elemeket képes tipikusan már ppm mennyiségben is kimutatni. Az egyik vizsgálatunkban tapasztalat eltérések nyomán a USA mérésügyi intézete (NIST) – részben a BNC-ben mért adatokra támaszkodva – felülvizsgálta a SRM 57B anyagminta börtartalmát [14].

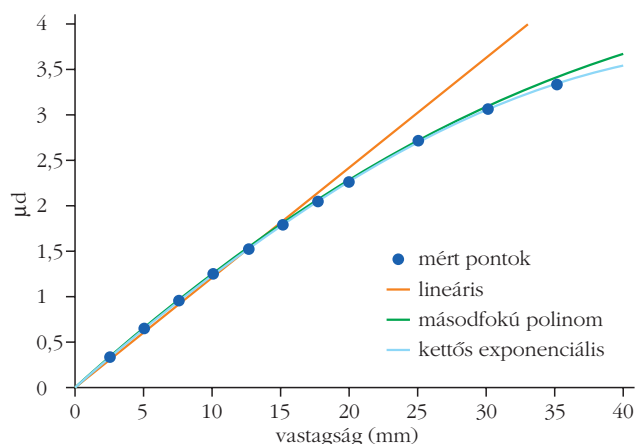
### Technológiafejlesztési vizsgálatok neutronszórással

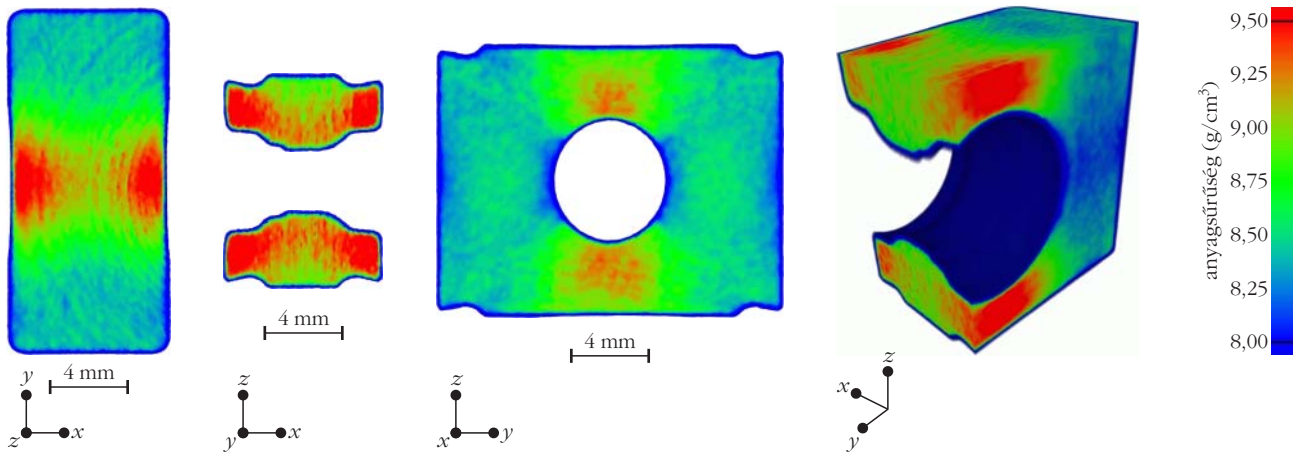
A BNC egyik legkiterjedtebben használt módszere a kisszögű neutronszórás (*small angle neutron scattering*, SANS). Az alábbiakban egy komplex ipari kísérletsorozatot mutatunk be a világitástechnika köréből. Izzószálak élettartam-növelése céljából kálium-alumínium-szilícium adalékolt volfrámhuzalokat vizsgáltunk. Ez egy tipikusan kisszögű neutronszórással vizsgálható kétfázisú rendszer. Bár a volfrámszálak izzólámpák technológiai kérdései ma már háttérbe szorultak, ez az anyag egy kiváló, tiszta modellanyagnak tekinthető nagymennyiségű kisméretű buborékkal – tehát lágy második fázisokkal – keményített, magas hőmérsékleten megnövelt szilárdságú anyagok viselkedésének tanulmányozásához. A tanulmány mind anyagtudományi, mind metodikai eredményeket is szolgáltatott [15].

A gyártás során a kálium az az adalék, amelyik a szinterelést követően kisméretű buborékok formájában benne marad a volfrámban. Ez felel a volfrámhuzal magas hőmérsékleti tulajdonságaiért, illetve élettartamáért, ugyanis – a feltételezés szerint – az izzószál szakadása a szemcseméret növekedésével függ össze, amit viszont a buborékok gátolnak. A kisszögű

neutronszórásos mérések segítségével sikerült a káliumbuborékok volfrámban való viselkedését leírni a gyártás különböző fázisaiban valamint a kálium, buborékon belüli viselkedését vizsgálni magas, a volfrámszál használati hőmérsékletéhez közeli hőmérsékleten. A volfrám izzószál gyártás utolsó fázisa váltakozó szálhúzási és hőkezelési lépésekből áll. Az itt bemutatott minták ezen gyártási fázis különböző lépéseiből valók. A neutronszórás a volfrámmátrixban levő káliumbuborékokról származik, amelyek mérete a kisszögű szórással vizsgálható mérettartományba esik. A buborékok elnyúltságának, valamint a buborékok méretének meghatározására egy olyan mérést végeztünk, amely lehetővé tette a neutronszórás detektálását a hőkezelés hőmérsékletének függvényében. Egy kétdimenziós adatkiértékelési módszerrel olyan modellt sikerült illeszteni a mérési adatsorozatra, amely kellőképpen leírja a hőkezelés folyamatát, így bizonyítást nyert a feltételezés, hogy a hosszú, elnyúlt buborékok hőkezelés hatására felszakadnak, majd a rövidebb buborékok gömbösöd-

4. ábra. Polikromatikus neutronnyaláb gyengülése különböző vastagságú anyagrétegeken történő áthaladás során.





5. ábra. Egy vágószerszám mért sűrűségeloszlása. Piros színnel jelöltük a nagyobb, kékkel a kisebb sűrűségű területeket.

nek. 1200 °C-on már megjelennek a gömb alakú buborékok, de még mindig vannak a mintában 7-es elnyúltsági aránnyal rendelkező káliumbuborékok is. A 2. és 3. ábrák a mért és illesztett kétdimenziós szórástérképeket mutatják be.

### 3D anyagsűrűség-térképezés neutrontomográfiával

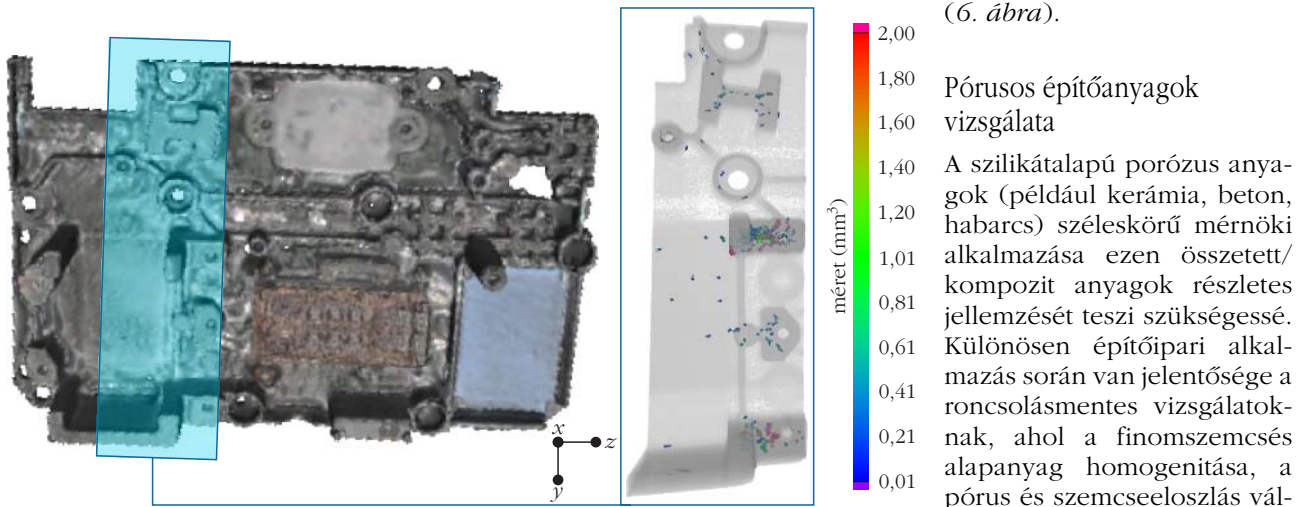
A RAD mérőhelyen tárgyak statikus vagy dinamikus leképezése végezhető neutron- és röntgensugárzással, akár 20 cm-es látómező és számítógép-vezérelt mintamanipulátor segítségével [9]. A világhírű svéd Sandvik Coromant szerszámgyártó céggel együttműködésben porkohászati úton előállított wolfram-karbid vágóélek térbeli homogenitását vizsgáltuk [16]. A vizsgálat célja a gyártástechnológia fejlesztése, a gyártási lépések végeelem-szimulációinak kísérleti validálása, végső soron a mintadarabok tökéletesebb homogenitásának biztosítása, amely hatással van az élettartamára. A mintadarabok akár 4 cm-es méretük és a nagy rendszámú összetevőik (W, Co) miatt sem röntgensugárzással, sem hideg neutronokkal nem voltak átvilágíthatók. A RAD mérőhelyen a neutronok energiael-

oszlása a meV-től a MeV-ig terjed, amely nyalábszűrők alkalmazásával széles körű optimalizációt tesz lehetővé a behatolási mélység, az idő- és a térbeli felbontás paraméterterében, minden egyes mérendő minta esetén. Egy adott alapanyag esetén, kalibrációs görbe segítségével az anyagon átbocsátott neutronsugárzás gyengülését közvetlenül összefüggésbe hozhatjuk a lokális sűrűséggel. A neutronnyaláb energiaeloszlása az egymást követő anyagrétegeken megváltozik, így a kalibrációs összefüggés nagy vastagságok esetén jelentősen eltér az egyenestől; ezt nevezzük nyalábkeményedésnek (*beam hardening*, 4. ábra).

A mért (5. ábra) és a végeelem-szimulációival számolt sűrűségeloszlás igen jó egyezést mutatott [16].

Az anyagsűrűség-változás másik, mondhatnánk nem folytonos esete, ha egy ipari öntvény repedéseket vagy légbuborékokat tartalmaz. A neutronnyaláb nagy áthatolóképesége lehetővé teszi ezen nagyméretű, komplex alakú – például alumínium-, bronz- és acélöntvény – részeknek vagy azok egészének roncsolásmentes vizsgálatát. A kapott (akár többféle modalitással felvett) adatokból megalkothatjuk a tárgy digitális modelljét, amelyet tetszőlegesen elmentszhetünk, részeket átlátszóvá tehetünk és a 3D voxeladatokat numerikusan is analizálhatjuk (6. ábra).

6. ábra. A 3D optikai szkenneléssel nyert digitális modellen a kékkel kiemelt részre vonatkozó neutrontomográfias adatokból 3D pórus- és zárványvizualizációt készítettünk.



### Pórusos építőanyagok vizsgálata

A szilikátalapú porózus anyagok (például kerámia, beton, habarcs) széleskörű mérnöki alkalmazása ezen összetett/kompozit anyagok részletes jellemzését teszi szükségessé. Különösen építőipari alkalmazás során van jelentősége a roncsolásmentes vizsgálatoknak, ahol a finomszemcsés alapanyag homogenitása, a pórus és szemcseeloszlás vál-



tozásai, illetve a szerkezeti elemekkel való kapcsolat meghatározza az építőanyagok szilárdságát és hosszútávú tartósságát. A szerkezet mikroszkopikus (néhány száz  $\mu\text{m}$  – néhány mm) térbeli (3D-s) megismerését teszi lehetővé a képalkotási technikák kombinált alkalmazása. A 7. ábra a neutron- és röntgentomográfiát, illetve a hagyományos, roncsolásos optikai mikroszkópi szöveti vizsgálatot veti össze és bizonyítja a képalkotó technikák hatékonyságát mind a felbontás, mind az alkotók beazonosíthatóságának tekintetében.

A neutron- és röntgenfelvétel képek kombinált feldolgozásával lehetővé válik az alkotórészek (alapanyag, pórus, aggregátumszemcsék) elkülönítése (7. ábra). A szegmentációt követően a pórus- vagy szemcse- és méreteloszlás, alak vagy orientáció önállóan vizsgálható és számszerűsíthető (7. ábra). A kompozit építőanyagok valós térszerkezetének mikroszkopikus léptékű, kvantitatív analizisével valósághűbb bemeneti adatokat szolgáltatunk komplex problémák és folyamatok előrejelzéséhez (például törésmechanika, folyadék vagy repedés terjedése, különféle beágyazási technológiák okozta orientálódás, szerkezeti elemek határán kialakuló öntési hibák). A képalkotás térbeli felbontásának korlátait ugyanakkor figyelembe kell venni, mivel az itt kapott pórusméret-eloszlás számszerűen különbözik a higany porozimetriával kapott adatoktól.

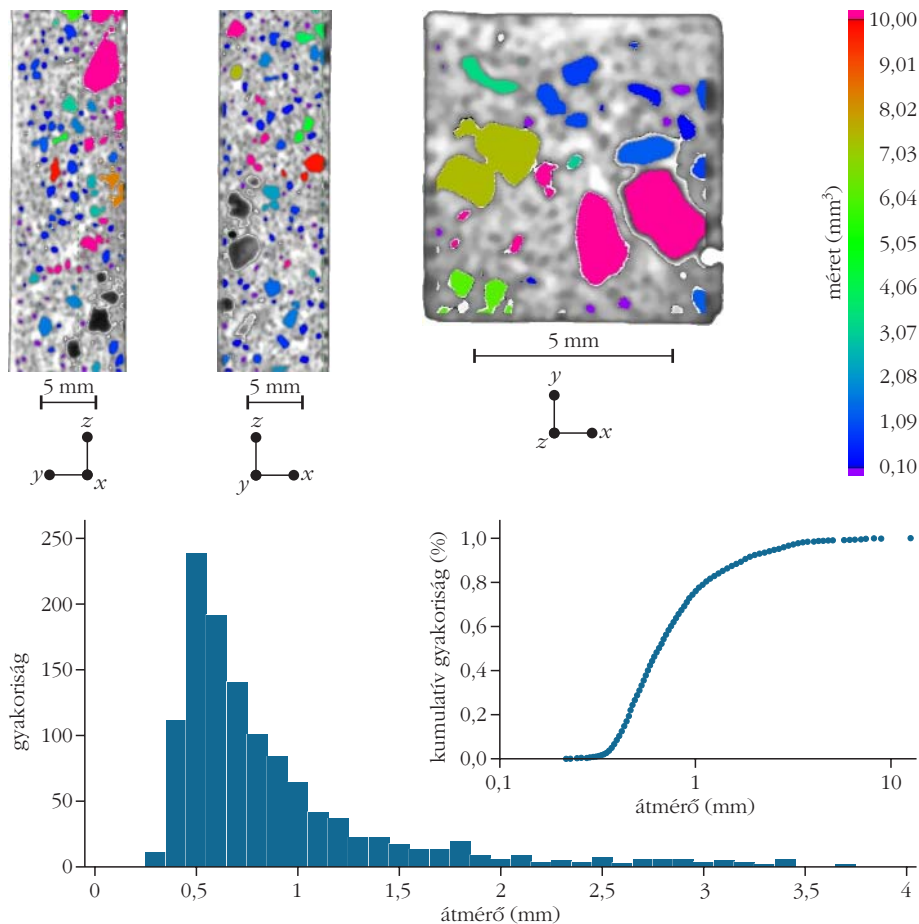
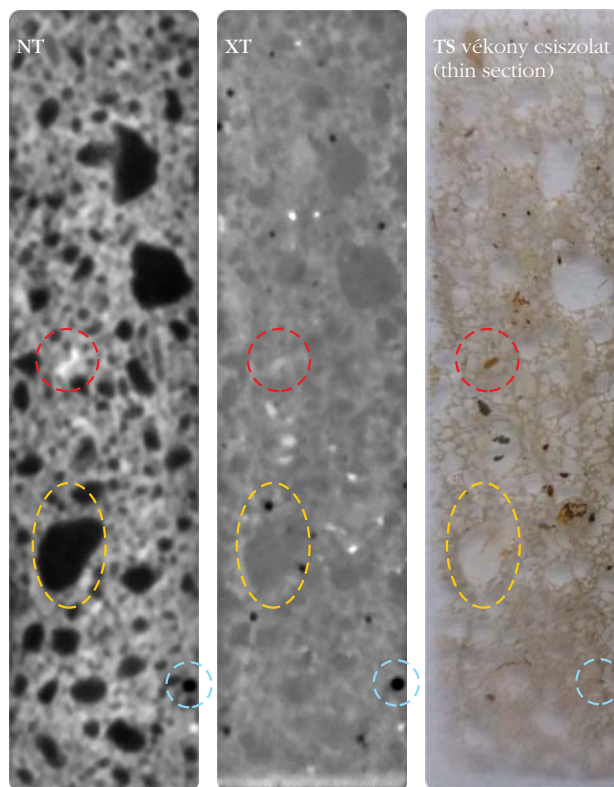
### Visszamodellezés (Reverse Engineering) és 3D nyomtatás

A *Reverse Engineering* (viszszamodellezés) eljárással lehetőség nyílik régi alkatrészek, elhasznált szerszámok újragyártására vagy módosítására olyan esetekben is,

**csillám:** a mátrixnál nagyobb neutrongyengítési együttható

**kvarc:** nagyobb a kontraszt, mint a röntgen esetében

**pórus:** mindkét képen sötétnek mutatkozik



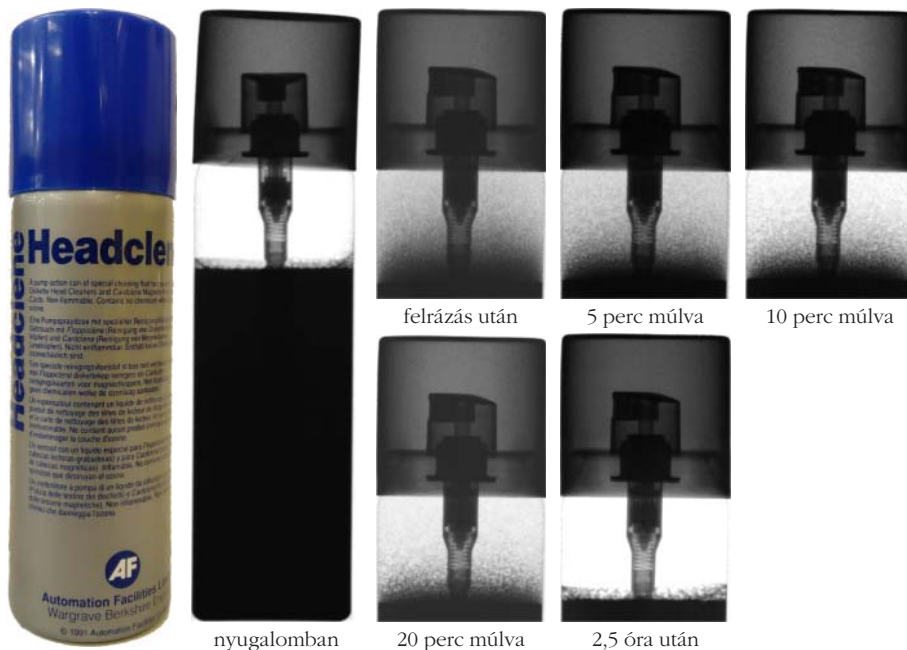
7. ábra. a) Neutron- (NT) és röntgentomográfia (XT) roncsolásmentes, illetve optikai mikroszkóppal felvett roncsolásos metszeti képei (TS) egyazon betonmintáról. b) A numerikus pórusanalízis eredménye színekódolva és c) histogram formájában megjelenítve.



