Radiokémia

A radiokémiai kutatások az ország több egyetemén (BME, DE, ELTE, PE, SzE) és kutatóintézetében (EK, Itotóp Intézet Kft., OSSKI, RADANAL) folynak a radiokémia különböző területein (izotópok szintézise és alkalmazása, nukleáris anyagvizsgálatok, nukleáris analitika és környezet analitika, sugárkémia). Az elmúlt 30 év során szoros együttműködés alkult ki a kutatóhelyek közt, az intézmények műszerezettsége, a szakemberek tudása jól kiegészítik egymást. A Paksi Atomerőmű (PA) szakemberei és az intézmények munkatársai közti együttműködés nagyban hozzájárul a PA biztonságos működéséhez.

Az MTA IKI (2011-től MTA EK, jelenleg EK) munkatársai nagyfelbontású passzív gamma-spektroszkópiai módszereket fejlesztettek ki, amelyekkel számos, a nukleáris iparban fontos izotóp mennyiségének meghatározása is lehetővé vált. A módszereket sikerrel alkalmazták a Paksi Atomerőműben 2003-ban bekövetkezett üzemzavar kapcsán megsérült fűtőelem-kötegek törmelékének feldolgozása során készült tokok egyedi izotóp- és nukleáris anyag tartalmainak meghatározására. Kiszámították a primer körben végbemenő aktivitás transzport néhány törvényszerűségét üzemi és üzemzavari körülmények között. Az atomreaktorokban lejátszódó korrózióval kapcsolatosan megmérték és értelmezték gyorsion besugárzás hatását néhány fém elektron kilépési munkájára.

Természetes (cellulóz alapú) és szintetikus polimerek sugárállóságával kapcsolatos kutatások is folytak az MTA IKI-ben, ezeket az eredményeiket is hasznosították a Paksi Atomerőmű Zrt-ben, a 2003-as üzemzavar után. Az erőműben található polimer tömítések, illetve kábelszigetelések sugárállóságával kapcsolatban is alkottak szakértői véleményt.

Atomreaktorok biztonságos üzemeltetésének elengedhetetlen feltétele a technológiai folyamatok ellenőrzése. A BME Nukleáris Technikai Intézetében, majd a RADANAL Kft. Radiokémiai Laboratóriumában, valamint az Országos Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézetben (OSSKI) analitikai módszereket dolgoztak ki, melyek kiegészítik a reaktorok rutin ellenőrzési módszereit. A paksi atomerőműben 2003-ban bekövetkezett üzemzavar idején az általuk szolgáltatott analitikai eredmények segítettek az üzemzavari folyamatok (sérült fűtőelem oldódása) értelmezésében, és hozzájárultak az üzemzavar elhárításához, a reaktor újraindításához. Az alfasugárzó urán- és transzurán izotópok, valamint a radiostroncium elválasztásán alapuló elemzési módszereket később bevezették a PA rutin ellenőrzési gyakorlatába, és azóta is használják. A módszerek egy része alkalmas a dolgozók belső sugárterhelésének ellenőrzésére is.

A DE Fizikai Kémiai Tanszékén jelentős eredményeket értek el a földtani képződmények (kőzetek, talajok) határfelületi reakcióinak tanulmányozása területén, különös tekintettel a radioaktív izotópos nyomjelzésre, ill. a nukleáris hulladékok föld alatti tárolására. Ez utóbbi eredményeket felhasználták a Bátaapáti hulladéktároló biztonsági elemzésének készítéséhez.

Az MTA IKI-ben nagyaktivitású radioaktív hulladékok potenciális hazai geológiai elhelyezése kapcsán vizsgálták hosszú felezési idejű izotópok szorpcióját és migrációját a Bodai Agyagkő Formáció különböző helyeiről származó fúrómag mintákon. Az egyik legfontosabb megállapításuk szerint mindegyik vizsgált izotóp effektív diffúziós állandója kisebb, mint 10^{-11} m^2 s^{-1}, ami pl. egy millió év alatt kevesebb, mint 20 m megtett migrációs úthosszal egyenértékű.

Analitikai módszereket fejlesztenek radioaktív nuklidok szelektív meghatározására. Több összetett radioanalitikai eljárást dolgoztak ki a nagymennyiségű inaktív anyagban és/vagy radioaktív komponensek mellett az egyes összetevők mennyiségének nuklidspecifikus meghatározására. A kidolgozott módszereket, melyek egy része nemzetközi szabványokba és ajánlásokba is beépült, számos területen alkalmazzák.

