



NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

AZ NKFI ALAPBÓL
MEGVALÓSULÓ PROGRAM

Gyorsító alapú nukleáris technológiai kutatások és fejlesztések

TKP2021-NKTA-42

1 191 526 000 Ft

2022.01.01-2025.12.31

Ditrói Ferenc

Nukleáris Technológia Kutatócsoport

Altémák:

1. Magadatok vizsgálata, vékonyréteg aktiváció, radioaktív nyomjelzés (Ditrói F.)
2. Felületfizika (Takáts V.)
3. Radiokémia (Szűcs Z.)
4. Magszerkezet kutatás (Sohler D.)
5. Detektorfejlesztés (Hunyadi M.)

<https://tkp2021.atomki.hu>

Fokozatot szerzettek (fiatal kutatók nélkül) teljes munkaidő-ráfordítása (FTE)	17.2	11.93	A projekt indulásakor pár hónapig kevesen vettek részt a kutatásban, folyamatosan töltöttük fel a létszámot, vontunk be kutatókat.
PhD-képzésben /fokozatszerzési eljárásban részt vevők teljes munkaidő-ráfordítása (FTE)	4	3.36	A projekt indulásakor pár hónapig kevesen vettek részt a kutatásban, folyamatosan töltöttük fel a létszámot, vontunk be a PhD hallgatókat.
Fiatal kutatók (PhD fokozat megszerzését követő legfeljebb 7 év) teljes munkaidő-ráfordítása (FTE)	6	2.89	A projekt indulásakor pár hónapig kevesen vettek részt a kutatásban, folyamatosan töltöttük fel a létszámot, vontunk be kutatókat.
Vállalati együttműködés keretében végzett kutatásokban foglalkoztatott kutatók teljes munkaidő-ráfordítása (FTE)	2	1	Több vállalati együttműködéssel is rendelkezünk, közösen végzünk kutatásokat.

- Együttműködés a Miskolci Egyetem Anyag-és Vegyészmérnöki Karának Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetével. Téma: közös kutatás és doktoranduszok fogadása a felületfizika és nukleáris fizika területén.
- Együttműködés a Genevation Aircraft Kft-vel, Téma: Közös kutatás és közös kutatási pályázatokban való részvétel. Keretszerződés, megvalósult közös kutatás elkezdődött.
- EUROLABS-CLEAR konzorciumban való részvétel, EURO-LABS; HORIZON-INFRA-2021-SERV-01-07, Grant agreement No. 101057511; a magfizikusok támogatott kísérleteket végeztek Lengyelországban. Külföldről érkezett kutatók kísérleteinek támogatása az ATOMKI-ben.
- Az ERA PerMed JTC2021 felhívásra konzorciumi pályázatot adtunk be a Nanti Egyetem, a Stockholmi Egyetem, a Debreceni Egyetem, és a bukaresti Biokémiai Kutató Intézet munkatársaival együtt, a pályázat nem nyert, de az együttműködés folytatódik későbbi pályázás benyújtása érdekében.
- Call: HORIZON-EURATOM-2023-NRT-01 (Nuclear Research and Training) Topic: HORIZON-EURATOM-2023-NRT-01-06, Type of Action: EURATOM-RIA (EURATOM Research and Innovation Actions), Proposal number: 101164596 Proposal acronym: APRENDE Addressing Priorities of Evaluated Nuclear Data in Europe, Type of Model Grant Agreement: EURATOM Action Grant Budget-Based Státusz: elbírálás alatt van.
- Együttműködési szerződés az ausztriai AC²T (Austrian Competence Center for Tribology) intézettel Vékonyréteg Aktivációs (TLA) kopásvizsgálati kutatási és alkalmazási témakörben. keretszerződés, a vizsgálatokból bevétel származott.
- Részvétel az EU inTribology konzorciumban, amelyet az AC²T ausztriai kutatóintézet koordinál. keretszerződés, In-kind hozzájárulással veszünk részt benne.
- Együttműködés a győri Széchenyi Egyetem Belsőégésű Motorok Tanszékével Vékonyréteg aktivációs kopásvizsgálat területén, alkalmi megállapodások
- Együttműködési szerződés a VTMT-vel (VákuumTömörség és MérésTechnika Kft.) vákuumtechnikai mérések és szolgáltatások terén.