8. ábra. Bronz lámpakar és a visszamodellezett digitális modellje.

amikor nem, vagy csak részben áll rendelkezésre műszaki dokumentáció (8. ábra). Az ipari gyakorlatban erre a célra bevált 3D optikai szkenneléssel ellentétben a neutron- és röntgensugárzás nemcsak a tárgy felszínét, hanem belső szerkezetét, üregeit, a benne lévő alkatrészek összességét is képes láttatni. A voxel-adatokból úgynevezett szegmentációt is végezhetünk, azaz a gyengítési együtthatók alapján digitálisan szétválaszthatjuk a tárgy alkotórészeit, és végül STL formátumba konvertálhatjuk a geometriát (például VGStudio MAX Advanced Surface Determination), amely így CAD programokban már közvetlenül felhasználható.

9. ábra. Egy felrázott tisztító sprayben kialakult hab ülepedése az idő függvényében.



Amennyiben az elkülönített részek anyagi minősége sem ismert, a NIPS-NORMA berendezés [10] kínál megoldást, amelyben egy neutronos képalkotási és egy sugárzásos neutronbefogáson alapuló elemanalitikai berendezés egy készülékbe van integrálva, és a kiválasztott pontokban meghatározható a lokális elemösszetétel.

A kapott geometriai és összetételi adatokból immár CNC-vel vagy 3D nyomtatással előállíthatjuk a mintadarab pontos másolatát. A modell digitális „negatívját” felhasználva kapható meg az öntőforma. Neutronos méréseink beállításához ezzel a technológiával létrehozhatjuk a vizsgálandó tárgy 1:1 méretarányú másolatát, illetve egyedi mintatartókat, amelyek biztosítják a szabálytalan alakú tárgyak biztos rögzítését a mintamozgatóhoz [17].

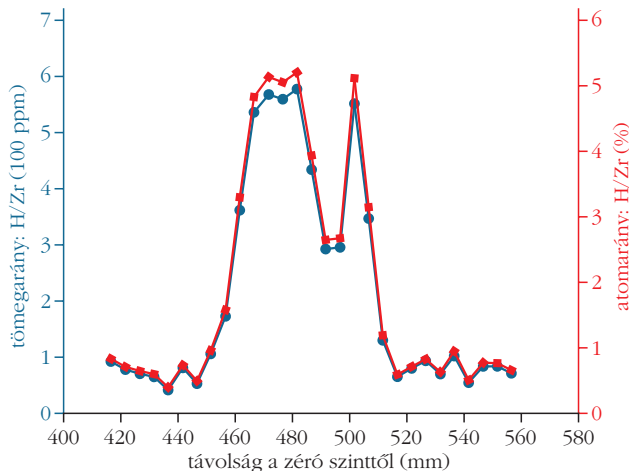
### Dinamikus folyamatok vizsgálata

A mérendő mérnöki tárgyak egy része időben változik. Ilyenkor hasznát vehetjük a dinamikus radiográfiának, amely leginkább a pár másodpercestől a pár napos folyamatok vizsgálatára alkalmas. Áramló közegek, fluidumok felszívódása pórusos anyagokon [18], fázisátalakulás [19], kondenzáció, mozgó gépelemek vizualizációja, lezárt tartályban történő szintmérés (9. ábra) a legjellemzőbb alkalmazások.

### Cirkónium fűtőelem-burkolat ridegedésének vizsgálata

A Paksi Atomerőmű reaktorblokkjaiban is használt cirkónium fűtőelem-burkolatokban szélsőséges, bal- eseti körülmények között kialakulhat a szekunder hidridizáció, amely az anyagot rideggé, törékennyé teszi, csökkentve annak mechanikai ellenállóképességét, így az esetlegesen inhermetikussá válhat [20]. A jelenség összefüggésbe hozható a hidrogén fokozott jelenlétével a burkolat felfűvödött szakaszában.

A burkolatok hidrogéntartalmának meghatározása általában roncsolásos módszerrel, úgynevezett forró extrakciós eljárással történik. Az mért értékek az éppen vizsgált (általában kisméretű) anyagdarabra vonatkoznak, ezért a minta nagyobb térfogatának átlagos koncentrációjára, főként inhomogén hidrogéneloszlás mellett, nehezen általánosíthatók. A neutronos képalkotás és elemanalízis kombinációjával (PGAI-NT) azonban roncsolásmentesen, szelektíven és helyfüggő módon mérhetjük a hidrogéntartalmat.



10. ábra. Egy, a CODEX-LOCA berendezéssel szimulált baleseti helyzet során megromló E110G fűtőelem-burkolat lokális hidrogéntartalma a hossz tengelye mentén, PGAI-NT módszerrel mérve.

Egy – az MTA EK által üzemeltetett CODEX-LOCA berendezéssel szimulált – baleseti helyzet során megromló E110G fűtőelem-burkolat hossz tengelye menti lokális hidrogéntartalmát mutatjuk be a 10. ábrán [21]. A magasabb hidrogéntartalom és a mechanikai károsodás bekövetkezésének helye a várakozásoknak megfelelően jó egyezést mutatott.

## Összefoglalás

A Budapesti Neutron Centrumban a nemzetközileg is jegyzett, roncsolásmentes neutronos anyag- és szerkezetvizsgáló mérőhelyek állnak rendelkezésünkre. Nyílt kutatási infrastruktúráként felhasználói programok, illetve kétoldalú megállapodások révén a Neutroncentrum kutatási és innovációs potenciálja hozzáférhető a magyar és a nemzetközi kutatói közösség, valamint az ipari szereplők számára.

## Irodalom

1. Budapesti Neutron Centrum, [www.bnc.hu](http://www.bnc.hu).
2. SYNERGI2018 konferencia, [www.sine2020.eu/industry/synergi2018.html](http://www.sine2020.eu/industry/synergi2018.html).
3. Science, innovation, competitiveness konferencia, [www.bnc.hu/ind4con19/en/overview](http://www.bnc.hu/ind4con19/en/overview)
4. G. L. Molnár: *Handbook of Prompt Gamma Activation Analysis*. Kluwer Academic Publishers (2004) doi:10.1007/978-0-387-23359-8.
5. Salma I.: Elemanalitikai koszerű módszerei. in: Záray G. (szerk.): *Elemanalitika Koszerű Módszerei*. Akadémiai Kiadó, Budapest, (2006) 417–506.

6. I. S. Anderson, R. L. McGreevy, H. Z. Bilheux: *Neutron imaging and applications: a reference for the imaging community*. Springer (2009).
7. Szentmiklósi L., Kis Z., Belgya T., Maróti B., Horváth L. Z., Papp M.: Roncsolásmentes képalkotás neutronokkal és röntgensugárral. *Fizikai Szemle* 67 (2017) 240–244.
8. J. Banhart, A. Borbély, K. Dzieciol, F. Garcia-Moreno, I. Manke, N. Kardjilov, A. R. Kaysser-Pyzalla, M. Strobl, W. Treimer: X-ray and neutron imaging – Complementary techniques for materials science and engineering. *Int. J. Mater. Res.* 101 (2010) 1069–1079. doi:10.3139/146.110382.
9. Z. Kis, L. Szentmiklósi, T. Belgya, M. Balaskó, L. Z. Horváth, B. Maróti: Neutron Based Imaging and Element-mapping at the Budapest Neutron Centre. *Phys. Procedia.* 69 (2015) 40–47. doi:10.1016/j.phpro.2015.07.005.
10. Z. Kis, L. Szentmiklósi, T. Belgya: NIPS-NORMA station – A combined facility for neutron-based nondestructive element analysis and imaging at the Budapest Neutron Centre. *Nucl. Instruments Methods A* 779 (2015) 116–123. doi:10.1016/j.nima.2015.01.047.
11. L. Szentmiklósi, T. Belgya, Z. Révay, Z. Kis: Upgrade of the Prompt-Gamma Activation Analysis (PGAA) and the Neutron Induced Prompt-gamma Spectroscopy (NIPS) facilities at the Budapest Research Reactor. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 286 (2010) 501–505. doi:10.1007/s10967-010-0765-4.
12. L. Szentmiklósi, Z. Kis, T. Belgya, A. N. Berlizov: On the design and installation of a Compton-suppressed HPGe spectrometer at the Budapest neutron-induced prompt gamma spectroscopy (NIPS) facility. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 298 (2013) 1605–1611. doi:10.1007/s10967-013-2555-2.
13. L. Szentmiklósi, D. Párkányi, I. Sziklai-László: Upgrade of the Budapest neutron activation analysis laboratory. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 309 (2016). doi:10.1007/s10967-016-4776-7.
14. NIST SRM 57b – Silicon Metal, [www-s.nist.gov/srmors/view\\_detail.cfm?srm=57B](http://www-s.nist.gov/srmors/view_detail.cfm?srm=57B).
15. Len L.: Völgfrám huzalok vizsgálata kisszögű neutronszórással. PhD értekezés (2009), [http://teo.elte.hu/minosites/ertekezes2009/len\\_a.pdf](http://teo.elte.hu/minosites/ertekezes2009/len_a.pdf).
16. H. Staf, Z. Kis, L. Szentmiklósi, B. Kaplan, E. Olsson, P.-L. Larsson: Determining the density distribution in cemented carbide powder compacts using 3D neutron imaging. *Powder Technology* 354 (2019) 584–590.
17. L. Szentmiklósi, B. Maróti, Z. Kis, J. Janik, L. Zoltán: Use of 3D mesh geometries and additive manufacturing in neutron beam experiments. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 320 (2019) 451–457. doi:10.1007/s10967-019-06482-0.
18. V. Crupi, B. Fazio, A. Gessini, Z. Kis, M. F. La Russa, D. Majolino, C. Masciovecchio, M. Ricca, B. Rossi, S. A. Ruffolo, V. Venuiti: TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>-PDMS nanocomposite coating with self-cleaning effect for stone material: Finding the optimal amount of TiO<sub>2</sub>. *Constr. Build. Mater.* 166 (2018) 464–471. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.01.172.
19. A. Kiss, M. Balaskó, L. Horváth, Z. Kis, A. Aszódi: Experimental investigation of the thermal hydraulics of supercritical water under natural circulation in a closed loop. *Ann. Nucl. Energy.* 100 (2017) 178–203. doi:10.1016/j.anucene.2016.09.020.
20. Slonszki E., Hózer Z., Groma I., Gémes Gy. A., Lajtha G.: Az atomerőművekben használt cirkóniumötvözetek anyagszerkezeti vizsgálata. *Nukleon 11* (2018) 212. [https://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/11\\_1\\_212\\_Slonszki.pdf](https://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/11_1_212_Slonszki.pdf)
21. E. Kozsda-Barsy, K. Kulacsy, Z. Hózer, M. Horváth, Z. Kis, B. Maróti, I. Nagy, R. Nagy, T. Novotny, E. Perez-Feró, A. Pintér-Csordás, L. Szentmiklósi: Post-test examinations on Zr-1%Nb claddings after ballooning and burst, high-temperature oxidation and secondary hydriding. *J. Nucl. Mater.* 508 (2018) 423–433. doi:10.1016/j.jnucmat.2018.05.072.

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

A Társulat Internet honlapja <http://www.elft.hu>, e-postacímje: [elft@elft.hu](mailto:elft@elft.hu)

Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős kiadó Groma István fűtőtkár, felelős szerkesztő Lendvai János fűtőtkész.

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

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

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

Megjelenik havonta (nyáron duplaszámmal), egyes szám ára: 900.- Ft (duplaszámé 1800.- Ft) + postaköltség.

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



# FIZIKAI ÉS TERMÉSZETTUDOMÁNYI PERIODIKÁK AZ INTERNETEN

Holl András  
MTA Könyvtár és Információs Központ

Az interneten szabadon olvashatóvá vált a hazai természettudományos – ezen belül fizikai – tárgyú szakmai és ismeretterjesztő irodalom jelentős része. Ezen örömteli fejlemény kapcsán áttekintjük a hazai könyvtári digitalizálás helyzetét – a természettudományos irodalomra összpontosítva.

Számos hazai intézmény digitalizál, gyűjt, szolgáltat periodikákat (folyóiratokat, közlönyöket, évkönyveket stb.): ilyen az Országos Széchényi Könyvtár, az Arcanum Adatbázis Kft., az Országgyűlési Könyvtár és a Magyar Tudományos Akadémia Könyvtár és Információs Központ (MTA KIK) – a sort folytathatnánk további könyvtárakkal is. Esetenként közös projekteket folytatnak az említett intézmények, más-kor egyedül digitalizálnak, gyűjteményeik – az Elektronikus Periodika Archivum, az Arcanum Digitális Tudománytár (ADT), a HUNGARICANA, a REAL és a többiek – sokszor egymással átfedők, de mindegyikben találhatunk egyedi tartalmakat. A szolgáltatott anyagok feldolgozottsága, kereshetősége különböző, a hozzáférés az ADT esetében előfizetéshez kötött, a többi digitális könyvtár tartalmi nagyrészt szabadon olvashatók, bár a REAL-ban olyan anyagok is találhatóak, amelyek a megjelenést követően egy időre zároltak. (Az ADT és a HUNGARICANA jobbra régebbi, archív anyagokat tartalmaz, az EPA és a REAL frissen megjelent, digitálisan született tartalmakat is.)

## Periodikák a REAL-ban

Cikkünk első részében az MTA KIK repozitóriuma, a REAL két gyűjteményéből, a REAL-J-ből<sup>1</sup> és a REAL-EOD-ből<sup>2</sup> mutatunk be tartalmakat. Ezek közül előre kell vennünk a *Fizikai Szemle* digitalizált köteteit,<sup>3</sup> amelyeket a modern számok digitális füzetek kísérnek – a legfrissebbek csak késleltetett letölthetőséggel.

<sup>1</sup> REAL-J: folyóiratok, periodikák; <http://real-j.mtak.hu>

<sup>2</sup> REAL-EOD: könyvek, önállóan megjelent füzetek címmel és szerzővel; <http://real-eod.mtak.hu>

<sup>3</sup> [http://real-j.mtak.hu/view/journal/Fizikai\\_Szemle.html](http://real-j.mtak.hu/view/journal/Fizikai_Szemle.html). Köszönjük Turi Andrásnak a digitalizálásra átadott folyóiratanyagot.



Holl András 1984-ben végzett az ELTE-n, geofizikus és csillagász szakokon. Egyetem után az MTA Csillagászati Kutatóintézetében dolgozott. 2014-től az MTA Könyvtár és Információs Központ informatikai főigazgató-helyettese. Érdeklődési körébe tartoznak a modern tudományos kommunikáció kérdései, különösen a nyílt hozzáféréstű tudomány.

*Gazda István A Társulat és a társegyesületek patinás periodikái* című cikkében (*Természet Világa* 2011/5) közölt társulati periodikák listájából a REAL-J-ben a *Mathematische und Naturwissenschaftliche Berichte aus Ungarn*, a *Magyar Chemiai Folyóirat*, a *Növénytan* (később *Botanikai*) *Közlemények*, az *Állattani Közlemények*, valamint a *Csillagászati Lapok* digitalizált évfolyamai találhatóak meg (1. táblázat).

Gazda számos, a *Természettudományi Közlönyt* megelőző vagy azzal párhuzamosan megjelent periodikát is felsorol – konstatálhatjuk, hogy ezek közül is több elérhető a REAL gyűjteményeiben, mint például a *Természettudományi Közlöny* egyik elődje, a *Királyi Magyar Természettudományi Társulat Évkönyveinek* négy kötete.

A Gazda által közölt listák alapján azt a következtetést is levonhatjuk, hogy van még digitalizálásra váró anyag e területen.<sup>4</sup>

A modern hazai tudományos közül megemlíthetjük a *Acta Physicát* és a *Magyar Tudományos Akadémia Matematikai és Fizikai Osztályának közleményeit*.

## Elérés, keresés

A REAL a régebbi periodikákat szabadon elérhetővé teszi, de kötetenként. A REAL-EOD gyűjteményben olyan füzetek, kötetek találhatóak, amelyeknek szerzője, egyedi címe van – ezeket könnyebb a bibliográfiai adatok alapján megtalálni. A REAL-J-ben a folyóiratszámok tartalomjegyzékei többnyire csak a PDF-állományokon belül láthatók, amelyek mérete pedig igen nagy lehet. A tartalomjegyzék esetenként megjelenik az Absztrakt-mezőben is – de itt sem igazán az emberek, inkább a gépi keresőrendszerek számára olvasható. E gyűjteménynél így a keresés nehezebb – de, ha tudjuk, melyik évfolyamra van szükségünk, az a rendelkezésünkre áll. A REAL abban ügyes, hogy a publikációk bibliográfiai adatait strukturált formában – a Protocol for Metadata Harvesting szerint – kínálja fel az aggregátoroknak. Ez a REAL-J folyóiratai esetében nem segít, de a REAL-EOD gyűjteményben tárolt könyveket, füzeteket például az MTA KIK és az MTA SzTAKI által közösen működtetett repozitóriumi közös keresőben<sup>5</sup> az egyetemi gyűjtemények anyagaival együtt kereshetjük, például szerző és cím szerint.

A folyóiratok tartalmának további feltárása várható a REAL-ban, az internet és a számítógépek fejlődése pedig a nagyméretű fájlok problémáját is megoldja majd.

<sup>4</sup> <http://www.termeszettvilaga.hu/szamok/tv2011/tv1105/g3.pdf>

<sup>5</sup> <http://oai.kereso.sztaki.hu/kereso/index.php>

## Megőrzés

Mennyire hatékony vajon a publikációk digitális formában történő archiválása? Az elektronikus megőrzésnél nem a média biztonsága, hanem a könnyű másolhatóság és összehasonlíthatóság adja az előnyt. Aki nem tartja biztonságosnak a digitális archiválást – mondjuk attól tart, hogy egy különlegesen erős napkitörés világszerte tönkretesz az elektronikus berendezéseket – az sem állíthatja, hogy a digitalizálásra ne lenne szükség. Az MTA KIK digitalizálási kampányai során is bebizonyosodott, hogy a papírkópiára sem számíthatunk hosszú távon. Vannak olyan folyóiratok, amelyeket most még digitalizálni tudtunk, de néhány évtized, vagy talán csak néhány év múlva a kötetek szétesnek, lapjaik elporladnak. Vannak olyan folyóiratszámok, kötetek, amelyekből már nem találtunk digitalizálható példányt.

*Ha a tisztelt olvasó biányt fedez fel a REAL digitális állományai között, és tud még fellelhető, adott esetben szétvágható nyomtatott példányról – keressen meg minket! Azok a könyvtárosok, akik a meglévő állományuk apasztására kényszerülnek, jól teszik, ha ellenőrzik, megvan-e minden a REAL-ban (az EPA-ban, vagy a többi gyűjtemény valamelyikében)?*

A digitális példányok biztonságát segíti, ha az adott folyóirat több elektronikus könyvtárban is szerepel. Az egyes gyűjtemények anyagai biztonságáról informatikai módszerekkel lehet gondoskodni. A globális katasztrófák ellen biztos védelem nincsen, bár érdekes kezdeményezésekkel találkozhatunk. A Memory of Mankind projekt<sup>6</sup> keretében lézersugárral kerámialapocskákra gravírozzák az emberiség által felhalmozott tudás legjavát, s ezeket egy ausztriai sóbánya mélyére temetik el. Ilyen biztonságot a digitális repositóriumok nem képesek nyújtani – de használhatónak manapság csak akkor tekinthetjük az információt, ha az könnyen megtalálható, és néhány kattintással elérhető.