Környezetünk védelme és biztonsága érdekében elengedhetetlen a nukleáris létesítmények üzemeltetése és leszerelése során keletkező radioaktív hulladékok, valamint a potenciálisan szennyezetté váló környezet vizsgálata, radioaktív összetevőik meghatározása. A kidolgozott módszerekkel számos, hosszú felezési idejű, a reaktorok és a hulladéktárolók környezetére hosszú távon veszélyt jelentő radioizotóp monitorozását (plutónium és radiostroncium mérése a víz monitoring rendszerben) oldották meg a BME Nukleáris Technikai Intézetében, majd a RADANAL Kft-ben, valamint az OSSKI-ban.

A BKR-ben folyó kutatások és az ott dolgozó, tapasztalt szakemberek szerepe a PA Zrt biztonságos működése szempontjából igen jelentős. Az MTA IKI kutatói aktívan részt vettek a BKR átfogó felújításában (1986–1992). A létrejött hidegneutron-forrás és neutronvezető rendszer lehetővé tette egy új nukleáris elemanalitikai eljárás, a prompt-gamma aktivációs analízis (PGAA) hazai meghonosítását. Méréstechnikai és spektroszkópiai szempontból jelentősen továbbfejlesztették ezt a sugárzásos neutronbefogási reakción alapuló elemanalitikai eljárást. A kémiai elemek sztöchiometrikus vegyületein végzett méréseikből összeállítottak egy átfogó spektroszkópiai adatkönyvtárat, amelyet azóta is sikerrel alkalmaznak anyagok elemi és esetenként izotóp-összetételének elemzésére.

Az MTA IKI kutatói a Fritz Haber Institute Berlin kutatóival együttműködve a PGAA módszert alkalmassá tették heterogén katalitikus folyamatok valós idejű (*in situ*) nyomon követésére. Ez a kísérlet feltárta a hidrogénatomok adszorpciójának és abszorpciójának szerepét alkinek palládium-katalizált parciális hidrogénezésében. A kísérletek eredményeként olcsó és hasonlóan hatékony katalizátor anyagokat fejlesztettek ki, amelyek jól helyettesítik a drága Pd-t. A katalizátoroknak a hidrogén alapú üzemanyaggal működő járművek fejlesztésében lehet jelentős szerepe. A PGAA módszert kiterjesztették nem homogén tárgyak roncsolásmentes lokális elemösszetételének mérésére is. Az erre szolgáló NIPS-NORMA mérőállomás volt a világon az első berendezés, amely kombinálta az összetétel-mérés és a képalkotás lehetőségeit. Az eljárást sikerrel alkalmazzák az anyagtudományban, a kulturális örökség kutatásban és ipari feladatok megoldásában egyaránt.

Radiokémiai eljárások alkalmazására rendszeresen szükség van összetett sugárvédelmi és dozimetriai vizsgálatok során is, ilyen feladat volt az utóbbi években egy ^{241}Am-et tartalmazó hulladék feldolgozásánál történt inkorporáció pontos kiértékelése, vagy a Kelet-és Közép-Európában 3 éve regisztrált légköri ^{106}Ru-szennyezés analízise.

A környezetvédelemmel kapcsolatos kutatásaikhoz az MTA IKI munkatársai, a Nemzetközi Atomenergia Ügynökséggel (NAÜ) szorosan együttműködve (részben NAÜ támogatással), vízanalitikai labort fejlesztettek ki. Nagyenergiájú ionizáló sugárzással lebontják a tisztított szennyvízben maradt, a szennyvíztisztítókban hagyományos módszerekkel nem eltávolítható, mérgező szerves anyagokat, ugyanakkor inaktiválják a vízben lévő baktériumokat. A vízanalitikai laborban nyomon követik a szennyezők lebontásának folyamatát. Sikerült számos gyógyszer, főleg antibiotikum lebomlásának mechanizmusára javaslatot tenniük. A SZIE Mikrobiológia és Biotechnológia Tanszék, az SZTE Szervetlen és Analitikai Tanszék, valamint a Tsinghua University INET (Peking, Kína) munkatársaival együttműködésben követik a szennyvízben található antibiotikumok antibakteriális aktivitásának, a baktériumok életképességének, illetve antibiotikum rezisztenciájának változását a besugárzás során. A kutatásnak a hatékonyabban működő szennyvíztisztítók fejlesztésében vannak jelentős perspektívái.

Az MTA IKI-ben katalizátorok Mössbauer-spektroszkópiás vizsgálatára *in situ* mérőcellát készítettek. Nagy diszperzitású hordozós fém, -ötvözet és oxidkatalizátorok, valamint mikro- és mezopórusos ferri- és sztanniszilátok reakciók közbeni állapotait azonosították ^{57}Fe és ^{119}Sn MS-val. Újabban meghonosították a ^{197}Au izotópos vizsgálatok módszerét is, pl. különböző arany-kén kötéseket mutattak ki tiollal stabilizált arany nanorészecskék felületén.