Új, vagy iparjogvédelmi bejelentéssel érintett termék, szolgáltatás, prototípus vagy technológia bemutatása

A tervezett perovszkit vékonyréteg alapú szcintillációs detektor prototípusát elkészítettük. Két azonos detektor készült, melyeket magfizikai mérésekben koincidencia-üzemmódban teszteltünk. Emellett extrém-hőmérsékleti (4.2 K – 473 K) és besugárzási (sugárterhelési) méréseket is végeztünk, valamint meghatároztuk a fejlesztett eszköz különböző energiájú és tömegű ionokra adott radiolumineszcencia válaszfüggvényét. Az eszköz mért üzemi paraméterei és az anyagra vonatkozó mérési eredmények alapján a technológia fejlettsége eléri a proof-of-concept szintet (TRL3).

Előzetes mérési eredményeink alapján készítettünk egy iparjogvédelmi leíratot, melyet PCT vizsgálati eljárás céljából benyújtottunk az SZTNH-hoz. Lajstromszám: PCT/HU2022/050066

Cím: Dopant-free copper-based perovskite-analogue inorganic thin-film scintillator for charged particle detection

Elsőbbségi dátum: 2022. szeptember 15. Bejelentők: Atommagkutató Intézet (50%), Szegedi Tudományegyetem (50%)

Vékonyréteg aktivációs kopásvizsgálat, amely alkalmas alkatrészek kopásának tesztelésére rövid vizsgálati időn belül nagy pontossággal. A besugárzott felületek vizuális megjelenítése mini-PET kamerával minőségbiztosítási célból.

A projekt kutatási feltételrendszer javításához való hozzájárulása

Az ATOMKI magszerkezeti adatok gyűjtéséhez szükséges infrastruktúráját jelentősen javítottuk 20 darab nagy hatásfokú NaI szcintillátor gamma-detektor beszerzésével. A detektorokat installáltuk, bemértük. Az észlelő berendezések a kis valószínűséggel előálló atommagok gamma-sugárzásainak azonosításánál, jellemző magszerkezeti adataik meghatározásánál lesznek alkalmazva.

Gamma sugárzás mérésére szolgáló nagyfelbontású detektorokat szereztünk be az alacsony háttérű és a radiokémiai laborba. Vékonyréteg aktivációs besugárzáshoz vásároltunk egy programozható robotkart, melyet üzembe helyeztünk és használtunk. Megtörtént egy tribométer beszerzése is radioaktív tribológiai kutatásokhoz. A berendezést üzembe helyeztük. Folyadék keringtetés vizsgálatokhoz való továbbfejlesztése folyamatban van.

Ligandtracer és radio-TLC analitikai rendszerek kerültek beszerzésre. A Ligandtracer berendezésre a pre-klinikai sejtjelzéses kísérletekhez volt szükség, míg a radio-TLC radiokémiai analízisekhez elengedhetetlen eszköz.

Optikai mérőrendszer fejlesztettünk szcintillációs anyagok és belőlük épített detektorrendszerek tesztelésére. A mérőrendszer részeként elkészült egy univerzális, mobilis vákuum-szórókamra, mely könnyen telepíthető bármely gyorsító nyalábcatornájához. Perovszkit-alapú vékonyréteg-detektorok prototípusai kísérleti magfizikai és dozimetriai mérésekhez, üzemképes állapotban, rendelkezésre állnak.

A mintahordozó vákuumegység az intézetben jó lehetőséget biztosít a minták ultranagy vákuumban történő szállítására a különböző laboratóriumok berendezések között, továbbá vákuumban történő mintakezeléshez és analízáláshoz. A berendezés alkalmazása lehetővé teszi a felületi oxidréteg okozta probléma elkerülését és jó minőségű (oxigén mentes) mintaelőállítást. Ez egyúttal azt is jelenti, hogy a mintavizsgálati módszertár kibővíthető.

A kutatói utánpótlás helyzete a projekt eredményeképpen

5 PhD hallgató alkalmazása 60%-os részmunkaidőben történt. Vezető kutatók szakmai irányításával nemzetközi együttműködések keretein belül dolgoztak, ami lehetőséget biztosított nekik a világ vezető magfizikai laboratóriumaiban gyakorlati tapasztalat szerzésre és a legmodernebb észlelőberendezések használatára. 2 fiatal kutató doktori (PhD) fokozatot szerzett a projekt keretében az első mérőidőkhöz tartó időszakban.

1 új, külföldi tanulmányútról visszatérő fiatal kutató alkalmazása.