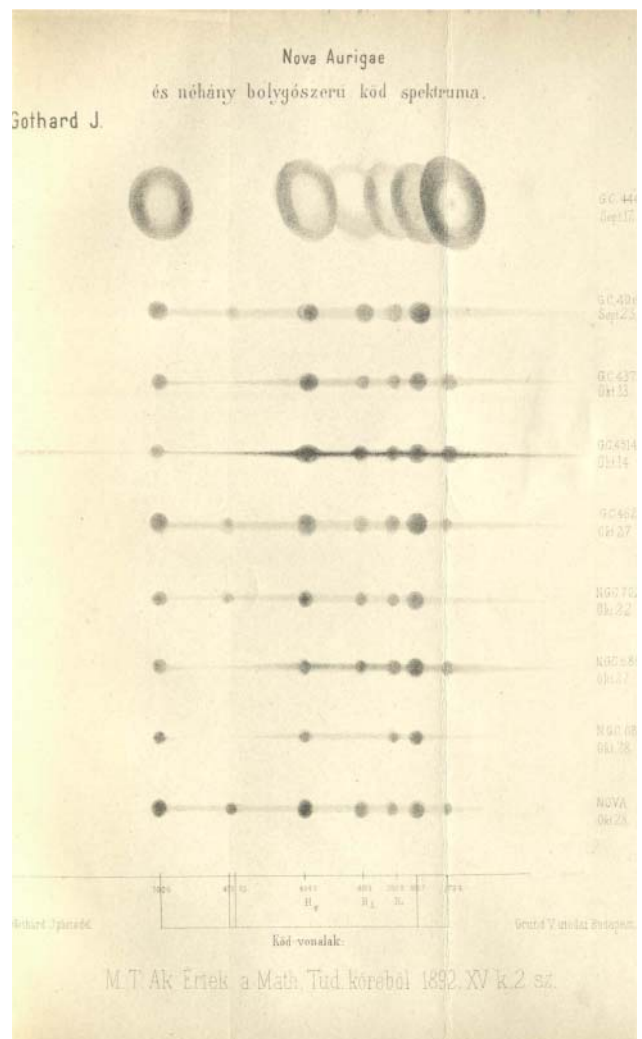
## Hogyan tovább?

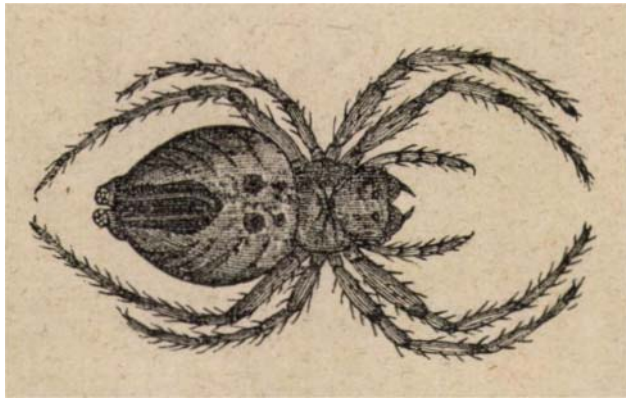
Az MTA KIK digitalizálási programjának első fázisa lezárult – de a munka folytatódik! További műveket viszünk számítógépre – ha nem is olyan ütemben, mint az elmúlt öt év során. Ehhez mind javaslatokat, mind felvágható példányokat szívesen fogadunk. Várjuk, hogy kiadók, szerkesztőségek, egyesületek megkeressenek bennünket, és engedélyt adjanak kiadványaik digitalizálására és közzétételére. A digitalizáláson túl pedig azon fogunk dolgozni, hogy az összegyűlt anyag feltárását, felhasználását elősegítsük: például szövegbányászati lehetőségek biztosításával.

<sup>6</sup> <https://www.memory-of-mankind.com>

1. táblázat	
<b>Néhány digitalizált 19. és 20. századi népszerű és tudományos periodikum</b>	
<i>Tudományos Gyűjtemény</i>	(1817–1841)
<i>Tudománytár</i>	(1834–1844)
<i>Természettudományi Közöny / Természet Világa</i>	(1965–1944; 2015)
<i>A Királyi Magyar Természettudományi Társulat Évkönyvei</i>	(1845–1859)
<i>Magyar Orvosok és Természetvizsgálók Vándorgyűléseinek Munkálatai</i>	(1842–1934)
<i>Magyar orvos-sebészi és természettudományi évkönyvek</i>	(1844–45)
<i>Értekezések a matematikai tudományok köréből</i>	(1867–1894)
<i>Értekezések a természettudományok köréből</i>	(1867–1893)
<i>Mathematikai és Természettudományi Értesítő</i>	(1883–1943)
<i>Matematikai és Fizikai Lapok</i>	(1891–1943)
<i>Fizikai Szemle</i>	(1951–)
<i>Stella</i>	(1926–1931)
<i>Csillagászati Lapok</i>	(1938–1944)
<i>Akadémiai Értesítő / Magyar Tudomány</i>	(1840–)

1. ábra. A Nova Aurigae és a planetáris ködök spektruma.



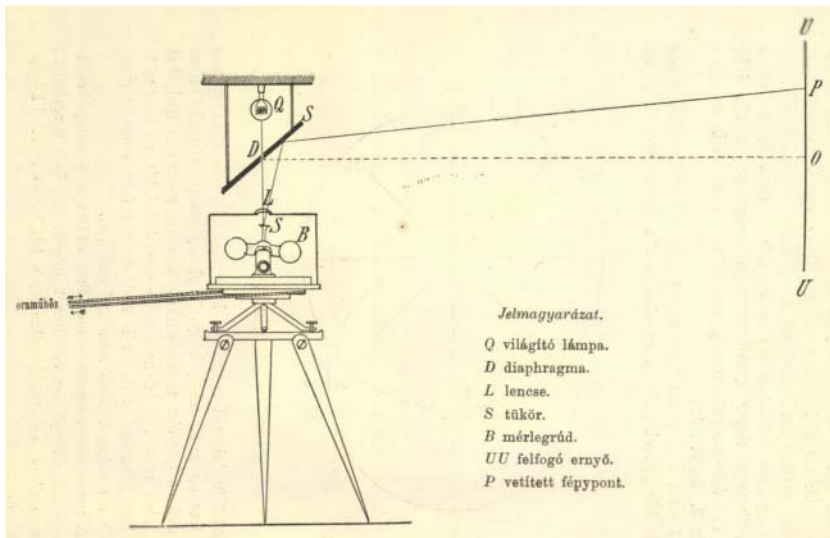


2. ábra. Márványos keresztespók, Herman Ottó cikkéből.

## Kedvcsináló

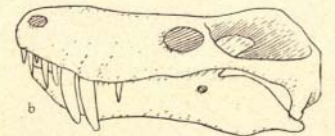
Ízelítőül néhány cikket válogattunk az említett folyóiratokból, évkönyvekből. A magyar orvosok és természetvizsgálók 1868-as, egri gyűlésének munkálataiban *Montedegói Albert Ferenc* közölte mestere, *Tittel Pál* életrajzát. A csillagászatnál maradvá, *Gothard Jenő* 1893-ban planetáris ködök és a Nova Aurigae spektrumát hasonlította össze az *Értekezések a matematikai tudományok köréből* egyik füzetében. A *Természettudományi Közlönyből* két közleményre hívjuk fel a figyelmet 1876-ból: *Herman Ottó* a pókokról közölt cikket, *Kossuth Lajos* pedig felvételét kérte a társulatba. *Fejér Lipót* Fourier-sorokkal kapcsolatos, nagy visszhangot keltő eredményeit először a *Matematikai és Fizikai Lapokban* jelentek meg az 1900-as évek elején. Ugyanebben a folyóiratban találjuk meg *Neumann János* egy korai, matematikai tárgyú közleményét. Az 1926-tól megjelenő *Stella* (az azonos nevű csillagászati egyesület lapja) számos csillagászatörténeti cikket közölt, többek között *Bevilaqua-Borsody Béla* tollából az egri líceum és a pesti egyetem csillagvizsgálóiról. Az olvasó figyelmébe ajánljuk *báró Nopcsa Ferencnek* a hullók fejlődéstörténetéről szóló cik-

4. ábra. Az Eötvös-effektust ismertető cikk ábrája a kísérleti eszközről.



Jelmagyarázat.  
Q világító lámpa.  
D diaphragma.  
L lencse.  
S tükör.  
B mérlegrúd.  
UU felfogó ernyő.  
P vetített félypont.

némely Theriodontán látunk. A Theromorphák sorában — amelyeknek mintegy 120 genust ismerjük 240 fajjal — körülbelül 90 genusban — és pedig valamennyi Dinocephalidában, minden Dicynodontidában, továbbá a legtöbb Theriodontában — minden oldalon egyes számban fellépő, jól kifejlődött, az emlősökhöz hasonló, néha agyarrá emlékeztető szemfog észlelhető. Ettől a szabálytól eltérőleg négy Theriodontában minden oldalon nem egy, hanem két szemfog jelenik meg, amit azért kell teratologikus tünetnek tekintenünk, mert a szemfog ilyen megkettőződése a mai ragadozó állatokon is teratologikus tünet



6. ábra. a = a róka, b = a *Lycosuchus* koponyája.

ha a Trionychidae teknősesoport haspáncéljának (plastronjának) visszafejlődését vizsgáljuk.

3. ábra. Nopcsa Ferenc cikkének részlete.

két az *Állattani Közleményekből* (1927). Alig néhány évvel a müonok ( $\mu$ -mezonok) felfedezése után *Csillagászati Lapokban* *Barnóthy Jenő* írt a kozmikus sugárzás mezonjairól. A *Matematikai és Természettudományi Értesítő* XXXVII. kötetében olvashatjuk *Eötvös Loránd* cikkét a később róla elnevezett effektusról.<sup>7</sup>

## Válogatott közlemények a REAL gyűjteményeiből

Gothard, Jenő: Nova Aurigae spektruma, összehasonlítva néhány bolygószzerű kód spektrumával. *Értekezések a matematikai tudományok köréből* 15/2 (1893) Magyar Tudományos Akadémia, Budapest.

<http://real-eod.mtak.hu/1594/>

Neumann János: Egyenletesen sűrű számsorozatok. *Matematikai és Fizikai Lapok* 32 (1925) 32–40.

<http://real-j.mtak.hu/7301/>

[http://real-j.mtak.hu/7301/1/MTA\\_MatematikaiEsFizikaiLapok\\_32.pdf#page=38](http://real-j.mtak.hu/7301/1/MTA_MatematikaiEsFizikaiLapok_32.pdf#page=38)

Kossuth Lajos levele a Társulatba való belépésének szándékáról. *Természettudományi Közlöny* 8/87 (1876) 451–452.

<http://real-j.mtak.hu/6571/>

[http://real-j.mtak.hu/6571/1/TermTudKozl\\_1876.pdf#page=459](http://real-j.mtak.hu/6571/1/TermTudKozl_1876.pdf#page=459)

Herman Ottó: A Pókról. *Természettudományi Közlöny* 8/81 (1876) 177–194.

<http://real-j.mtak.hu/6571/>

[http://real-j.mtak.hu/6571/1/TermTudKozl\\_1876.pdf#page=185](http://real-j.mtak.hu/6571/1/TermTudKozl_1876.pdf#page=185)

Báró Eötvös Loránt: Kísérleti kimutatása annak a nehézségi változásnak, amelyet valamely, a szabályos alakúnak felvett földfelületen keleti vagy nyugati irányban mozgó test e mozgás által szenved. *Math. És Term.-tud. Értesítő* 37 (1920) 1–28.

<http://real-j.mtak.hu/4453>

[http://real-j.mtak.hu/4453/1/MatematikaiTermTudErtesito\\_37.pdf#1](http://real-j.mtak.hu/4453/1/MatematikaiTermTudErtesito_37.pdf#1)

<sup>7</sup> Az Eötvös centenáriumi honlap publikációs jegyzéke cikkeinek többsége egy kattintással letölthető valamelyik REAL gyűjteményből.



dr. báró Nopcsa Ferenc: Fejlődéstörténeti és örökléstani következtetések a hüüllök tanulmányozásából. *Állattani Közlemények* 24/3–4 (1927) 125–143.  
<http://real-j.mtak.hu/8080/>  
[http://real-j.mtak.hu/8080/1/AllataniKozlemenyek\\_24.pdf#page=135](http://real-j.mtak.hu/8080/1/AllataniKozlemenyek_24.pdf#page=135)

Bevilaqua-Borsody Béla: Adalékok a gellérthegyi „csillagásztorony” történetéhez. *Stella* 4/1 (1929) 15–25.  
<http://real-j.mtak.hu/6783/>  
[http://real-j.mtak.hu/6783/1/MTA\\_Stella\\_1929\\_4.pdf#page=19](http://real-j.mtak.hu/6783/1/MTA_Stella_1929_4.pdf#page=19)

Bevilaqua-Borsody Béla: A Galánthai gróf Eszterházy Károly egri püspök által alapított egri egyetem csillagvizsgálójának története. 1762–1883. *Stella* 4/3–4 (1929) 101–143.  
<http://real-j.mtak.hu/6571/>  
[http://real-j.mtak.hu/6571/1/TermtudKozl\\_1876.pdf#page=105](http://real-j.mtak.hu/6571/1/TermtudKozl_1876.pdf#page=105)

Barnóthy Jenő: Mezonok szerepe a kozmikus sugárzásban. – Apró közlemények. *Csillagászati Lapok* 2/1 (1939) 41–44.  
<http://real-j.mtak.hu/6787/>  
[http://real-j.mtak.hu/6787/1/MTA\\_CsillagaszatiLap\\_02.pdf#page=49](http://real-j.mtak.hu/6787/1/MTA_CsillagaszatiLap_02.pdf#page=49)

## A FIZIKA TANÍTÁSA

# IFJÚ FIZIKUSOK NEMZETKÖZI VERSENYE 2018 – MAGYAR SZEMMEL – 2. rész

Gyulai Márton – Földes Ferenc Gimnázium, Miskolc  
Kadlecik Ádám – Tatai Eötvös József Gimnázium és Kollégium, Tata  
Vavrik Márton – Berzsenyi Dániel Gimnázium, Budapest  
Hömöstre Mihály – Budapesti Német Gimnázium, ELTE TTK  
Ispánovity Péter Dusán – ELTE TTK  
Vincze Miklós – ELTE TTK  
Jenei Péter – ELTE TTK

A cikk első részében már beszámoltunk 3 érdekes fizikai probléma vizsgálati eredményeiről az Ifjú Fizikusok 31. Nemzetközi Versenyéről. Most 3 újabb kis tanulmányt közlünk. A fejezetek szerzői most is versenyzőink. Minden fejezet egy problémát mutat be és közvetlenül az elején, dőlt betűvel szedve található a versenykiírásban szereplő eredeti problémaírás.

## Tesla-szelep

*A Tesla-szelep egy állandó geometriájú, passzív, egyirányú szelep. A Tesla-szelep egyik irányban sokkal nagyobb ellenállást fejt ki az áramlással szemben, mint a másikban. Készíts egy ilyen eszközt és vizsgáld meg a releváns paramétereit!*

A feladat egy olyan, mozgó alkatrészek nélküli szerkezet megalkotása volt, amelyben víz vagy egyéb folyadék két irányban is – az egyikben lényegesen



Vavrik Márton 2018-ban végzett a Berzsenyi Dániel Gimnázium speciális matematika szakán, jelenleg a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem fizika szakos hallgatója, és ugyanitt több, mint egy éve foglalkozik fúziós plazmafizikával. A 2017 áprilisában megrendezett Ifjú Fizikusok Osztrák Versenyén (AYPT) a magyar csapattal I. díjat szerzett. 2018 júliusában Pekingben, a bronzérmes magyar csapat tagjaként vett részt az Ifjú Fizikusok Nemzetközi Versenyén (IYPT).

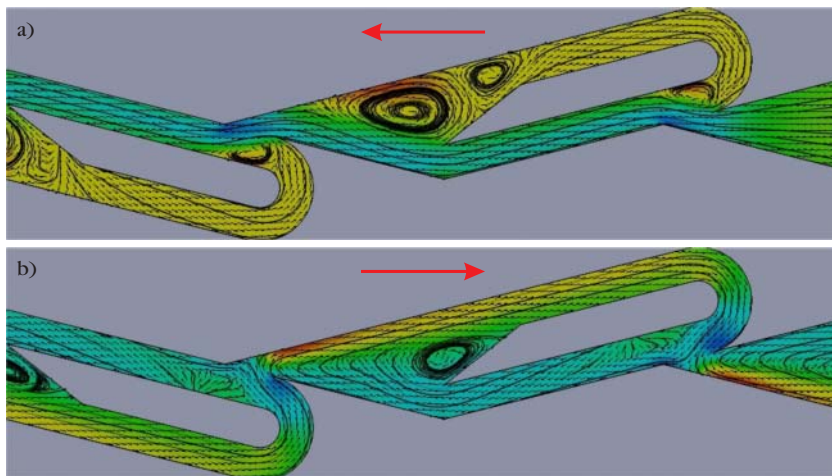
nagyobb ellenállásba ütközve, mint a másikban – áramolhat. Nevéből sejtethetjük, hogy *Nikola Tesla* találta fel 1920-ban [6] és előnye, hogy konstans geometriája miatt a konvencionális szelepeknél nehezebben hibásodik meg és kiválóan alkalmazható nehezen elérhető kutakban. Tesla eredetileg forró, oszcilláló gőz egyenirányítására használta, manapság pedig a mikrofluidikában tűnt fel. Feladatom volt a szelep előállítás, vizsgálata és optimalizálása.

Mint minden áramlástanai problémában, az elrendezés geometriája fontos szerepet játszik. A szelep, ha gyors irányban folyik át rajta a folyadék (*16.a ábra*), alig fejt ki ellenállást, enyhén cikk-cakkozó mozgást végez.

Érezhető, hogy minél többet kell fordulnia az áramló közegnek, annál több energiát veszít, éppen mintha egy mozgó autóval kanyarodnánk. Ez az effektus még számottevőbb a lassú irányban, ahol esetenként teljesen meg is fordítjuk a folyadékot, „összeütköztetve” az egyenesen haladó anyagárammal (*16.b ábra*).

Először a Tesla által használt geometriát valósítottam meg (*17.a ábra*) a Solidworks szilárdtest-modellező és tervező programmal, amelyben végtest-ana-

A versenyre való felkészülés és a versenyen való részvétel anyagi háttérét a MOL Nyrt., az Audi Hungaria és az Emberi Erőforrások Minisztériuma biztosította, valamint a nemzeti tehetség program NTP-NTMV-17-B-0001 számú pályázata. A tanulmány elkészítését a Magyar Tudományos Akadémia Tantárgy-pedagógiai Kutatási Programja támogatta. Köszönettel tartozunk a BME Polimertechnikai Tanszékének a Tesla-szelepek legyártásáért.



16. ábra. Szimulációs kép a szelep jellemző áramlása (a) gyors, illetve (b) lassú irányban.

lízissel szimulálni is tudtam az áramlást, és 3D nyomtatásra is alkalmas modelleket tudtam készíteni.