Az ELTE Magkémiai Laboratóriumában Mössbauer-spektroszkópia (MS) alkalmazásával kation helyettesítések hatását tanulmányozták nagyhőmérsékletű szupravezetőkben és kolosszális mágneses ellenállású anyagokon. Elektrokémiai úton sikerült elsőként előállítaniuk speciális ötvözeteket. Új, felhasználóbarát MS kiértékelő szoftvert fejlesztettek ki. Közvetlen bizonyítékot adtak az I. vasfelvételi stratégiát követő növények vasfelvételi mechanizmusára. Hozzájárultak új ásványok (mössbauerit és trebeurdenit) azonosításához. Rendkívül nagy belső mágneses teret (157 T) és ferromágneses kölcsönhatást mutattak ki $Fe(C(Si(CH_3)_3)_2$ és $Fe[N(SiPh_2Me)_2]_2$ molekuláris mágnesekben.

Az ELTE Magkémiai Laboratóriumában pozitronannihilációs laboratóriumot építettek ki, ahol pozitron-élettartam és Doppler-spektroszkópiai mérések elvégzésére nyílik lehetőség. Ezeket a lehetőségeket szilárdtestfizikai, folyadékszerkezeti és kémiai problémák tanulmányozására használták. Jelenleg a kutatások fő iránya a gyógyszertechnológiai innováció segítése morfológiai, kioldódási, öregedési folyamatok pozitronannihilációs vizsgálatokkal.

A DE Általános Orvostudományi Karán Gamma-sugárzó és pozitronbomló izotópokkal jelzett vegyületek előállítását valósították meg a nukleáris medicina terén végzett humán diagnosztikai vizsgálatokra és orvos-biológiai tudományos kutatások céljából.

Kiemelkedő hatású közlemények

Armbrüster, M., Kovnir, K., Friedrich, M., Teschner, D., Wowsnick, G., Hahne, M., Gille, P., Szentmiklósi, L., Feuerbacher, M., Heggen, M., Girgsdies, F., Rosenthal, D., Schlögl, R., Grin, Y.: *$Al_{13}Fe_4$ as a low-cost alternative for palladium in heterogeneous hydrogenation.* Nat. Mater., 11, 690–693 (2012)

Capote, R., Herman, M., Obložinský, P., Young, P. G., Goriely, S., Belgya, T., Ignatyuk, A. V., Koning, A. J., Hilaire, S., Plujko, V. A., Avrigeanu, M., Bersillon, O., Chadwick, M. B., Fukahori, T., Ge, Z., Han, Y., Kailas, S., Kopecky, J., Maslov, V. M., Reffo, G., Sin, M., Soukhovitskii, E. S., Talou, P.: *RIPL - Reference input parameter library for calculation of nuclear reactions and nuclear data evaluations*. Nucl. Data Sheets, 110, 3107–3214 (2009)

Teschner, D., Borsodi, J., Wootsch, A., Revay, Z., Havecker, M., Knop-Gericke, A., Jackson, S. D., Schlogl, R.: *The roles of subsurface carbon and hydrogen in palladium-catalyzed alkyne hydrogenation*. Science, 320, 86–89 (2008)

Hazai rendezésű nemzetközi konferenciák

Mössbauer-spektroszkópia Ipari Alkalmazásai Nemzetközi Konferencia (2008)

Nukleáris- és Radiokémia Nemzetközi Konferenciája 2008.

7th International Symposium on Nuclear and Radiochemistry, Budapest, 2008

EFNUDAT Slow and Resonance Neutrons, a Scientific Workshop on Nuclear Data Measurements 2009.

Neutron Imaging and Neutron Methods in Archaeology and Cultural Heritage 2017.

Tihany Symposium on Radiation Chemistry (1962 óta, általában négyévente), utoljára 2019-ben.