A radiokémiai kutatási programban 2 magyar és 1 külföldi PhD hallgató alkalmazása részmunkaidőben. A PhD hallgatók részt vettek tudományos közlemények írásában, 8 nemzetközi és 4 hazai konferencián mutatták be eredményeiket.

Külföldi kutatók bevonása.

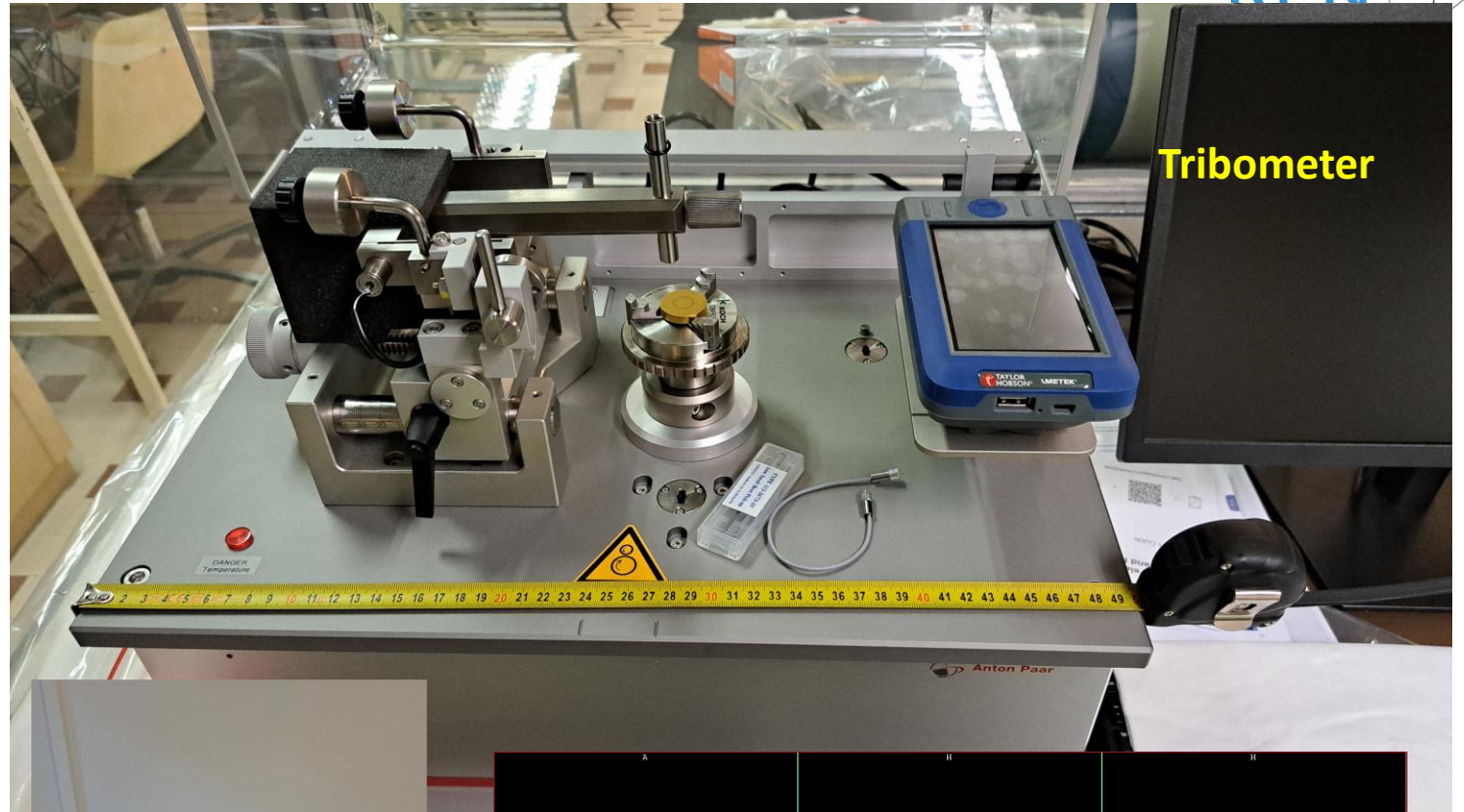
Kísérleti magfizikai kutatásainkat többször 50-100 fős nemzetközi együttműködések keretében végezzük, a publikációink társszerzőinek körülbelül 90%-a külföldi. Így jelentős számú külföldi kutatót vonunk be a tématerületi kutatásainkba.