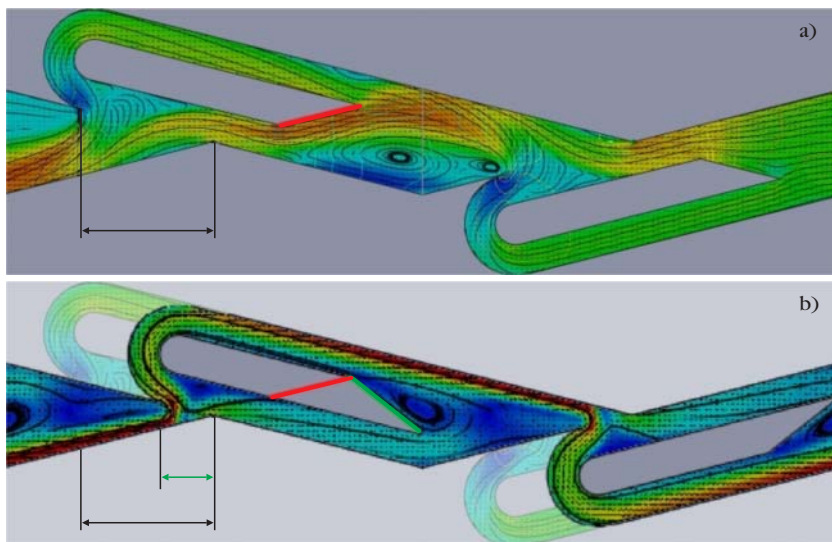
Egy szelep jóságai tényezője a diodicitása, vagyis lassú és gyors irányban, egy bizonyos  $v$  sebesség fenntartásához szükséges nyomásváltozások aránya:

$$D_i = \left( \frac{\Delta p_{lassú}}{\Delta p_{gyors}} \right)_v \quad (21)$$

Ez a Tesla-féle geometria esetében 1,7-nek adódott. A továbbiakban az volt a célunk, hogy ezt az értéket minél tovább növeljük.

Észrevehetjük, hogy egy terelő él (pirossal) az áramlás jó részét a főcsatornába tereli (lásd 17.a ábra). Ha ezt az élt az 17.b ábrán vázolt módon megfordítjuk, az áramlás a visszaforgató ágba fog koncentrálni, ahol több energiát veszít. A szimulációk azt mutatták, hogy ez a módosítás valóban jelentősen javította a szelepet. Ha csökkentjük a T-keresztződés kimenetének hosz-

17. ábra. (a) Tesla eredeti terveinek megfelelő áramlási szimuláció (pirossal kijelölve a terelő él, a vízszintes nyilak a T-keresztződés hosszát jelölik), valamint (b) az általam módosított verzió.



szát (vízszintes fekete nyíl), jobban egymásnak szorítjuk a két, ellentétes áramot, amelyek így még több energiát veszítenek. Az így optimalizált szelep szimulált diodicitása 3,22.

Az optimalizált szelepet a BME Polimertechikai tanszékén Polyjet technológiával nyomtattuk, és konstans nyomás alá helyeztük, amelyet egy 107 cm magasan lévő túlfolyós tartállyal biztosítottunk.

Az első mérésekben 2 liter víz lefolyási idejét mértem. Innen megtudtuk határozni az átlagsebességét. De a diodicitást a nyomások arányaként definiáltuk, és ebből a mérésből csak sebességarányt tudunk számolni. A kettő közötti át-

váltásra Bardell [7] adott egy mélyebb bizonyítást, de ha végiggondoljuk, hogy a belépő  $p$  nyomás munkájából a folyadéknak  $v^2$ -tel arányos mozgási energiája lesz, beláthatjuk:  $p \sim v^2$ .

Ezt az összefüggést a szimulációk is megerősítik. Ezáltal a mért 1,8-as sebességarányból a diodicitás  $3,24 \pm 0,02$ , amely hibán belül azonos a szimulált értékkel (3,22).

Az energia elvesztésében igen fontos a turbulencia szerepe is. Ismerhetjük, hogy ezt az  $Re$  Reynolds-szám [8] írja le, ami kiszámolható például a szelep bármelyik belső felületére, amely egy  $a$ - $b$  oldalhosszúságú téglalap:

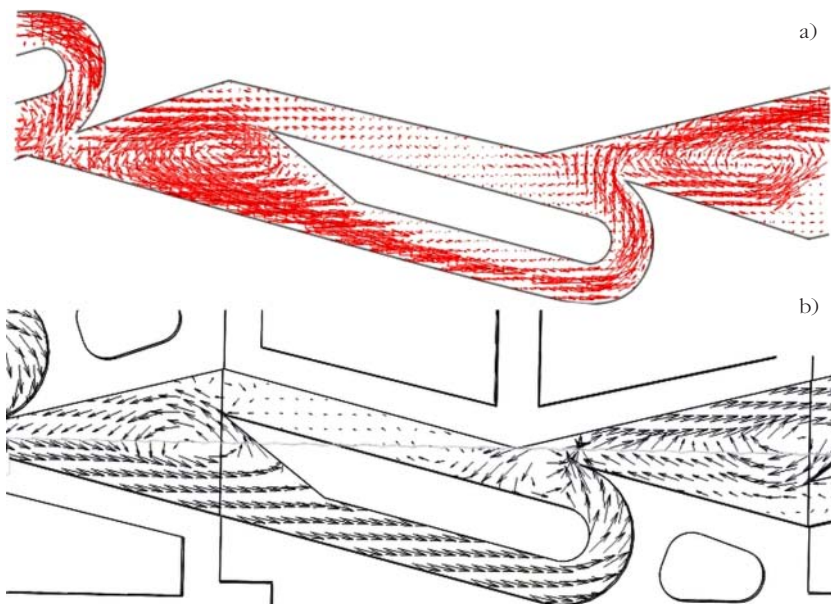
$$Re = \frac{\rho v D_H}{\mu}, \quad (22)$$

ahol

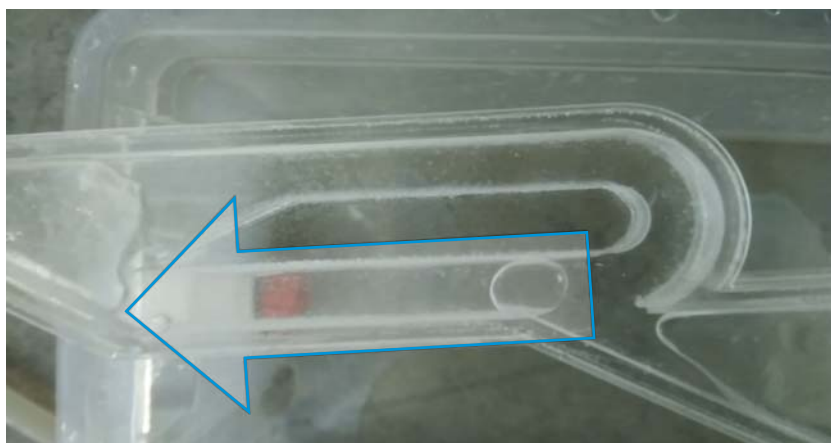
$$D_H = \frac{4 a b}{a + b}. \quad (23)$$

Esetünkben  $a = 1$  cm és  $b = 0,5$  cm a legszélesebb részen,  $a = 0,3$  cm és  $b = 0,5$  cm a legszűkebb részen. A kísérleteinkben kapott értékek  $Re = 700$  és  $5800$  között szóródnak, amelyre a sebességen kívül az is hatással van, hogy melyik keresztmetszetre számoljuk ki, így van, ahol akár kétszeres lehet, mint máshol a szelepből. A lamináris-turbulens átmenet jellemző határszámát a szakirodalom sokféleképpen határozza meg, jellemzően  $2000$  és  $13000$  közötti értékeket találhatunk. Ezek szerint az áramlás általában a lamináris-turbulens átmenet közelében van, olykor egészen lamináris.

Am, ha az áramlás lamináris lenne, akkor sebessége független lenne az irányától. Tehát a diodicitásnak



18. ábra. Vektormező (a) PIV módszerből és (b) szimulációból.



19. ábra. Egy képkocka az általunk készített videóból [9], amely azt mutatja, hogy lassú irányban középen a víz fő áramlással ellentétesen, a nyíl irányában mozog.

1-nek kellene lennie. De nyilván nem ez történik! Léteznie kell – legalább az áramlási tér bizonyos részein – turbulens disszipációnak is, és ennek a lassú irányban kell erősebbnek lennie. Ha ezt akarjuk vizsgálni, időben és térben kevésbé átlagolt sebességmérésre van szükségünk.

Erre egy lehetőség, hogy adott magasságból vízszintesen folyattatjuk ki a szelepből a vízugarat. Ekkor – ha időnként lefotózzuk, majd a pálya egyenletéből meghatározzuk a kiindulási sebességét – a sebesség időbeli változását követhetjük.

Talán a legpontosabb, ha a PIV (Particle Image Velocimetry) módszert használjuk. Az eljárás lényege, hogy a vízbe apró poliamidrészecskéket helyezünk, és egy lézersíkkal felülről megvilágítjuk a szelepet, majd egy kamerával képkockapárokat veszünk fel, amelyek készítése között 1 ms telik el. A képeken a poliamidszemcsék mozgásából kereszt-korrelációval meghatározható mindegyik pontban a folyadék sebességvektora. Ehhez a módszerhez egy ötször nagyobb (3 eleme tartalmazó 80 cm hosszú)

szelepet vágattunk ipari lézerrel, plexiből. Ezt a módszert – többek között – a turbulencia vizsgálatára használtuk.

A PIV módszer másik előnye, hogy vektormezőt ad, ésilyent a szimulációból is tudunk exportálni. Így össze tudjuk hasonlítani a kettőt, mintegy leellenőrizve a szimulációk valóságtartalmát (vesd össze 18.a és 18.b ábrát). Ha ezt meg tesszük, láthatjuk, hogy valóban hasonló az örvénylés és a visszaforgatás mechanikája, ugyanúgy látunk egy visszafelé folyást a középső csatornában (19. ábra), és úgy általában hasonló a sebességvektorok iránya és mérete.

A folyadék viszkozitása is hatással van a turbulenciára, ezért diodicitást különböző koncentrációjú glicerinvíz keverék átfolyatásával is mértük, és azt vettük észre, hogy nagy viszkozitásnál a diodicitás szinte 1-nek adódott.

Összességében többféle módon építettem és elemeztem a szelepeket, amelyekben fontos a geometria és a viszkozitás szerepe, és sikerült előállítanom 3,24-es diodicitású szelepet is, amely igen közel áll az elméleti jöslatokhoz.

Vaurik Márton

## Hérón szökőkútja

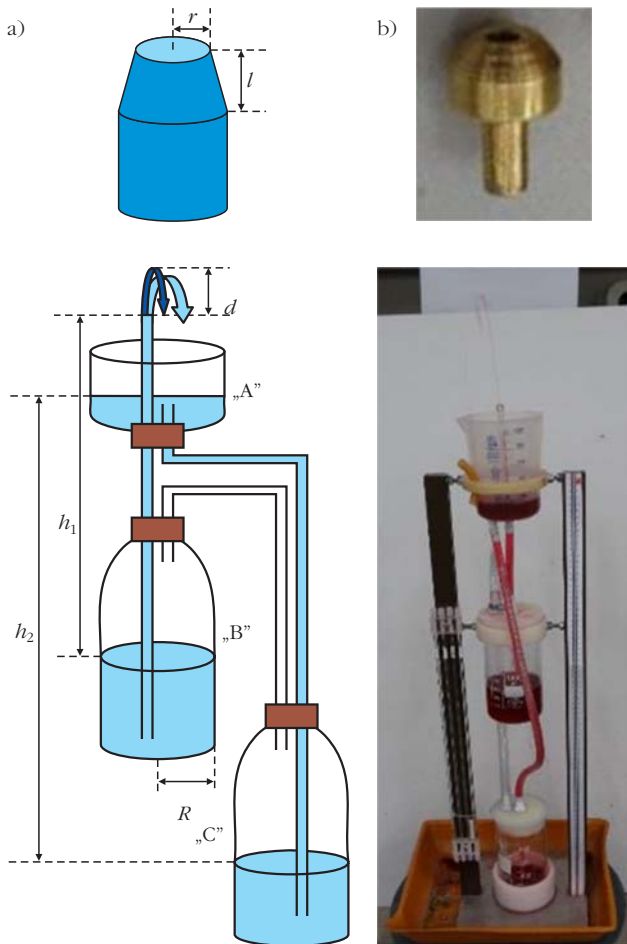
*Építs egy Hérón-szökőkutat és magyarázd meg hogyan működik! Vizsgálj meg, hogy a releváns paraméterek miként befolyásolják a vízoszlop magasságát!*

Hérón szökőkútja (20. ábra) a következőképp épül fel: három tartályból áll, amelyeket csövek kötnek össze. A legfelső, „A” tartályból egy cső indul a legalsó, „C” tartályba. Ezt egy másik cső a középső, „B” tartállyal köti össze. A „B” tartályból indul a kimeneti cső, amin keresztül a vízszögár kilövell. Az „A” tartály teteje nyitott, a többi hermetikusan le van zárva. A kék színnel jelzett csövekben víz folyik, a fehérben levegő áramlik.



Kadlecik Ádám 2015 óta a Tatai Eötvös József Gimnázium és Kollégium tanulója. A 2018-ban megrendezett Ifjú Fizikusok Osztrák Versenyén (AYPT) a magyar csapat tagjaként 2. helyezést ért el. A 2019-ben megrendezett Ifjú Fizikusok Nemzetközi Versenyén (IYPT) a bronzérmes magyar csapat tagja volt.





20. ábra. Hérón-szökőkút (a) sematikus képe és (b) fényképe. Felül a kimeneti cső végére illeszthető szűkítő látható. Kicsi  $r$  a szűkítő sugarát, nagy  $R$  a középső tartály sugarát,  $l$  a szűkítő hosszát,  $d$  a vízszögár hosszát,  $h_1$  és  $h_2$  a két fontos vízszög magasságát jelöli.

A jelenség folyamata: töltjük meg a „B” tartályt, ezután öntsünk vizet az „A” tartályba. Az „A” tartályból a víz lefolyik „C”-be, ott összenyomja a bent lévő levegőt, így nyomása megnő. A levegő egy része átáramlik „B” tartályba. Itt a megnövekedett belső nyomás kinyomja a vizet a kimeneti csövön keresztül.

Két vízszögpotot vehetünk észre,  $h_1$ -et, és  $h_2$ -t. Könnyen belátható, hogy míg a  $h_2$ -es vízszögpot hidrosztatikai nyomása kinyomja a vizet a „B” tartályból, addig a  $h_1$ -es nyomása ennek ellen tart. Ebből az következik, hogy a rendszer által létrehozott, a „B” tartályban levő folyadékra ható nyomás:

$$p_{hid.} = \rho g h_2 - \rho g h_1 = \rho g d, \quad (24)$$

ahol  $d$  a vízszögár – elvi, maximálisan elérhető – magassága. Ezzel az egyenlettel már becslést adhatnánk a szökőkút várható magasságáról, viszont ne feledkezzünk meg a különböző, nyomásvesztéssel járó folyamatokról. Ilyen folyamatok például a viszkózus súrlódás, esetleges turbulens áramlások stb. Ezen  $p_v$  nyomásvesztések levezetése nagyon hosszú, ezért nem részletezzük, de feltehetjük, hogy az összes veszteség nagysága arányos a folyadék  $v_B$  középső tartály-

beli áramlási sebességével, a folyadék  $\rho$  sűrűségével és a nehézségi gyorsulással:

$$p_v = C \rho g v_b, \quad (25)$$

ahol  $C$  a kút ellenállását jellemző – méréssel meghatározható – konstans és  $v_B$  a középső tartálybeli vízszögpotváltozás sebessége, azaz a rendszer egy tipikus áramlási sebessége. A feladat megoldása során azt a lehetőséget is vizsgáltuk, amikor a kimeneti cső végére szűkítőt helyeztünk. Az ottani nyomásvesztés értékét a Hagen–Poiseuille-törvény segítségével közelítettük:

$$p_{sz} = \frac{8 \mu l v_k}{r^2}, \quad (26)$$

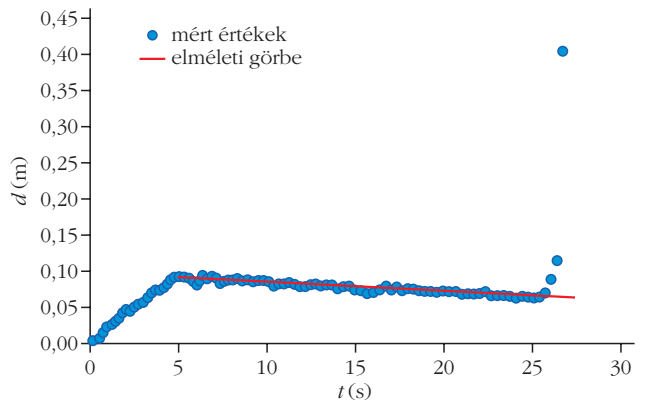
ahol  $\mu$  a dinamikai viszkozitás,  $l$  a szűkítő hossza,  $v_k$  a vízszögpot sebessége,  $r$  a szűkítő sugara. A (24)-es egyenletet a (25)-ös és (26)-os egyenletekkel – mint negatív előjelű tagokkal – kiegészítve,  $d$ -re, azaz a vízszögpot magasságára átrendezve, kiegészítve egy a légellenállás hatását leíró empirikus  $C_{le}$  konstanssal, a következő egyenletet kapjuk:

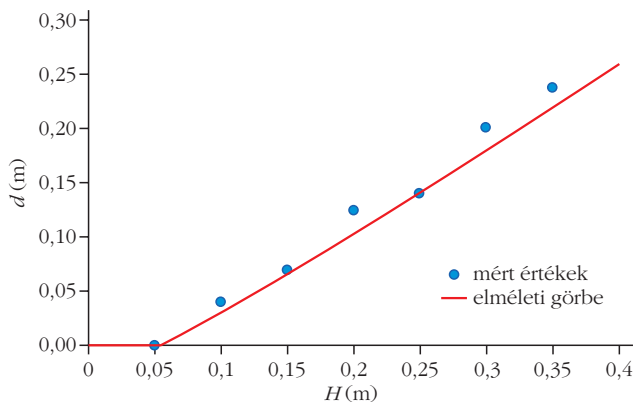
$$d = C_{le} \frac{1}{2g} \left[ - \left( \frac{8 \nu l}{r^2} + Cg \frac{r^2}{R^2} \right) + \sqrt{\left( \frac{8 \nu l}{r^2} + Cg \frac{r^2}{R^2} \right)^2 + 2gH} \right], \quad (27)$$

ahol  $\nu$  a kinematikai viszkozitás,  $R$  a középső tartály sugara és nettó vízszögpotkülönbség  $H = h_2 - h_1$ . A (7) egyenlet magában foglalja az összes fontos paraméter hatását  $d$ -re.

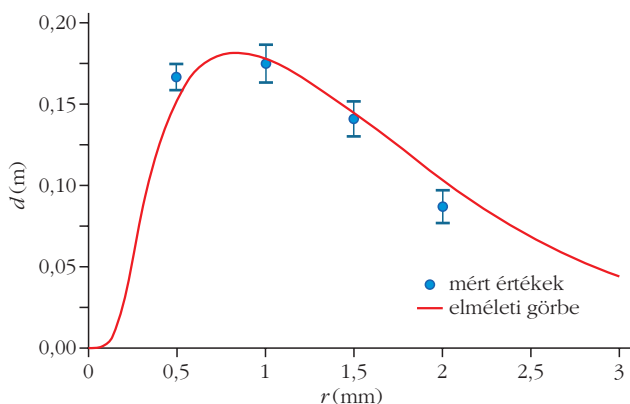
A 21. ábrán egy tipikus mérési eredményt láthatunk a szökőkút  $d$  magasságára az idő függvényében. A függvény alapján három szakaszra bontható: kezdetire, középsőre és végsőre. A kezdetiben  $d$  folytonos

21. ábra. A szökőkút (kiáramló vízszögpot)  $d$  magassága az idő függvényében, amely jól láthatóan 3 szakaszra különül el. Elméletünk a középső, leghosszabb szakaszra érvényes. Erre a részre az elmélet által jósolt egyenest is berajzoltuk.