Jelentős nemzetközi pályázatok, együttműködések

Magyar-Amerikai Közös Alap (MAKA)-TéT. Sugártechnológiai dozimetriai rendszerek fejlesztése és alkalmazhatósági vizsgálata, 1991–1998

MTA–CNR (magyar–olasz) kutatási együttműködés. Nagyenergiájú sugárzással iniciált polimerizáció kinetikájának vizsgálata, 1994–2009

EU (INCO-COPERNICUS). EU Contract IC15-CT96-0824, Sugártechnológiai dozimetriai laboratóriumok akkreditációjának előkészítése, 1997–1999

MTA–CNR. Szilárd és folyadékfázisú gamma- és elektrondozimetriai módszerek kifejlesztése és reakciómechanizmusának vizsgálata. A kifejlesztett doziméterek ipari és környezetvédelmi célú alkalmazhatósági vizsgálata ipari besugárzó berendezéseknél, 1998–2009

Nuclear Analytical Methods in Archaeology and Art / Hungarian-Polish Academic program, 2004–2006

Magyar–horvát (akadémiák közti egyezményen alapuló együttműködés) Investigation of the effect of high-energy radiation on polymeric systems, 2007–2010

IAEA Coordinated Research Project (CRP) Mezőgazdasági termékek elektronbesugárzási folyamatainak értékelése, 1989–1993

IAEA CRP Minőségellenőrzésre szolgáló dozimetriai módszerek alkalmazhatósági vizsgálata elektrongyorsító berendezéseknél, 1990–1994

IAEA CRP Reference Input Parameter Library phase-I (RIPL-I), 1994–1997

IAEA CRP Ipari, mezőgazdasági és orvosi célú, nagy dózisok mérésére alkalmas doziméterek fejlesztése és alkalmazhatósági vizsgálata, 1995–1999

IAEA CRP Sugártechnológiai eljárások minőségellenőrzésére szolgáló nagy dózisú dozimetriai eljárások fejlesztése, 1996–2000

IAEA CRP Reference Input Parameter Library phase-II (RIPL-II), 1998-2001

IAEA CRP Standard dozimetriai módszerek alkalmazhatósága friss és szárított gyümölcsök besugárzási folyamatainál, 1997–2001

IAEA CRP Development of a Database for Prompt Gamma-ray Neutron Activation Analysis. 1999-2003

IAEA CRP on High-Energy Radiation Treatment of Wastewater, 2000–2003

IAEA CRP on Remediation of Polluted Waters and Wastewaters by Radiation Processing, 2003–2006

IAEA CRP Applications of nuclear analytical techniques to investigate the authenticity of art objects, 2004–2008

IAEA Technical Cooperation (TC, HUN8008) Implementation of demonstration facility and upgrading the laboratory for treatment of water and wastewater using radiation processing, 2007–2009

IAEA CRP on Radiation Treatment of Wastewater for Reuse with Particular Focus on Wastewaters Containing Organic Pollutants, 2009–2016

IAEA CRP Enhancing Nuclear Analytical Techniques to Meet the Needs of Forensic Sciences, 2017–2020

IAEA TC Using Nuclear Techniques for the Characterization and Preservation of Cultural Heritage Artefacts in the European Region, 2009–2012

IAEA TC Extending and Diversifying the Application of Nuclear Technology in Cultural Heritage, 2014–2015

IAEA TC Enhancing the Characterization, Preservation and Protection of Cultural Heritage Artefacts, 2012–2013

EUREKA, FRUITRIP (magyar - lengyel), 2008–2010

EU H2020 EURATOM ARIEL, 2019–2022

EU H2020 IPERION HS, 2020–2023

V4-Korea RADCON projekt, 2017–2021

EU H2020 SINE 2020, 2015–2019

EU H2020 IPERION CH, 2015–2019

EU FP7 CHANDA, 2014–2018
EU FP7 ERINDA, 2010–2014
EU FP6 EFNUDA, T2007–2010
IAEA CRP: Minor Actinide Reaction Data, 2007–2011
EU FP6 ANCIENT CHARM projekt, 2006–2009
IAEA CRP: Reference Database for Neutron Activation Analysis, 2005–2008
EU FP7 NMI3-II (Neutron and Muon Integrated Infrastructure Initiative), 2012–2016
EU FP5 és FP6 NMI3, 2004–2008 és 2009–2013
EU H2020 E-RIHS PP - The European Research Infrastructure for Heritage Science Preparatory Phase / Horizon 2020, 2017–2019
EU FP7 CHARISMA - Cultural Heritage Advanced Research Infrastructures: Synergy for a Multidisciplinary Approach to Conservation / Restoration, 2009–2013

Vezető tisztségek nemzetközi szervezetekben

Szentmiklósi László 2016– MLZ "Imaging, Analysis, Nuclear and Particle Physics" Review Panel member
Szentmiklósi László 2015– International Committee on Activation Analysis (ICAA), bizottsági tag
Szentmiklósi László 2013– k0 International Scientific Committee (k0-ISC), bizottsági tag

Nemzetközi vagy külföldi kitüntetések, díjak

Kovács András 100 R&D For the development of Sunna dosimeter (2000)
Vértes Attila Glasgow Caledonian University díszdoktora (1996)

Szerkesztő

Takács Erzsébet