A megjelent közlemények túlnyomó része külföldi kutatók bevonásával született.

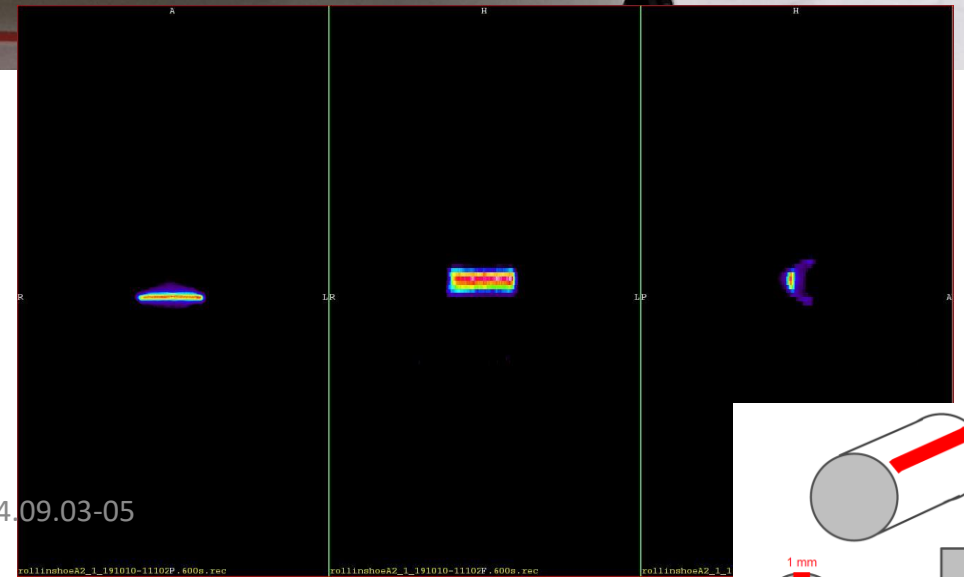
1 külföldi PhD hallgató foglalkoztatása: Laouameria Achia Nour, algériai Stipendium Hungaricum PhD hallgató. Pályázatot nyújtottunk be az MTA DISTINGUISHED GUEST SCIENTIST FELLOWSHIP PROGRAMME-ba, aminek keretében Jan Rijn Zeevaart-ot, a délafrikai NECSA intézet professzorát vonnánk be Auger-elektronok mérésébe egy 4 hónapos project keretében 2024-ben.



Robot arm



Tribometer



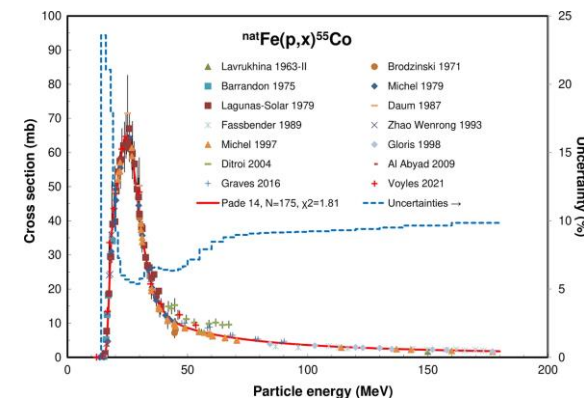
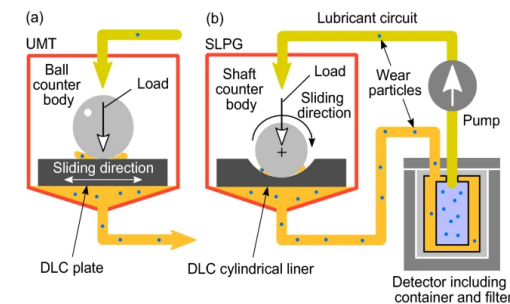
- Tudományos cikkek Q1-Q2 folyóiratokban, magadat, vékonyréteg aktiváció területén (7) DLC bevonatok; $\alpha+W$; $d+Re$; $\alpha+Ta$; $p+Sc$; $\alpha+Sc$; terápiás izotópok; monitor izotópok;
- Konferencia előadások (8) magadat és radioizotópos nyomjezés témában
- Ismeretterjesztő előadások
- IAEA adatbázisokba való kompilációs feltöltések (EXFOR, Medical, Monitor, TLA)