22. ábra. A szökőkút (kiáramló vízoszlop)  $d$  magassága a  $H$  nettó vízszintkülönbség függvényében.



23. ábra. A szökőkút (kiáramló vízoszlop)  $d$  magassága a szűkítő sugarának függvényében.

növekedését láthatjuk, hiszen ebben a fázisban folyik le a víz „C” tartályba, és alakítja ki a  $h_2$ -es vízoszlopot a csőben. Ebben a szakaszban is érvényesek a korábban bemutatott megfontolásaink, ám azokat még a levegő közel adiabatikus összenyomódásával – amelyet már numerikus módszerekkel számoltunk – is ki kell egészítenünk. A középső szakaszra azonban egzaktul igaz a (27)-es egyenletünk, ami az idő függvényeként

$$d(t) = C_{le} \frac{1}{2g} \left[ - \left( \frac{8vl}{r^2} + Cg \frac{r^2}{R^2} + 2g \frac{r^2}{R^2} t \right) + \sqrt{\left( \frac{16vl}{r^2} + Cg \frac{r^2}{R^2} + 2g \frac{r^2}{R^2} t \right)^2 + 2gH_0} \right]^2 \quad (28)$$

alakban írható fel, ahol  $H_0$  a középső szakasz kezdetén mért nettó vízszintkülönbség. A 21. ábrán látható, hogy ez nagy pontossággal becsli meg a szökőkút magasságát a középső szakaszban. A végső szakaszban egy heves kilövellést tapasztalunk. Ennek oka, hogy a kísérlet végénél a középső tartály szinte üres, és a kimeneti csőbe levegőbuborékok kerülnek, amik megtörik a  $h_1$ -es vízoszlopot, így megszüntetve annak az ellennyomását.

Nézzünk meg néhány paramétert közelebbről. A 22. ábrán a szökőkútból folyamatosan kiáramló vízoszlop  $d$  legnagyobb magasságát – eltekintve a végső kilövelléstől – láthatjuk a két tartály  $H$  nettó vízszintkülönbségének függvényében. A függvényen jól látható, hogy addig nem keletkezik vízszög, amíg  $H < 5$  cm. Ez azért van, mert a kimeneti cső végén egy vízbuborék keletkezik, aminek felületi feszültsége akadályozza a folyadék kiáramlását, ennek az értéke megegyezik 5 cm magas vízoszlop hidrosztatikai nyomásával.

A 23. ábrán a szűkítő  $r$  sugarának függvényében láthatjuk a szökőkút magasságát. Vegyük észre, hogy a túl keskeny és a túl vastag szűkítő is alacsonyabb vízszögat eredményez. Az egyenletről az ideális méretet is leolvashatjuk, ami – a mi esetünkben – körülbelül 0,75 mm.

Hogyan érjük el a legmagasabb szökőkutat? A „B” és „C” tartály között minél nagyobb távolságot kell tartanunk. Az optimális szűkítő mellett – a viszkozitási csökkentésének érdekében – használjunk forró vizet, vagy akár más anyagokat is. Használjunk vastag csöveket, amelyek ne csavarodjanak, hogy  $p_v$ -t a lehető legjobban lecsökkentsük.

Kadlecik Ádám

## Palackdobálás („Bottle flip”) játék

A „Bottle flip” játék során egy részben töltött műanyag palackot a levegőbe dobunk, úgy, hogy egy bukfcen után egy vízszintes felületen stabil álló helyzetben landoljon. Vizsgálj meg a jelenséget és határozd meg milyen paraméterek mellett lesz a dobás sikeres!

A palack sematikus mozgását a 24. ábra mutatja.

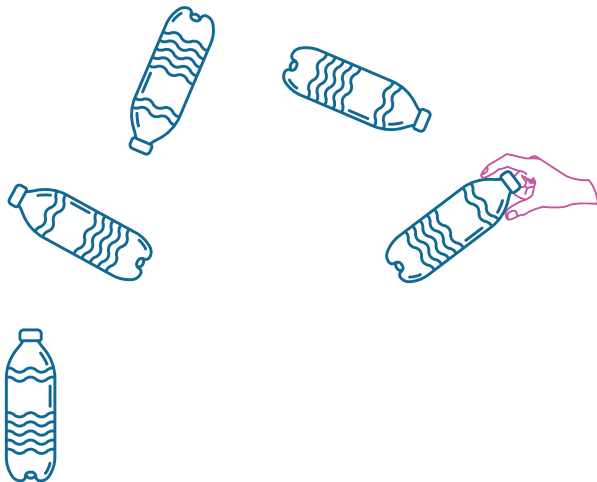
Kísérleteink során rengeteg dobást végeztünk, amelyeket nagysebességű kamerával (500-1000 fps) rögzítettünk [10]. A kiértékelés egy általunk írt követőprogram segítségével történt. Ez Python nyelven íródott az OpenCV könyvtárat felhasználva, amely képkockáról képkockára képes volt megállapítani a palack térbeli pozícióját és szögelfordulását.

A jelenséget két fő részre lehet bontani: a palack levegőben repülésére és a földdel való ütközésre.

Az elengedés után a palack kezdeti  $\omega_0$  szögsebességgel kezd el forogni a tömegközéppontja körül, amely pedig egy parabola mentén halad (a közegellenállást a kísérleteink alapján elhanyagolhatónak találtuk). Megfigyelésünk az, hogy a szögsebesség jelentősen lecsökken, amire a palack földet ér (25. ábra).



Gyulai Márton idén fejezte be középiskolai tanulmányait a miskolci Földes Ferenc Gimnázium speciális matematika tagozatos diákjaként. 2018 júliusában Pekingben a bronzérmes magyar csapat tagjaként részt vett az Ifjú Fizikusok Nemzetközi Versenyén (IYPT). A 2019 áprilisában Malajziában megrendezett Ifjú Kutatók Nemzetközi Konferenciáján (ICYS) bronzérmet és különdíjat szerzett. A tavalyi fizika Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny (OKTV) 13., az idei 7. helyezetteje.



24. ábra. A palack sématisz mozgása a palackdobálás-játék közben.

Ennek oka, hogy a víz szétterjed a palackban, így megnöveli a rendszer tehetetlenségi nyomatékát, következőképp lecsökken a szögsebesség. E komplex folyamat leegyszerűsítése végett az alábbi modellt alkottuk meg (26. ábra): legyen a palack szélessége  $2a$ , magassága  $b$ , a bele töltött vízmagasság  $c$ . A vizet  $N$  (körülbelül 100 db) diszkrét vízszintes rétegre osztjuk fel. A rendszer tömegközéppontját a  $TKP$  pont jelölje!

Ha a koordináta-rendszert a  $TKP$  ponthoz rögzítjük és  $\omega$ -val forgatjuk, akkor a centrifugális erőnek köszönhetően valamennyi réteg tapasztalni fog egy origótól ellentétes irányba mutató gyorsulást, amelynek nagysága

$$\ddot{x} = (x - h_{TKP}) \omega^2, \quad (29)$$

ahol  $x$  a kijelölt réteg magassága a palack aljától,  $h_{TKP}$  a tömegközéppont magassága a palack aljától és  $\omega$  a pillanatnyi szögsebesség. A modellben a rétegeket úgy fogtam fel, mintha sűrűdés nélkül mozgó dugattyúk lennének.

A tömegközéppont magassága a rendszerben lévő tömegek súlyozott átlagaként kapható meg:

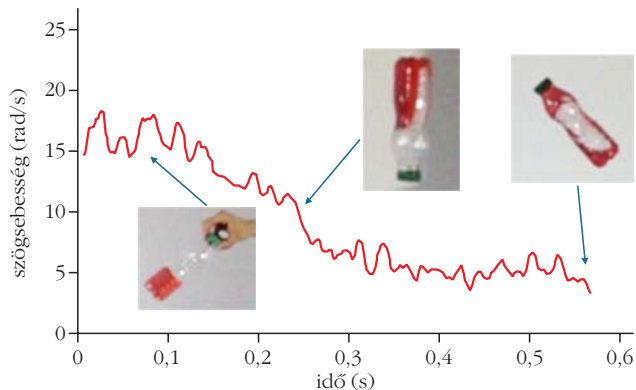
$$h_{TKP} = \frac{M h_{TKP0} + \sum_{i=1}^n m_i x_i}{M + m}. \quad (30)$$

Ahol  $M$  az üres palack tömege,  $h_{TKP0}$  az üres palack tömegközéppontjának magassága,  $m_i$  és  $x_i$  az  $i$ -ik vízréteg tömege és magassága,  $m$  pedig az összes víz tömege.

A szögsebesség időfüggésének meghatározásához az impulzusmomentum-megmaradás tételét hívjuk segítségül:

$$\omega_0 \theta_0 = \omega \theta, \quad (31)$$

ahol  $\omega_0$  a kezdeti szögsebesség,  $\theta_0$  a kezdeti tehetetlenségi nyomaték a  $TKP$  körül,  $\omega$  és  $\theta$  pedig a szögsebesség és tehetetlenségi nyomaték egy későbbi időpillanatban.



25. ábra. A palack szögsebessége az idő függvényében. A kis képek mutatják a folyadék elrendeződését a különböző fázisokban.

A rendszer tehetetlenségi nyomatéka a  $TKP$  körül az üres palack és az egyes rétegek tehetetlenségi nyomatékának összege:

$$\theta = \theta_{\text{palack}} + M(h_{TKP} - H_{TKP0})^2 + \sum_{i=1}^N \frac{1}{4} m a^2 + \frac{1}{12} m \left(\frac{c}{N}\right)^2 + m(x_i - h_{TKP})^2. \quad (32)$$

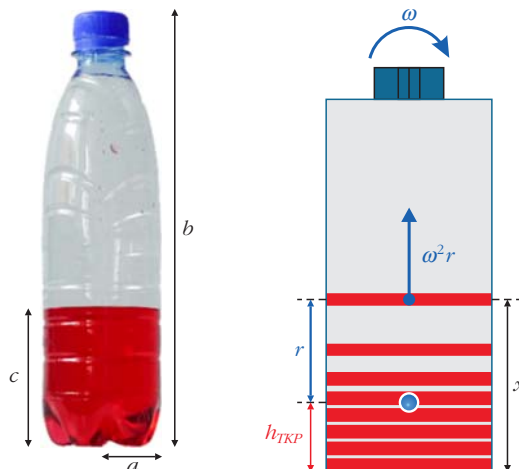
Ahol  $\theta_{\text{palack}}$  az üres palack tehetetlenségi nyomatéka az tömegközéppontja körül.

A (29)–(32) egyenleteket felhasználva megkapjuk a kiválasztott réteg gyorsulását adott vízréteg-elrendeződés esetén. Következő lépésként egy programot írtunk, amely kiszámolta minden réteg gyorsulását, és az Euler-módszer alapján a palack szögsebességének időfüggését is megadta (27. ábra)

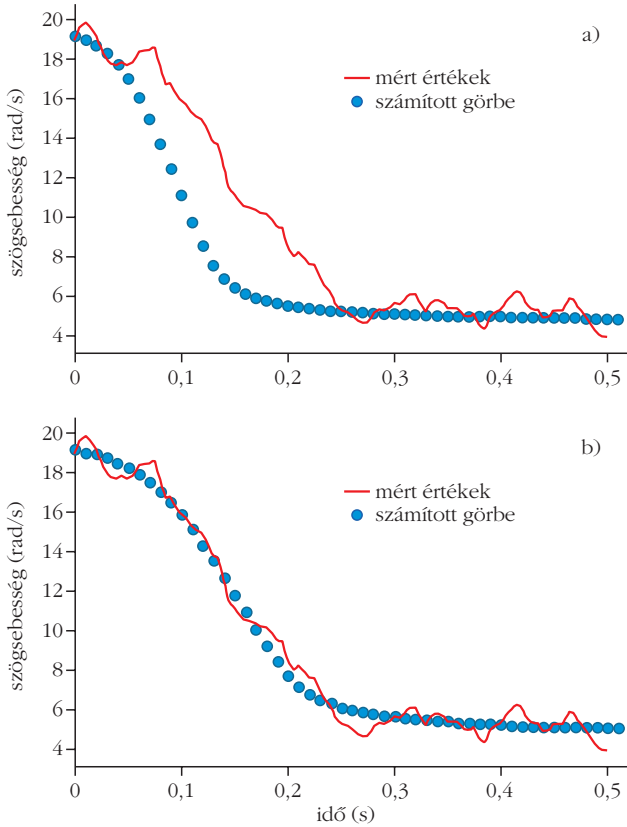
Ez már egészen jó kvalitatív egyezést mutat a mérési eredményekkel, azonban a még jobb, kvantitatív eredmény eléréséért egy empirikus, mértékegység nélküli konstans vezetünk be a (29) egyenletbe.

$$\ddot{x} = C(x - h_{TKP}) \omega^2. \quad (33)$$

26. ábra. (a) A palack méretének jelölései. (b) A számításoknál használt modell.





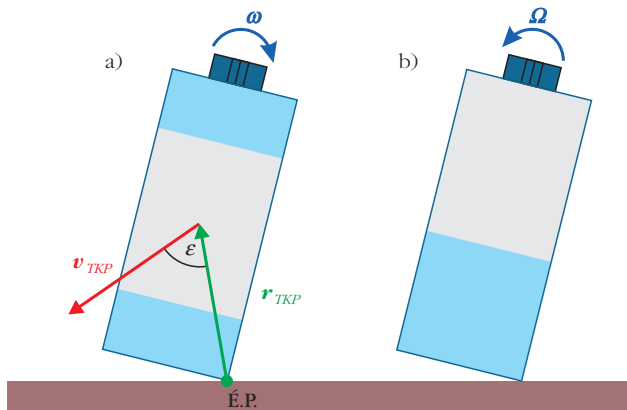


27. ábra. A mért (folytonos vonal) és számolt (pontok) szögsebesség az idő függvényében (a) korrekció előtt és (b) után.

Ennek oka az, hogy a víz nem teljesen úgy rendeződik át, mint ahogy azt modellünk feltételezi. A víz a palack falához nyomódik, a fallal viszkozusan sűrűlódik, ezért és egyéb keveredési jelenségek miatt a víz lassabban rendeződik át.  $C$  paraméter helyes megválasztásával jól illeszkedő eredményeket kapunk (27.b ábra).

Kísérleteink alapján azt kaptuk, hogy a  $C$  paraméter csak a palacktól függő állandó. A 28. ábrán az általunk használt palackok és alattuk a hozzájuk tartozó  $C$  konstansok szerepelnek. Látható, hogy minél vékonyabb a palack,  $C$  értéke annál kisebb, hiszen annál jobban akadályozza a víz átrendeződését.

29. ábra. A palack mozgása (a) ütközés előtt és (b) ütközés után. Az ábra mutatja az elméletben használt jelöléseket is.



28. ábra. A kísérleteinkben használt palackok és a  $C$  paraméter értékei.

A probléma második fontos része a talajjal való ütközés. A kísérletet elvégezve észrevehetjük, hogy a palack (ha nincs teljesen tele, vagy nem teljesen üres) nem pattan vissza földről. Ennek megfelelően az ütközést tökéletesen rugalmatlannak tekintettük. Érdeemes kihangsúlyozni, hogy ez csak a részben töltött palackok esetén áll fenn, hisz a víz energiát nyel el az ütközéskor. Kísérleteink alapján feltevésünk a palack 10%-os és 90%-os töltöttsége között helytálló.

Tegyük fel, hogy a palack  $v_{TKP}$  translációs és  $\omega$  rotációs sebességgel ér földet (29. ábra).

Ütközéskor a víz lecsapódik a flakon aljára, majd az érintkezési pont körül  $\Omega$  szögsebességgel forogni kezd. Az  $\acute{E}P$  érintkezési pont körül felírható a impulzusmomentum-megmaradás tétele:

$$N_{előtte} = N_{utána} \quad (34)$$

$$N_{transzláció} + N_{rotáció} = I_{\acute{E}P} \Omega, \quad (35)$$

$$\mathbf{r}_{TKP} \times (M + m) \mathbf{v}_{TKP} + \theta_{TKP} \omega = \theta_{\acute{E}P} \Omega, \quad (36)$$

ahol  $\mathbf{r}_{TKP}$  az  $\acute{E}P$ -ből a  $TKP$ -ba mutató vektor,  $\theta_{TKP}$  a rendszer tehetetlenségi nyomatéka a  $TKP$ , és  $\theta_{\acute{E}P}$  a rendszer tehetetlenségi nyomatéka az érintési pont körül.

Az ütközés utáni szögsebességre átrendezve:

$$\Omega = \frac{\mathbf{r}_{TKP} \times (M + m) \mathbf{v}_{TKP} + \theta_{TKP} \omega}{\theta_{\acute{E}P}}. \quad (37)$$

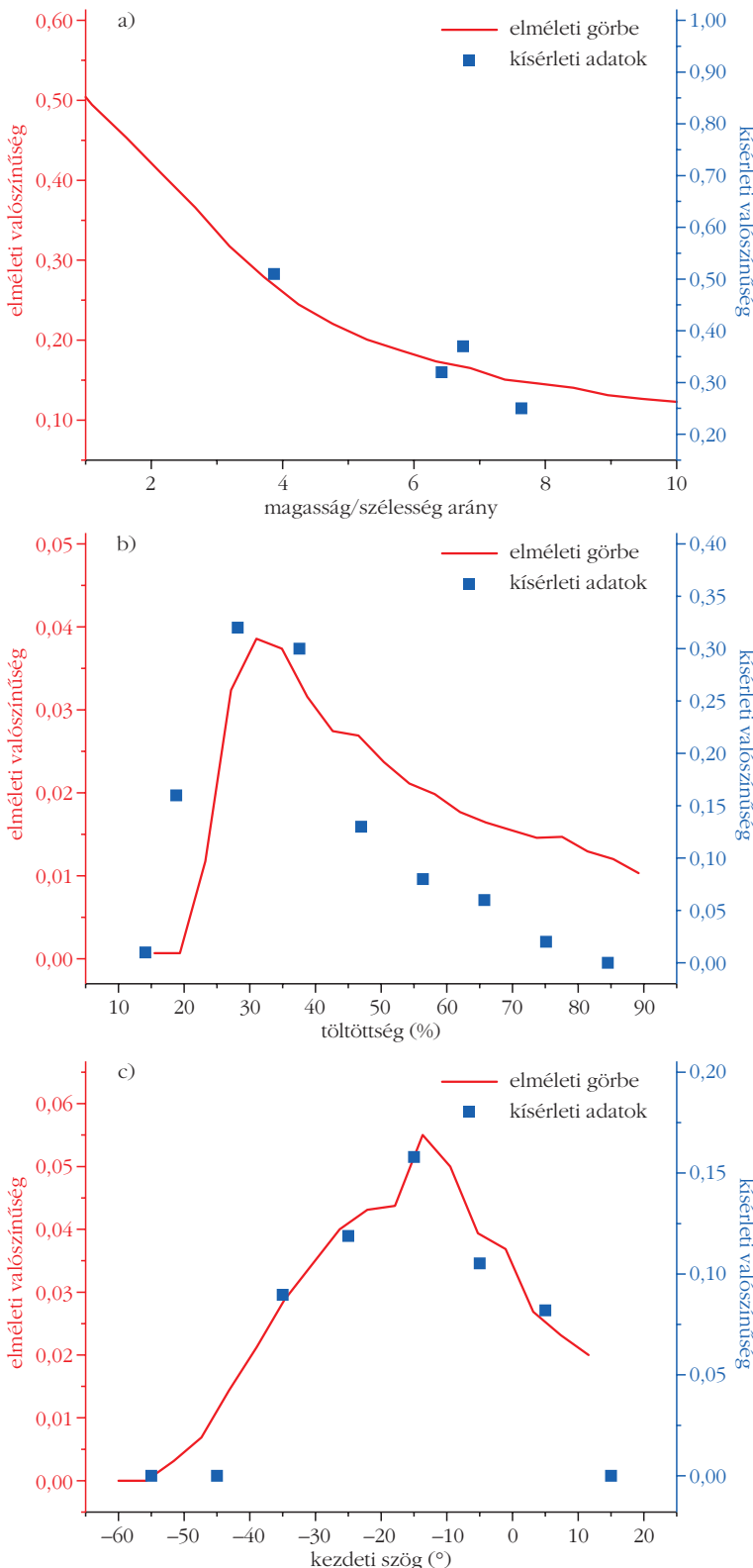
Különböző esetek léteznek attól függően, hogy a palack milyen szögben ér földet. Ha a  $TKP$  a talpa felé esik, és ha nincs túl nagy forgási energiája, akkor talpon is marad. Ha a  $TKP$  nem esik a talpa felé, de eleghően nagy forgási energiával rendelkezik, a talpra állhat a palack. Az első esetre a feltétel (a második esetben fordulna a reláció):

$$\frac{1}{2} \theta_{\acute{E}P} \Omega^2 < \frac{1}{2} (M + m) \Delta h, \quad (38)$$

$$\Omega < \sqrt{\frac{(M+m)g}{\theta_{\acute{E}P}}} \sqrt{a^2 + \left(\frac{c}{2}\right)^2 [1 - \cos(\varphi' - \alpha_1)]}. \quad (39)$$

Ahol  $\varphi'$  és  $\alpha_1$  a leérkezési szög és a palack paramétereinek függvénye. Ezek alapján, ha ismerjük a földet érés paramétereit (szögsebesség, leérkezés szöge, translációs sebesség stb.), akkor el tudjuk dönteni megáll-e a lábán vagy sem.

30. ábra. A sikeres dobások valószínűsége különböző paraméterek mellett, elmélet és kísérlet.



Az elméleti végeredmény meghatározásához a fent leírt modellt egy Python programmal számítottuk ki, amely a kezdeti paraméterek alapján kiszámolta a palack mozgását a levegőben, valamint az ütközés után. Ezek alapján eldöntötte, hogy a dobás sikeres vagy sikertelen lesz, azaz a palack talpon marad vagy sem.

Elméleti modellünk pontosságát több száz felvételt kiemelezve határoztuk meg. Azt tapasztaltuk, hogy 92%-os pontossággal egy sikeres dobást sikeresnek és egy sikertelen dobást valóban sikertelennek jósolt a program.

A feladatunk az volt, hogy a vizsgálatunk alapján határozzuk meg azokat a paramétereket, amelyek növelik a sikeres dobás valószínűségét.

A 30. ábra eredményeink közül mutat be néhányat. A grafikonokon a pontok a kísérleti eredményeket – amelyek mindegyike 100 dobásból megállapított valószínűséget jelent – jelölik. Különböző magasság-szélesség arányú palackokkal dobva (30.a ábra) intuícióinkkal megegyező trendet figyeltünk meg, nevezetesen, hogy minél laposabb a palack, annál valószínűbb a sikeres dobás. Érdekesebb, hogy a tapasztalat és az elméleti jóslás is azt mutatja, hogy a valószínűségnek a töltöttség függvényében – körülbelül az 1/3-ig töltött palacknál – maximuma van (30.b ábra). Végül a palack elengedési szögében is találtunk kedvező értéket (30.c ábra), a vízszintesnél körülbelül 15°-kal lejjebb. Láthatóan ugyanaz a trend figyelhető meg a mért és elméleti értékek között, amely igazolja a modellünk helyességét.

Összefoglalva néhány javaslat a sikerebb dobások eléréséhez:

1. Minél laposabb a palack, annál jobb!
2. Körülbelül 1/3-ig töltsük meg a palackot vízzel!
3. Lendítéskor kicsit a vízszintes előtt engedjük el a palackot (–15°)!

Gyulai Márton

#### Irodalom

6. N. Tesla: *Valvular conduit*. U.S. Patent No. 1,329,559, 1920.
7. R. L. Bardell: *The Diodicity Mechanism of Tesla-type No-Moving-Parts Valves*. PhD dissertation, Univ. of Washington, 2000.
8. [https://en.wikipedia.org/wiki/Reynolds\\_number](https://en.wikipedia.org/wiki/Reynolds_number)
9. M. Vavrik: Tesla-szelep visszafelé folyás – videó, <https://goo.gl/RZST4w>
10. Lassított videófelvétel a palackdobás („Bottle flip”) mutatványról: <https://youtu.be/jP0wcQQKz-0>

# FOGÁSZATI RÖNTGENFILMEK A FIZIKÁBAN – 3. rész

## Természetes radioaktivitás: K-40, háttér és Rn-222

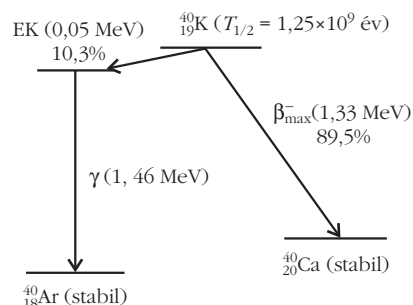
Fülöp László, Brázai Gergő

BMSZC Trefort Ágoston Két Tanítási Nyelvű Szakgimnáziuma

Kocsonya András

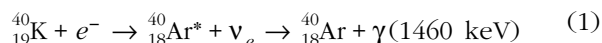
MTA Energiatudományi Kutatóközpont

Közismert, hogy a közvetlen környezetünkben előforduló, spontán sugárzó radioaktív anyagok között – a légkörben jelenlévő radon és bomlástermékei mellett – 40-es tömegszámú izotópjával kiemelt helyen szerepel a kálium [1, 2]. A sokféle vegyületben, talajban és az emberi szervezetben is megtalálható kálium 0,0117%-át képezi a természet kuriózumaként is emlegetett K-40 izotóp [3]. A milliárd éves felezési idejével, az alfa-bomló, nagy tömegszámú urán és tórium mellett, valóban különleges a mindhárom béta-bomlásra képes K-40 atommag. Tankönyveken túl, az oktatási vagy ismeretterjesztési céllal készült internetes oldalakon, az elektronbefogás [4], pozitron [5] vagy béta-részecskék emissziójára [6] vonatkozóan a K-40 a legjobb példa, és természetesen, megtalálható az izotóp részletes leírása is [7, 8]. A káliumvegyületek közül elsősorban a káliumklorid (KCl) – közismertebb nevén a kálisó – érdemel figyelmet, mint egyszerű, tantermi demonstrációs kísérletekhez (GM-csőhöz) ajánlott természetes sugárforrás [9]. Számunkra, a fogászati röntgenfilmjeinkkel elkezdett kísérletsorozatunkhoz is kiváló kísérleti anyag [10, 11]. Mivel ezidáig kizárólag csak mesterséges izotópokat helyeztünk a filmekre, ahol egytől egyig a gamma-sugárzás okozta feketedéseket vizsgáltuk, eleve izgalmasabb-

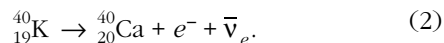


1. ábra. A K-40 egyszerűsített bomlási sémája.

nak ígérkezett a kálium kínálta vegyes, gamma- és béta-sugárzás (1. ábra) „filmésítése”. Az 1. ábrán nem tüntettük fel a 0,001% és a 0,2%-os valószínűségű átmeneteket, és a továbbiakban a jelen tanulmány tárgykörétől távol álló részletek nélkül vizsgáljuk a K-elektronhéjról történő elektronbefogással járó gamma-sugárzást



és a nagyobb valószínűségű klasszikus béta-bomlást



Mint minden béta-sugárzásnál, az atommagból származó elektronok spektruma nullától a végponti energiáig (jelen esetben 1,33 MeV-ig) folytonos, a nagyobb számú béták energiája a végponti érték harmada körül jelentkezik, az összenergiában osztozva az antineutrínó energiájával. A közvetlenül a filmekre helyezett káliumtartalmú anyagok okozta feketedések nagyobb részét a béta-részecskéktől, kevesebb hozzájárulással az 1. ábra (1) átmenet szerinti 1,46 MeV-es gamma-sugaraktól származnak. Kísérleteink igencsak időigényesek – hónapokig tartjuk a vegyületeket filmjeinken –, az eredmény viszont annál látványosabb, és mint szugesztív szemléltető eszközt, a táblavázla-

Az Energiatudományi Kutatóközpontból köszönettel tartozunk *Lakosi Lászlónak* a hasznos észrevételeiért. A kézirat gyors szerkesztését *Luczek Zsuzsának* köszönjük.



*Fülöp László* harmincöt éves pályafutásából huszonegy évet a kispesti, egykori nevén a Trefort Ágoston Kéttannyelvű Szakgimnáziumban tanított. 2001-ben tehetségdíjjal jutalmazták.

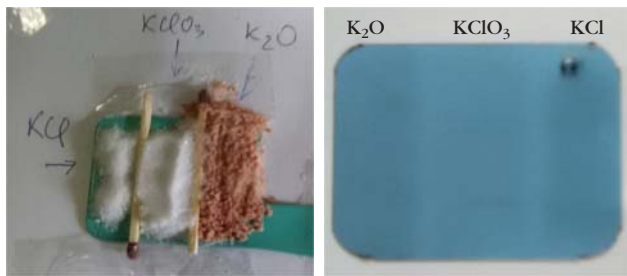


*Brázai Gergő* a BMSZC Trefort Ágoston Két Tanítási Nyelvű Szakgimnáziumának 10. osztályos tanulója. Atomfizikát önszorgalomból az interneten (*SchoolPhysics*) tanulmányozott, majd bekapcsolódott a röntgenfilmek feketedésmérésébe.



*Kocsonya András* fizikusként végzett az ELTE-n, majd ugyanott PhD fokozatot szerzett 2007-ben. Egyetemistaként kezdett a KFKI-ban a részecskefizikánál dolgozni, ahol 15 évet töltött el az ionsugaras analitika, röntgenemissziós spektroszkópia területén. Az elmúlt évtizedben elsősorban gamma-spektroszkópiával foglalkozik a sugárvédelem, környezetellenőrzés és a nukleáris anyagok biztosítéki felügyelete területén.





2. ábra. Káliumklorid (KCl), káliumklorát (KClO<sub>3</sub>) és vöröskáli (K<sub>2</sub>O műtrágya) a filmtasakon és feketedések a röntgenfilmen egy hónap alatt.

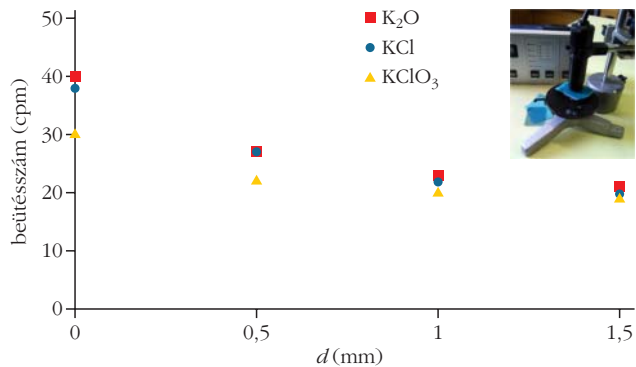
tok mellett bármikor felhasználhatjuk. Ugyancsak szemléltető eszközöknek szánjuk és/vagy szakköri kiegészítő segédanyagként kezeljük a félvezető detektorral fölvetett K-40, háttér és egy szűrt levegőminta gamma-spektrumait.

Dolgozatunk mondanivalóit két csokorba gyűjtöttük. Az első részben különböző káliumtartalmú vegyületek feketedéseit vizsgáljuk, és megpróbáljuk a gamma-sugarakat leválasztani a vegyes, gamma- és béta-sugárzástól. Érintőlegesen megemlítünk néhány tudománytörténeti érdekességet a kálium radioaktivitásával kapcsolatosan. A második részben egy szűrt levegőminta gamma-spektrumán keresztül mutatjuk be a radon bomlástermékeit. A kísérletet itt is kiegészítjük röntgenfilmes és GM-csőes méréssel, és mintegy kitekintésként, a gamma-spektrum elemzésével, föl hívjuk a figyelmet olyan látszólag eltérő jelenségek közötti kapcsolatra, mint a radioaktivitás és a karakterisztikus röntgensugárzás.

## Kálium 40 és háttérsugárzás

Első kísérletünk a 2. ábrán látható. A filmre káliumklorid, káliumklorát és vöröskáli került. A vöröskáliat a szakzsargonban K<sub>2</sub>O műtrágyának aposztrofálják és az egyszerűség kedvéért mi is így használjuk, megjegyezve, hogy a „műtrágya” tulajdonképpen egy természetes, bányászott termék (származási helye Fehéroroszország), és a képlet a káliumtartalomra (60% K<sub>2</sub>O vagy 90% KCl) és nem a vegyi összetételre utal [12]. A 2. ábrán látható elrendezéshez hasonlóan, a KCl és KClO<sub>3</sub> mellett, sokféle variációban, különböző káliumtartalmú vegyületekkel (KMnO<sub>4</sub>, KBr, KNO<sub>3</sub>) is feketítettünk. Többszöri és amennyire csak lehetett pontos vizsgálatok tárgyát képezte – alább részletezendő okok miatt – a KCl és a K<sub>2</sub>O feketedéseinek mérése külön-külön és egymás mellett a filmekben. Kíváncsiságból és a látvány kedvéért, káliumtartalmú gyógyszereket (Kálium-R, Panangin), továbbá 15%-os káliumtartalmú műtrágyát (N-P-K 15-15-15) is vizsgáltunk. Mindezekről a képeket föl tettük szertárunk Facebook-oldalának *Káliumshow* albumjába [13].

Jelen írásunkban olyan mérhető és összehasonlítható eredmények feldolgozásával foglalkozunk, mint a 2. ábrán látható feketedések mérése, az előző publikációban részletezett leírás alapján [11]. Ezzel párhu-



3. ábra. A káliumvegyületek GM-csővel mért beütésszámjai, különböző vastagságú plastiklemezekkel takarva.

zamosan, az eredményeket összevetjük a 3. ábrán látható GM-csőes mérés grafikonjáról vett néhány ponttal. Kis elméleti bevezetésként, a fajlagos aktivitásokra vonatkozó numerikus számításokkal kezdünk.

Az ismert módon kiszámítjuk 1 g KCl és KClO<sub>3</sub> aktivitását

$$A = \lambda N = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \frac{m}{M} N_A.$$

A megfelelő moláris tömegeket, felezési időt, az Avogadro-számot behelyettesítve és figyelembe véve a 0,0117%-os K-40 tartalmat a számított értékek arányai, valamint a 2. ábrán látható feketedések méréséből származó arányok az alábbiak:

$$\frac{A_{\text{KCl}}}{A_{\text{KClO}_3}} = \frac{15,24 \text{ Bq}}{9,16 \text{ Bq}} = 1,66, \quad (3)$$

$$\frac{S_{\text{KCl}}}{S_{\text{KClO}_3}} = \frac{0,13}{0,08} = 1,62.$$

A jónak mondható egyezés ellenére, további kérdéseket a K<sub>2</sub>O-val kapcsolatos anomáliák vetettek fel. A vöröskáli és a kálisó feketedésének mértéke ugyanakkora (és nem csak ennél az egy mérésnél), holott pusztán a 90%-os KCl tartalomból eredő aktivitásból a K<sub>2</sub>O-nak valamivel halványabbnak kellene lennie. Ráadásul, többszöri és különféle képpen végzett GM-csőes mérésnél, mindig nagyobb aktivitás mutatkozik a K<sub>2</sub>O-nál, mint a KCl-nál. Csak egy példa a 3. ábrán látható összeállítás eredménye. Itt egy kis tálkába azonos mennyiségű apróra tört káliumos vegyületeket töltöttünk, a GM-csővet 2 mm-re állítva a tálka fölé, mértük a percenkénti beütésszámokat. Utána négy darab, a 0,25 mm-es filmtasakból kivágott lágy plastikot, és két, szintén 0,25 mm-es keményebb műanyagot (előhívott filmet) kombinálva abszorbensként, 0,5 mm-es lépésekben letakarva a vegyületeket, megismételtük a méréseket. Mindegyik mérésnél 20 cpm átlagát tettük föl a grafikonra. Eredeti szándékunk szerinti célunk az volt, hogy a béta-részecskék elnyelésével kvalitatív módon képzeljük el egy folytonos spektrumot a kisebb, átlagos és a kevés nagyobb energiájú béta-részecskeszámmal. Ettől eltérő jellegű kvantitatív eredményeket a be-

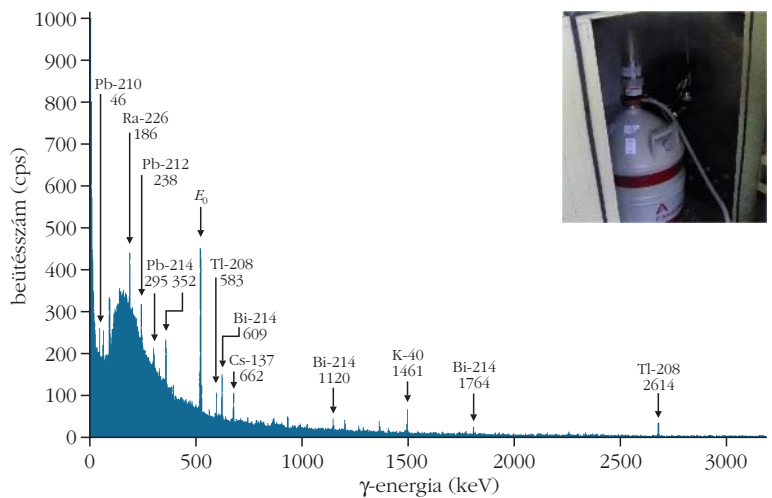
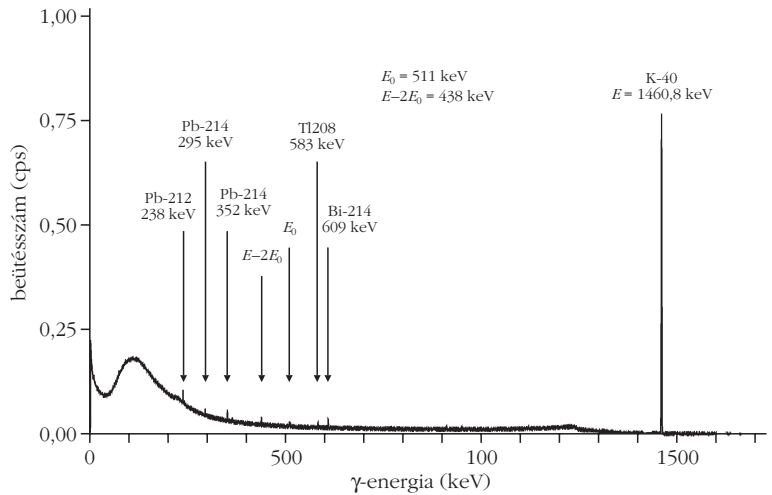
ütésszámok összehasonlításából kaphatunk. Kezdetben a sima ( $d = 0$ ) felületekhez tartozó impulzusszámok arányai – a 18 cpm háttér levonása után – a káliumklorid és káliumklorát esetében kiváló egyezést adnak a (3) arányok számértékeivel

$$\frac{N_{\text{KCl}}}{N_{\text{KClO}_3}} = \frac{38-18}{30-18} = 1,66. \quad (4)$$

A  $\text{K}_2\text{O}$ -ra vonatkozó beütésszámok viszont mindig nagyobbak (egyszeri esetben éppen azonosak), a KCl-nál mértnél. Ezért, és a feketedéseknél tapasztaltak miatt a vöröskáli gamma-spektroszkópiai vizsgálatnak vetettük alá (4. ábra). A spektrumot Canberra BE2825 típusú HGe detektorral vettük fel. A háttér levonása után, a spektrumban a prominens káliumvonal mellett fölfedezhető, ha csak nyomaiban is, az urán–rádium és a tórium bomlási sorozatok [14] két-két reprezentánsa (Pb-214, Bi-214 és Pb-212, Tl-208), mint természetes szennyeződés. Mivel az úgynevezett műtrágya tulajdonképpen egy természetes kőzet, az eredmény nem hat a meglepetés erejével. Ha a Pb-, Bi-, Tl-izotópok béta-, valamint a gamma-sugárzás detektálása szempontjából „láthatatlan” Po-izotópok alfa-sugarait is figyelembe vesszük [15], úgy nyilvánvaló, hogy a vöröskáli aktivitása, ha kis mértékben is, de meghaladhatja a KCl-ét, amint az GM-csővel egyértelműen kimutatható.