- Fém nem tartalmazó anyagok és bevonatok vékonyréteg aktivációja a széntartalom alapján
- Új izotópok bevezetése a vékonyréteg aktivációba
- Robotkaros pozicionálás/mozgatás a besugárzás közben
- MiniPET felhasználása a besugárzások minőségellenőrzésére (miniPET, Molnár J)

Személyi feltételek

- 1+1/2+1 kutató, 1 közös technikus

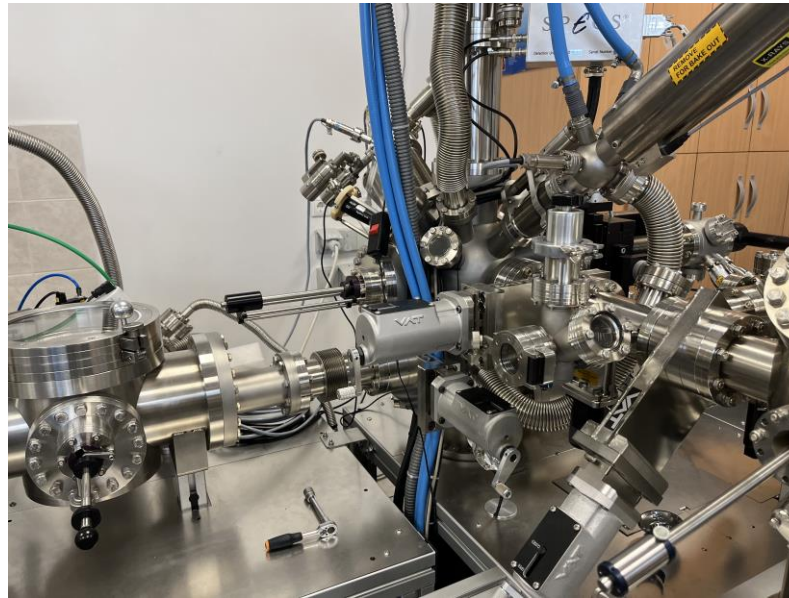
Kapcsolatok: IAEA, RIKEN, AC²T, inTribology, ISTR, Győri Egyetem



Nagyvákuumban történő mintaszállításra alkalmas vákuumrendszer installálása (vákuumkoffer)



Vákuumkoffer



Csatlakozó egység



A rendszerre csatlakoztatott vákuumkoffer

Nukleáris technikával előállított Fe(B) réteg jellemzése kristályszerkezet, kémiai kötés szerkezet és termikus hatás vizsgálatokkal
A kísérletek eredményei: mechanikai szerkezet és kémiai szempontból is stabil réteget sikerült kialakítani.

Felületi rétegben termikus gerjesztés okozta atomi mozgások tanulmányozása a korróziós folyamatok szempontjából. Új eredmény: az elektronikai iparban (a PCB gyártási folyamatban) már a technológiai hőmérsékleten és a technológiai idő alatt is a szemcsehatárokon lejátszódó gyors atommozgási folyamatok korróziós folyamatokat idéznek elő, mely a jól ismert "black pad" jelenséghez vezet, ami elő-utóbb áramkörszakadást idéz elő (*Vacuum 203 (2022)111260*).

Együttműködő partnerünkkel végrehajtott kutatási programban az ólommentes forrasztási pontjainak kompozit technológiával történő megerősítését tanulmányoztuk. A forrasztási anyag és a kompozit anyagként szolgáló SiC szemcsék felületein kialakult kémiai kötéseket határoztuk meg elektronspektroszkópiai mérés technikával (*Ceramics International 49 (2023) 29849-29856*).

A kutatási programunk teljesítéséhez alkalmazott nukleáris gyorsítótechnikával indukált módszert a jövőben üvegszerű anyagok optikai tulajdonságainak a módosítására kívánjuk alkalmazni. Ez irányban tettünk lépéseket az együttműködő partnerünkkel. Wolfrámoxiddal módosítottunk üvegszerű anyagot, mellyel elértük, hogy az infravörös sugárzást jelentős, míg a látható fényt gyenge csillaptással engedje át az üveg. Célunk, hogy az üveg optikai tulajdonságainak módosítását nukleáris gyorsítótechnikával is megvalósítsuk az eddig alkalmazott módszer technikai hiányosságának a kiküszöbölése céljából (*Ceramics International 50 (2024) 14625-14630*).