A 4. ábra spektrumát érdemes a háttér-spektrummal (5. ábra) egyszerre vizsgálni, ahol a K-40 mint természetes háttérvonal jelentkezik. (A spektrumon az izotópok szimbólumai alá az energiákat írtuk keV-ben. A bomlásformák és a vele járó gamma-energiák felkutatásához a [15] megfelelő izotópokra vonatkozó részét, vagy ugyanígy a sokkal részletesebb [8] hivatkozást is használhatjuk.) A 6. ábrán az urán–rádium sorozat Ra-226 utáni részét szemléltetjük. Bejelöltük a bomlásformákat és a felezési időket, a gamma-sugárzás – ha van – energiája az 5. ábrán látható vonalaknál szerepelnek. Egy 1917-es kiadású könyv [16] alapján az izotópokhoz a történelmi elnevezésüket is kiírtuk, a korabeli ismereteknek megfelelően egy kérdőjellel a végén.

A Pb-210 46 keV-es gamma-sugárzása az első éles vonal a spektrumon. Mellette a 63 keV és a 93 keV-es általunk nem jelölt vonalak, a bomlási sor elejéről a Th-234-től származnak. A Bi-214-nek több gamma-kibocsátása is van (és egy a fenti sorban nem jelzett 0,03%-os alfa-elágazása), a részletes energiadiagram az átmenetekkel nyolc oldalra rúg a [8] megfelelő ré-

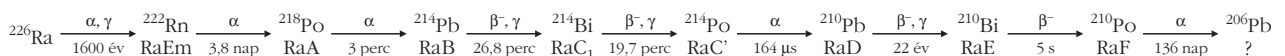


5. ábra. Háttérsugárzás gamma-spektruma a Canberra detektorral.

szében. Az 5. ábra spektrumán a Pb-214 és a Bi-214 legnagyobb valószínűségű vonalait nyilaztuk be. Bejelöltük még a Ra-226-ot, a 186 keV-es gamma-vonallal és a tórium-sorozatból a Pb-212-t és a Tl-208-at. Mindezekon kívül fontosnak tartjuk megemlíteni, hogy a spektrumban a természetes izotópok mellett megjelenik a 30 éves felezési idejű Cs-137 mesterséges izotóp a maga 662 keV-es vonalával. A Cs-137 1945, a kísérleti és egyéb atomrobbantások kezdetétől az egész Földön – mifelénk legfőképpen az 1986-os csernobili atomkatasztrófa maradványaként – előfordul. Megfelelően érzékeny detektorral a talaj legfelsőbb rétegeiben 20-30 cm mélységig, valamint a légkörben is kimutatható [17, 18], de például egy mélyen a földből bányászott vöröskáli spektrumában a Bi-214 609 keV-es vonala mellett (4. ábra) nem jelentkezik a 662 keV-es Cs-vonal.

Az említett 1917-es kiadású könyvből, mint a radioaktív hőskor kiváló összefoglalójából, emeljünk ki

6. ábra. A rádium 226 bomlási sora.





7. ábra. Két film között egy használt film, rajtuk a  $K_2O$  és a filmekken megjelenő feketedések 104 nap után.

egy mondatot a káliumra vonatkozóan: „Már 1905-ben kimutatta Thomson J. J., hogy a kálium és rubidium igen gyenge sugárzó tehetséget mutatnak.” A szerző egy későbbi, 1925-ös kiadású, a nagyközönségnek szánt népszerűsítő könyvében [19] így folytatja: „Igaz, hogy a sugárzótehetségük csak nehezen észlelhető, igen gyenge, azonban a legkülönbözőbb helyekről beszerzett kálium vagy rubidium tartalmú anyagoknál is mindig ugyanakkora, tehát az aktivitás, nyilvánvalóan a káliumhoz és rubidiumhoz kötött jelenség és nem valamely hozzájuk keveredett szennyezés eredménye. A kálium is és a rubidium is igen lágy  $\beta$ -sugarakat lövelnek ki. ... Látható tehát, hogy a kálium és rubidium aktivitása egészen jól tanulmányozható jelenség, érdekes azonban, hogy bomlástermékeiket ezideig nem sikerült megtalálni és így még kérdéses, hogy sugárzásuk tényleg atombomlással járó radioaktív jelenség-e.”

A bevezető sorainkban írtak a K-40-ről az (1) és (2) átmenetekkel, jóval 1925 után született eredmények feldolgozásai. Az 1930-as évek elejéhez tartozik a Pauli neutrínóhipotézisére alapozott Fermi-elmélet a béta-bomlásról. A K-elektronhéjról történő befogás kísérleti bizonyossága (1937) Luis Alvarez nevéhez fűződik [4]. A kálium 40-es tömegszámú izotópjának azonosítása szintén a 30-as évek végéhez köthető. Ha az atommag elnyel egy elektront a K-héjról, úgy a kvantumosság arra tanított, hogy a K-héj üres elektronhelyét kötelező betölteni az L-héjről, ami karakterisztikus röntgensugárzást von maga után (K-40 esetében 3 keV-es  $ArK\alpha_1$ , vagy helyette Auger-elektronok távoznak az L-héjről [4, 8]). Ezen jelenségek részletes vizsgálata az 1940-es évek végéről, a pontosabb mérések és további bővebb adatok gyűjtése különféle izotópokra az 1960-as évektől eredeztethető, a rohamos tempóban fejlődő félvezető-technológiának köszönhetően. Ma már az izotópok azonosítására legfőképpen a gamma-spektroszkópia használatos [2]. Az 1910-es években a gamma-sugarakat még körülményesen detektálták, és csak sejtették a monoenergiás (vonalas) jellegüket, közeli rokonságot feltételezve a karakterisztikus röntgensugarak K és L vonalaival, Barkla (1911) és Moseley (1913) nyomán [16]. Az 1930-as évek elejétől ismert a pozitron létezése [5]. A spektrumokban megjelenő  $E_0$  és a 4. ábrán megjelölt

$E - 2E_0$  energiák az 1,02 MeV-nél nagyobb energiájú gamma-fotonok elektron-positron párkeltésével és annihilációjával kapcsolatosak, de részletesebb elemzésekbe nem bocsátkozunk. A filmes kísérleteinkre való tekintettel inkább Thomson eredeti, 1905-ös cikkét (*On the Emission of Negative Corpuscles by the Alkali Metals* – megtalálható a [20]-ban jelzett internetes hivatkozásban) vizsgáljuk meg alaposabban. Tudván, hogy 1900-ban Becquerel, Thomson katódsugaras  $e/m$  módszerét alkalmazva mutatta ki, hogy a béta-részecskék tulajdonképpen elektronok [6], elsősorban Thomson mérési módszerére voltunk kíváncsiak. (Másodsorban, a cikk érdekes fejtegetéseket tartalmaz a még atommag nélkül elképzelt atomról.) Thomson használta ugyan Becquerel fényképező lemezeit, de csak kimutatandó, hogy a K-Na vegyület sugárzása nem fotoelektronos hatásból származik. (A halvány külső fény, amennyiben nem feketíti meg a lemezt 48 óra alatt, akkor fotoelektronokat sem indukálhat – érvelt Thomson.) A K-Na minta fölötti érzékeny elektroszkóp jelzi a sugárzást, és egy, a minta fölött keresztbe alkalmazott mágneses tér a sugárjelzést megszünteti.

A továbbiakban, a röntgenfilmek kínálta lehetőségekkel élve, kétféleképpen próbáljuk meg elkülöníteni tisztán a gamma-sugarakat a vegyes, béta- és gamma-sugárzástól.  $K_2O$ -val dolgozunk, mert aktivitása valamivel nagyobb a KCl-énál. A 3. ábra  $d = 1,5$  mm, majdnem teljesen elnyelő rétegvastagságra irányítva figyelmünket, kialakítottuk a 7. ábrán látható filmszendvicset, ahol a két tasakos film közé egy már előhívott, használt filmet helyeztünk. Mivel a filmek egyik oldalának felén duplán szerepel a 0,25 mm-es borító, úgy számolhatunk, hogy az alsó film fölötti anyagok (két film + borítók + vékony levegőréteg) vastagsága körülbelül 2 mm. Ez nagyjából megfelel a 3. ábrán a  $K_2O$  fölötti GM-cső 2 mm-es ( $d = 1,5$  mm plasztik + levegő) beállításának. A felső film egyik felére az eredeti formájában megtartott darabos, a másik felére apróra zúzott vöröskálit szórtunk, majd 104 napig a filmekben tartottuk. Előhívás után a felső film egyik részén megszámlálhatók az eredeti közetdarabok nyomai, a másik részén meg kiválóan mérhető az egyenletes feketedés. Az alsó filmen csak halványan, de látszik a gyenge feketedés. Összehasonlítva a felső és az alsó filmek  $S$  feketedéseinek arányát a GM-csőves mérés grafikonjáról a 0 és 1,5 mm-es távolságoknál látható  $N$  beütésszámok arányával, valami jelzésértékűnek mondható egyezést találunk:

$$\frac{N_0}{N_{1,5}} = \frac{40 - 18}{21 - 18} = 7,33; \quad \frac{S_F}{S_A} = \frac{0,41}{0,07} = 5,85.$$

Mindkét arány arra utal, hogy valamilyen részecskék hatolnak át a „filmszendvicsten”. Nem tévedhetünk nagyot, ha kijelentjük, hogy míg a felső filmen a béta-részecskék a gammákkal együtt okozzák a feketedést, addig az



alsó filmen már lényegében a nagyobb áthatoló képességű gamma-fotonok.

Egyik következő próbálkozásunkban mágneses térrel igyekeztünk leválasztani a  $\gamma$ -fotonokat a  $\beta$ -részecskéktől. Mágneses filmhasábot készítettünk a 8. ábrán látható módon. Extra erősnek mondott neodímium mágnespárt – egymással párhuzamosan, ellentétes pólusokkal – helyeztünk el egymástól 2,8 cm-re, ezek alkották hasábnk két áttellenes oldallapjának egy-egy darabját. A másik két párhuzamos oldallap a 1,5 cm-re levő két film. A mágnesek és a filmek közé az alaplapra 0,8 cm vastagságban, darabos  $K_2O$  műtrágyát szórtunk. A hasáb fedőlapja, 4 cm-re a káliumtól, szintén egy film, a közepére ragasztott ólomdarabbal. (Az ábrán szaggatott vonallal jeleztük a káliumot és a fatartót lefedő részeket.) A kis aktivitás miatt a rendszeret hosszú ideig tartjuk ebben a helyzetben. A 8. ábrán látható eredmény 154 nap után jelentkezik. Szemmel látható az oldallapok feketedése közötti különbség, és a fedőlapon halványan kivehető az ólomdarab kontúrja. A két oldallapfilmen vegyesen vannak jelen a béta- és a gamma-nyomok, de a mágneses tér hatására a kálium felszínéhez közeli részen több béta-nyommal az egyik, mint a szemközti filmen. A borító filmen, a 4 cm-es levegőrétegen és a film tasakján is átjutó gamma-fotonok okozzák a halvány elszíneződést. Észrevehető még, hogy a filmek alsó részének (a filmjelző pontok alatti területeknek) is eltérő a feketedése. Itt egyenletesen azonos feketedésre számítottunk, de valószínűleg az erős mágneses tér az anyagon belül is érezteti hatását. Megfigyelhető az is, hogy a filmek mellé helyezett  $K_2O$  darabkák öt hónap alatt sem feketítenek annyira, mint közvetlenül a filmre helyezett darabok három hónap alatt (7. ábra). További kísérleteket végzünk ez irányban, és különböző neodímiummágnesekkel is dolgozunk más variációkban, de eredményekről – időigényessége miatt – csupán Facebook-látvány szinten is, csak később tudunk beszámolni.

## Radon 222

A radon az ötödik fölfedezett radioaktív elem volt az urán, tórium, rádium és a polónium után. Noha az irodalom hivatalosan, így az általunk használt *Négyjegyű függvénytáblázatok* is F. E. Dornt (1900) tartja felfedezőnek, a Wikipedia szerint E. Rutherford és munkatársa, R. B. Owens (1899) a tényleges felfedezők [1]. Rutherford és Owens az általuk emanációnak (később tóriumemanációnak) nevezett gázt, míg Dorn a rádiumemanációt mutatta ki. 1903-ban Debierne megtalálta az aktíniumemanációt. Kezdetben többféle elnevezés is használatban volt például toron, radon, aktinon (további részletek az [1]-ben), de ma már egy-

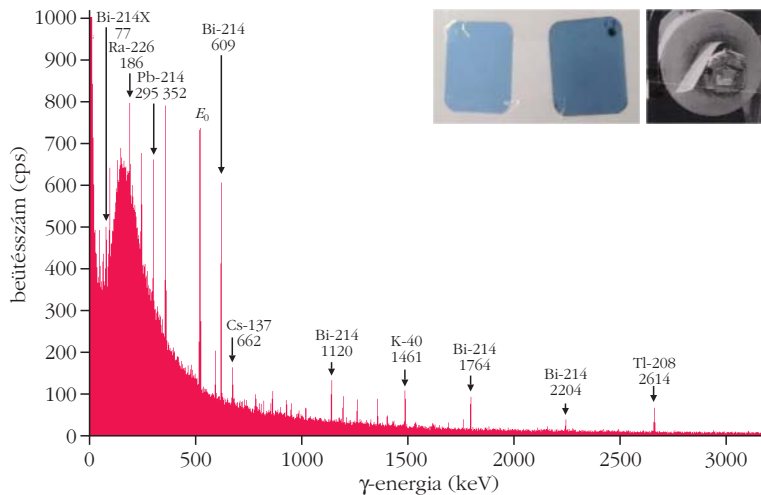


8. ábra. Mágneses filmhasáb és az öt hónap alatti feketedések a felső és az oldalsó filmekben. (Részletek a szövegben.)

segesen radonizotópokról (Rn-220, Rn-222 és Rn-219) beszélünk. Közülük a leghosszabb felezési idejű (3,8 nap) az Rn-222, és jelentőségének korai felismerését bizonyítandó, ismét következék egy idézet az 1917-es könyvből [16]: „Az adatokból nyilvánvaló, hogy a rádium földünkön mindenütt el van terjedve. Ezt mutatja egyébként, hogy megtaláljuk a közönséges talajban, gázalakú termékét, a rádium-emanációt, a talajvízben, a levegőben, és pedig aránylag nagyobb mennyiséget a levegőnek alsóbb rétegeiben, a barlangok és pinczék és a talajon át szívatott levegőben.”

Alább, egy „a talajon át szívatott levegővel” kapcsolatos 2017-es kísérletünket ismertetjük.

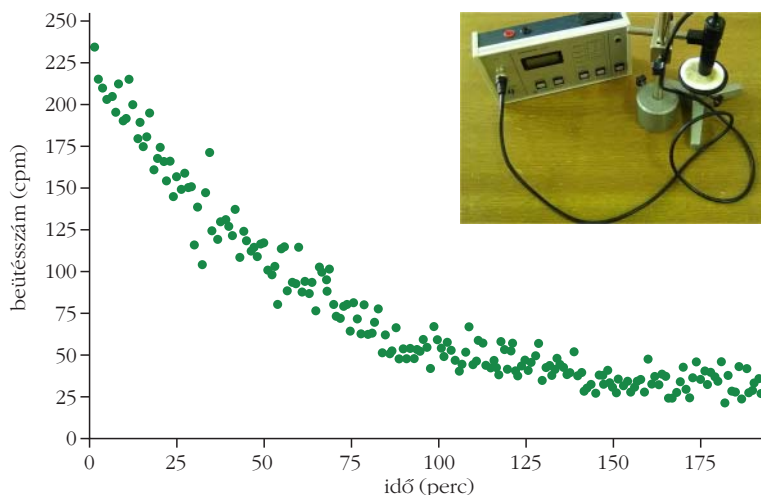
Az eredeti ötletet az iskolánk előtti tér nagyszabású rehabilitációs programja – szabadidős sportpályák, járdák, parkolók kialakítása – adta. A program kezdetén, az iskola falától kezdődően, közvetlenül a szertárunk ablakai alatt egy  $60 \times 80$  m<sup>2</sup> földterületet bontottak föl. Munkagépekkel és kézi szerszámokkal mélyen és hosszú ideig ásták a talajt. (Az építkezés fél éves föld-kavics-járdalap fázisairól készült képek megtekinthetők Facebook-oldalunk *Háttér* albumjában [13]). Hogy ne csak a zaj és a por meglétével szerezzünk tudomást az építkezésről, a szertár ablaka melletti asztalra egy légszivattyút – aerodinamikai kísérleteknél használatos levegőpumpát fordított (szívó) üzemmódban alkalmazva – állítottunk be. Légszűrő betétként használt rongyok és porózus műanyagfilterek közé röntgenfilmet helyeztünk (9. ábra). Április közepétől június közepéig a mindenkori szokásos szellőztetéssel – napi átlagban négy órát (szombatokat és vasárnapokat is beleértve) – jártattuk a légszivattyút. Olvasmányaink alapján reméltük, hogy a feltételezhetően megnövekedett radonkoncentráció miatt a filmtokra és a szűrőkre rakódó aeroszolok befeketítik a filmet. Két hónap elteltével,



9. ábra. Két hónap után, a filmes levegőszűrőről leszedett rongyok egy műanyag tasakban fölkerültek a detektorra. A spektrum itt látható. A film feketedése is jól kivehető egy fátólfilm mellett.

mérés nélkül is látható az előhívott film és egy fátólfilm közötti lényeges különbség (9. ábra). Az építkezésből származó radon járulékat nem tudjuk megállapítani, de gamma-spektroszkópiai vizsgálatból kiderül, hogy valóban a radon szilárd bomlástermékeiről van szó. A film körüli szűrőanyagok egy műanyag zacskóba helyezve fölkerültek a detektorra. (Közben eltelt másfél óra, hiszen a Canberra detektorok nem a szakgimnáziumi alapfelszerelések szekrényéből kerülnek elő.) A detektor a mintával közel 24 órát mért folyamatosan (a 4. ábrán látható háttérrel 16 órás „üresjáratú” detektorral vettük fel). Az eredmény a 9. ábrán látható. A háttérhez viszonyított, általunk vastagabb nyilakkal jelzett Pb-214 és Bi-214 vonalakat érdemes arányaiban nézni a mellettük lévő vonalakkal. A radonnal és az aeroszolokhoz tapadó szilárd bomlástermékeivel sokszor találkozunk olvasmányainkban anélkül, hogy bármilyen szemléletes, kísérleti evidenciát is találnánk mellékelve. Úgy gondoljuk, hogy demonstrációs mérésünknel a spektrum, összehasonlítva a háttérrel, eléggé meggyőző,

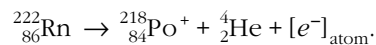
10. ábra. Húsz perc alatt gyűjtött levegőminta aktivitásának mérése GM-csővel. A folyamatosan mért percnkénti beütésszámokat ábrázoltuk az idő függvényében.



és szemléltető eszközként kiválóan felhasználható a röntgenfilmek mellett. Számunkra, mint lelkes röntgenkísérletezőkre – akik egy hatvan éves kislélesi csővel próbálkozunk a diffrakciós foltokban karakterisztikus röntgensugarat találni [11] – élményszámba megy, hogy a levegőből szűrte, holmi kacat rongydarabokon felfogott porszemcséken látjuk a Pb-214 77 keV-es karakterisztikus röntgenvonalát. Mivel lényegében minden radioaktív bomlásnál nemcsak az atommag alakul át, de a legbelsőbb K és L elektronhéjak is valamilyen formában átrendeződnek, a bomlás leányelemeihez kisebb-nagyobb valószínűségű karakterisztikus röntgenvonalak társulnak, mint a szóban forgó Pb-214-nél a spektrumon jelzett BiK $\alpha$ 1.

Befejezésül, hogy ez utóbbi kísérletnél se maradjon ki a GM-cső és a radon lényeges alfa-sugárzó leányeleméről, a Po-218-ról se feledkezzünk meg, egy rövid idő alatt elvégezhető standard demonstrációs mérést ismertetünk. Hangsúlyozzuk, hogy didaktikai-módszertani szempontok és nem precíziós radonaktivitás-koncentrációból mért dózisértékek pontos kimutatása – amelyekhez viszonyítva természetesen csak „látványos” de semmitmondó a „mérésünk” [21] – vezérelnek. Ennek ellenére, a szokásosnál valamivel igényesebb kivitelezésben, nyugodtabban előkészítve (tanítási szünetben, június végén), hosszabb ideig dolgoztunk. A légszivattyúra szűrőként arctisztító vattakorongot szereltünk és az egy héti szellőztetés szertárban húsz percen át járattuk a szivattyút. Utána azonnal GM-cső alá raktuk a szűrőt, és folyamatosan mértük a percnkénti beütésszámokat. Az értékeket kétperces léptékben föltettük a 10. ábrán látható grafikonra. Főfigyelhetünk a radioaktivitás jellegzetességeire (aktivitás csökkenése, szórás), és az előző félvezető-detektoros mérésnél másfél óra kimaradás jelentőségét is érzékelhetjük. Elméletileg, többek között a

légköri radon bomlásával kapcsolatosan is, hangsúlyozni szokták a bomlás pillanatában keletkezett termékek (Po, Pb, Bi) – a legkülső elektronok gyenge, néhány eV-os kötési energiájával kapcsolatos – rövid ideig (körülbelül 1 másodpercig) tartó pozitív ion jellegét [22]. Főleg egyetemi jegyzetekben [23], mind az alfa-, mind a bétabomlásnál – a megszokott írásmódot kiegészítendő – szögletes zárójelben jelzik az atomhéjról távozó elektronokat. Mindezeket összekombinálva, az általunk kedvelt Rn-222-re vonatkozó bomlás írásmódja a következő:



Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy a bomlástermékek könnyebben „ragadnak” nega-

tív töltésű léghő aeroszolokhoz. Mintegy bizonyításként, az iménti légszűrős kísérletet ismételtén elvégeztük ugyanígy előkészítve, ugyanennyi ideig szivattyúzva a levegőt, csak közben bekapcsoltuk a szivattyútól három méterre levő szikrainduktort. Egy-két perc után égett szagot éreztünk, de a szikrainduktort a légszivattyúval együtt húsz percig bekapcsolva hagytuk. Utána rögtön a GM-cső alá helyezve a filtert, a számláló az első percben lényegesen magasabb, 600 fölötti beütésszámot jelzett.

Bemutatott kísérleteink hasznos vagy haszontalan voltának az eldöntését az olvasóra bízunk.

#### Irodalom:

1. <https://en.wikipedia.org/wiki/Radon>
2. [https://en.wikipedia.org/wiki/Background\\_radiation](https://en.wikipedia.org/wiki/Background_radiation)
3. [http://www.radioactivity.eu.com/Potassium\\_40.htm](http://www.radioactivity.eu.com/Potassium_40.htm)
4. [https://en.wikipedia.org/wiki/Electron\\_capture](https://en.wikipedia.org/wiki/Electron_capture)
5. [https://en.wikipedia.org/wiki/Positron\\_emission](https://en.wikipedia.org/wiki/Positron_emission)

6. [https://en.wikipedia.org/wiki/Beta\\_decay](https://en.wikipedia.org/wiki/Beta_decay)
7. <https://en.wikipedia.org/wiki/Potassium-40>
8. [www.nucleide.org/DDEP\\_WG/Nuclides/K-40\\_tables.pdf](http://www.nucleide.org/DDEP_WG/Nuclides/K-40_tables.pdf)
9. [https://en.wikipedia.org/wiki/Isotopes\\_of\\_potassium](https://en.wikipedia.org/wiki/Isotopes_of_potassium)
10. Fülöp L., Takács K.: Fogászati röntgenfilmek a fizikában. *Fizikai Szemle* 67(2017) 400.
11. Fülöp L., Brázai G., Kocsonya A.: Fogászati röntgenfilmek a fizikában, 2. rész. *Fizikai Szemle* 69(2019) 90.
12. <https://duna-horizont.hu/kalium-mutragyak.html>
13. [www.facebook.com/fulopfizika](http://www.facebook.com/fulopfizika)
14. [https://en.wikipedia.org/wiki/Decay\\_chain](https://en.wikipedia.org/wiki/Decay_chain)
15. <http://nucleardata.nuclear.lu.se/toi/nucleide...>
16. dr. Weszelszky Gy.: *A rádióaktivitás*. Kir. Magy. Természettudományi Társulat, Budapest (1917) 75–178.
17. <https://en.wikipedia.org/wiki/Caesium-137>
18. <https://www.epa.gov/radiation/radionuclide-basics-cesium-137>
19. dr. Weszelszky Gy.: *A rádium és az atomelmélet*. Szent-István Társulat, Budapest (1925) 61.
20. [https://en.wikipedia.org/wiki/j\\_j\\_thomson](https://en.wikipedia.org/wiki/j_j_thomson)
21. <http://www.t-es-t.hu/minden/tudom/radon.htm>
22. <https://www.fe.infn.it/radioactivity/materials/...pdf>
23. Vértes A.: *Magkémia I. – egyetemi jegyzet*. Tankönyvkiadó, Budapest (1987) 78–85.

## HÍREK – ESEMÉNYEK

### NYIRATI LÁSZLÓ (1948–2019)

Egészen különleges egyéniség volt. Éppen ezért szinte lehetetlen bemutatni. Életrajzi adataival is csak azért érdemes kezdeni, mert ezek jelzik szakmai sokoldalúságát, és utalhatnak arra, hogy mennyire sok emberrel volt kapcsolata, milyen sok közösséghez tartozott.

Faddon (Tolna megye) született 1948. augusztus 15-én. Itt járt általános iskolába, majd a szomszédos Tolnán a Földvári Mihály Gimnáziumban tanult tovább, és 1966-ban érettségi vizsgát tett. Sikeres felvételi vizsgája alapján – előfelvéttként letöltött sorkatonai szolgálata után – az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karán kezdte meg tanulmányait matematika-fizika-ábrázoló geometria szakon. Középszintű tanári oklevelét 1972-ben kapta meg. 1973 és 1979 között – a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karának műszer- és irányítástechnikai szakán – villamosmérnöki oklevelet szerzett, majd 1985 és 1987 között a Kossuth Lajos Tudományegyetem Természettudományi karán szerzett számítástechnika szakos középiskolai tanári oklevelét.

Az 1972/73-as tanévben a 327. sz. Ipari Szakmunkásképző Intézetben (Székesfehérvár) állt munkába, majd 1973-tól 1995-ig az Ybl Miklós Szakközépiskolában tanított. Közben – óraadó tanárként – az újonnan induló székesfehérvári Tóparti Gimnáziumban segített létrehozni az iskolai géptermet, és évekig tanított is ott. 1992-ben – sikeres pályázata alapján – a megyei pedagógiai intézet szaktanácsadója lett; a matematika, fizika, technika és számítástechnika tantárgyak gon-

dozása lett a feladata a középiskolai intézményekben. 1995-ben lett a székesfehérvári Kodolányi János Főiskola adjunktusa, ahol tanszéki csoportvezetőként az informatikatanítás volt a fő feladata. Ugyanebben az évben – a pedagógiai intézetben történt átszervezés miatt – az egyes tantárgyak külön szaktanácsadókkhoz kerültek; ő a számítástechnika (informatika) tantárgy mellett döntött, ennek szaktanácsadója lett. Többszöri pályázata után és a pedagógiai intézet átnevezéseit követően, annak 2008. évi megszűnése után a feladatot ellátó jogutódszervezetek sem vonták vissza ezt a megbízást, a cím tehát örökössé vált. A főiskoláról ment nyugdíjba 2007 végén. Nyugdíjasként – mint óraadó – haláláig tanított a székesfehérvári Széchenyi István Műszaki Szakközépiskolában.

Felesége szintén matematika-fizika szakos tanár, lányuk orvos, fiuk mérnök lett.

Már pályája elején, az Ybl Szakközépiskolában elköteleződött a fizika mellett, ami a 80-as évek elején a számítástechnikával egészült ki. Személyes kapcsolatai révén még az iskola-számítógépes program 1983-as elindítása előtt szerzett az iskolájának egy ABC80 típusú mikroszámítógépet (házi számítógép – HC), így a megyében azonnal a program élvonalába került. Az elsők között írt szimulációs programot azokra a gépekre, amelyeket az iskoláknak ajánlottak; a program két fém közötti diffúziót szemléltette. Ezért aztán hamar rátalált a Tudományos Ismeretterjesztő Társulat budapesti szervezeténél már működő házi számítógépes csoport, amely egyik fő céljának az iskolák szak-



mai támogatását tekintette. E csoporton keresztül neki is döntő hatása volt az iskolai számítógépes kultúra alakulására; a nyelvhasználat fejlődésére, a programozási és a felhasználói szemlélet megalapozására, a tantárgyi és irányítástechnikai alkalmazásokra. Mindez a 90-es évek első feléig tartott, és tartalma a BASIC nyelvtől a gépi szintű programozáson, további magas szintű programozási nyelveken és a számítógép külvilággal való összekapcsolásán át a felhasználói programokig terjedt.

Szaktanácsadói működésének első évében újabb fordulat következett be munkájában. Az 1993-as Lánzos Kornél-centenáriumra való készülődés keretében a megyei fizika tanulmányi verseny megújításának (legalábbis az egyik) kezdeményezője volt, és feladata miatt a hivatalos felelőse is lett. Ebben a keretben – néhány év alatt – egy országosan is egyedülálló versenyrendszert sikerült létrehozni, amely már több mint 25 éve megbízhatóan működik, és 2005 óta az általános iskolai változata is él.

A főiskolai pályafutása idején a számítástechnika volt a fő feladata, de továbbra is foglalkozott fizikával, sőt még matematikával is; többször is részt vett és feladatokat vállalt a Matematikát, Fizikát és Informatikát Oktatók (MAFIOK) országos konferenciáin, és folyamatosan dolgozott a Lánzos-versenyek szervezésében, lebonyolításában is.

Már nyugdíjasként – a Széchenyi Szakközépiskolában, ahol főként fizikát tanított – előbb az okostelefonok alkalmazásában hozott újabb kísérleti megoldá-

sokat, majd miután a mikrovezérlők széleskörű elterjedésével lehetővé vált azok iskolai alkalmazása, azzal ismét az élre került. Rengeteg mérési projektet talált ki, és többet meg is szervezett; arduino és myDAQ eszközzel egyaránt foglalkoztak. Számos tanítványával ismertette meg ezeket a lehetőségeket, akik sikeresen pályáztak országos versenyeken is.

Sok írása jelent meg különféle helyeken; már az 1980-as években írt az akkori *Mikroszámítógép Magazin*ba, később különböző folyóiratokba (például *Új Pedagógiai Szemle*) és időszakos kiadványokba. A legutolsó írásai talán éppen a *Fizikai Szemle*ben jelentek meg: 2016 februárjában *Földrajzi helymeghatározás a Nap segítségével*, majd júniusban *Milyen görbét ír le a gnómón csúcsának árnyéka? Szferikus csillagászat Geogebrával* címmel.

Bár több kisebb-nagyobb elismerésben részesült versenyeredményekért vagy olykor egy-egy tevékenységéért, a nagyobb kitüntetések nem igen találták meg. Környezete – kollégáké és tanítványoké egyaránt – mindent nagyon kedvelte; szerették és szívesen működtek együtt vele. Sok területen, sok emberrel dolgozott, talán ezért vette mindenki természetesnek, hogy van és segíti a csapatot. Lételeme volt a családi, a kollegiális és a szakmai közösség.

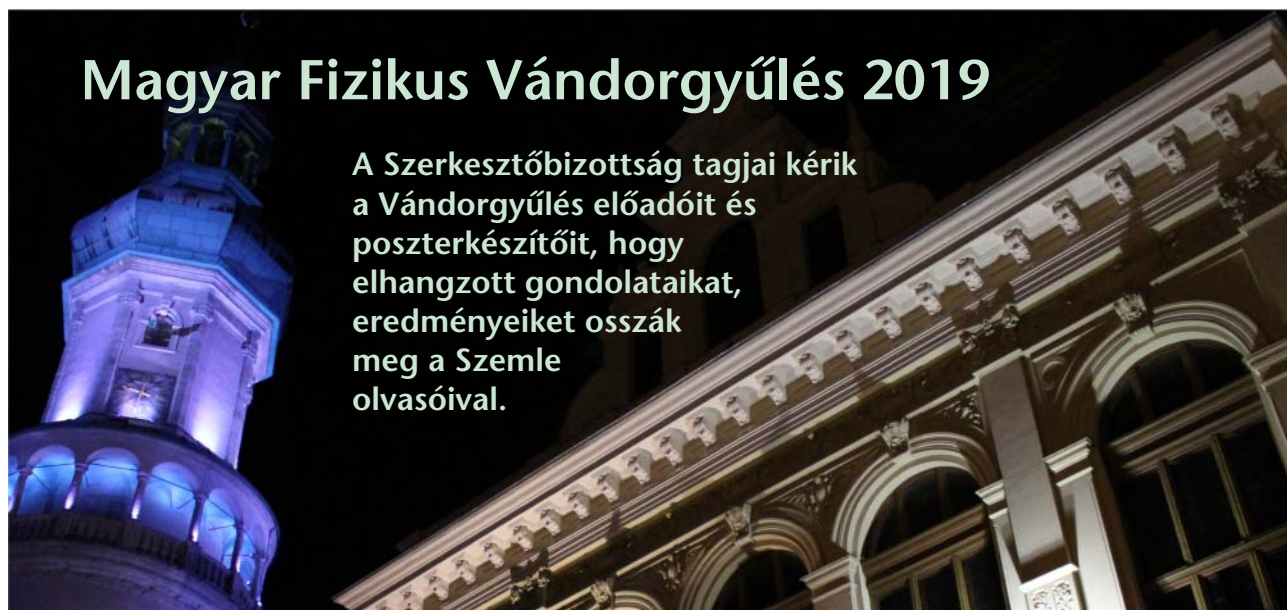
Egy jó kedélyű, sajátos humorral megáldott, igazságszokoldalú kolléga hagyott itt minket 2019. február 2-án, *Lánzos Kornél* születésének százhuszonhatodik évfordulóján.

*Theisz György*



## Magyar Fizikus Vándorgyűlés 2019

A Szerkesztőbizottság tagjai kéri a Vándorgyűlés előadóit és poszterkészítőit, hogy elhangzott gondolataikat, eredményeiket osszák meg a Szemle olvasóival.



# myDAQ-pályázat a 2019–2020. tanévre

Az ELFT és az NI Hungary Kft. az idén is meghirdeti pályázatát fizikatanároknak.

A pályázat célja, hogy tanórákon, szakkörökön minél több iskolai kísérlet legyen elvégezhető a myDAQ eszköz használatával is.

A pályázati kiírás, a pályázat témája, a pályázati határidők és a jelentkezés feltételei megtalálhatók a <http://sukjaro.eu/ELFT-NI-palyazat> weblapon.

**A pályázati regisztráció határideje:**

**2019. szeptember 14, 24:00 óra**

**Az elkészült pályamunkák leadási határideje:**

**2020. január 17, 24:00 óra.**

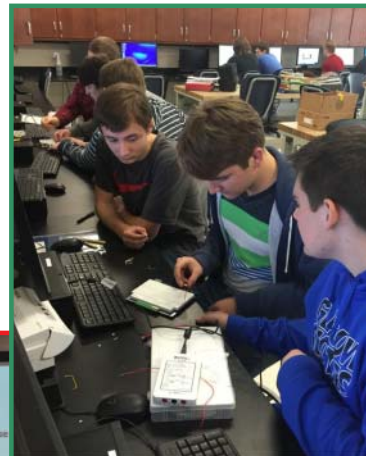
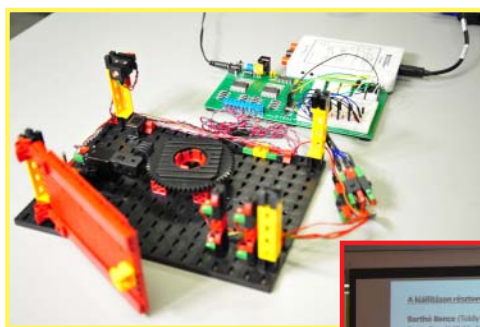
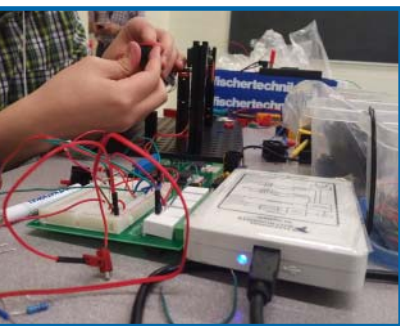
Az új pályázók bátorítása érdekében az idén két kategóriában lehet versenyezni: „Új pályázók” és „Tapasztalt pályázók”.

**Díjazás:**

- Mindkét kategória **első öt** helyezettje **tárgyjutalmat** kap.
- Mindkét kategória **első három** helyezettje **pénzjutalmat is** kap.

A szervezők fenntartják a jogot, hogy egy 11. helyezettet is díjazzanak, aki a legjobb, általános iskolásokkal induló pályázó lesz (amennyiben lesz ilyen induló).

**JELENTKEZÉS MEGHOSSZABÍTVÁ  
2019. OKTÓBER 20-IG!**



[www.ni.com](http://www.ni.com)

**NATIONAL  
INSTRUMENTS**

ISSN 0015325-7  
9770015 325009 19009