Radiokémiai

Személyi állomány:

1 tudományos főmunkatárs: 64% Diplomás Átlagbér (DÁ)

1 fiatal kutató: 53%DÁ

2 PhD. ösztöndíjas félállás: 26% DÁ

1 laboráns:72% magyar átlagbér

Diplomás Átlagbér: 936 kFt/hó

Magyar Átlagbér: 625 kFt/hó, 67%DÁ



Radiokémiai

Infrastruktúra: Felújított alacsony aktív labor és beléptető rendszer (szellőző rendszer és sugárvédelmi hiányosságok)

Új műszerek:

SCAN-RAM TLC



vékonyréteg kromatográfia

Ligand-Trace sejt analitika



Eszközök: Víztisztító, Hűtő, mosógép, prösszerszám, fűthető mágneses keverők, pumpák, szivattyúk, mérő és szabályzó berendezések nyálábvéghez

Anyagok: dúsított izotópok, kromatográfiás gyanták, oszlopok, fittingek, gázok üveg és műanyag labor eszközök, vegyszerek

Források :ITKA, TKP, NKFIH, MTA (5+15+35+2 MFT)

Radiokémiai

Tudományos közlemények: 1D1, 1Q1, 8 konferencia

pharmaceuticals

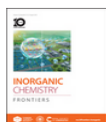
MDPI

Article

Innovative Approach to Produce Pd-103 for Auger-Emitting Radionuclide Therapy: A Proof-of-Concept Study

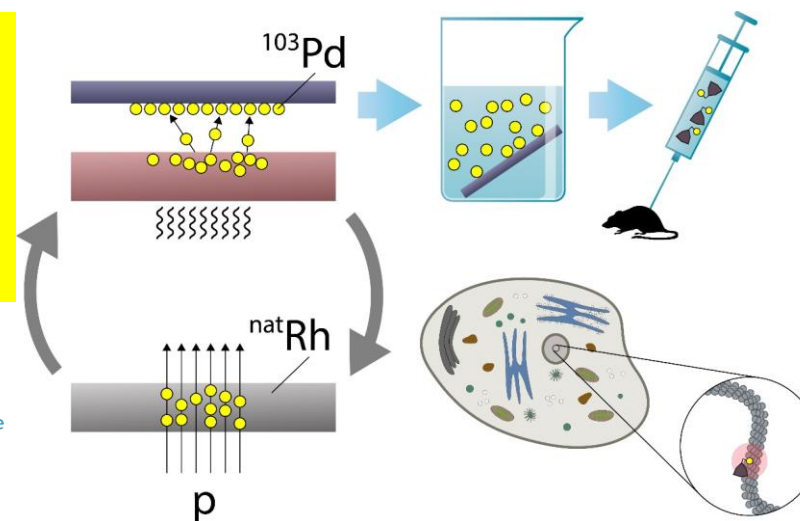
Aicha Nour Laouameria ^{1,2,*}, Mátyás Hunyadi ², Attila Csík ² and Zoltán Szűcs ²

Issue 16, 2023



From the journal:
Inorganic Chemistry Frontiers

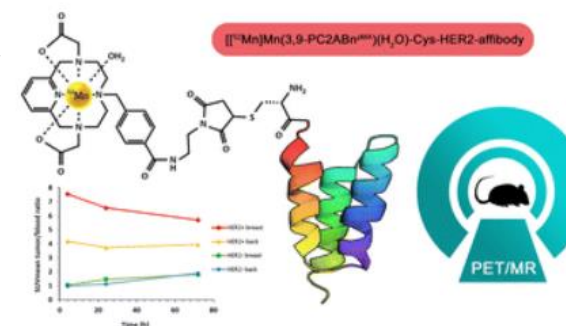
Previous Article



Synthesis and characterization of a novel [⁵²Mn]Mn-labelled affibody based radiotracer for HER2+ targeting †

Check for updates

Balázs Váradi,^{abc} Károly Brezovcsik,^c Zoltán Garda,^a Enikő Madarasi,^{ab} Horea Szedlacsek,^d Rodica-Aura Badea,^d Andrei-Mihai Vasilescu,^d Adina-Gabriela Puiu,^d Aura Elena Ionescu,^d Livia-Elena Sima,^d Cristian V.A. Munteanu,^{id} Simona Călărăș,^d Adrienn Vágner,^e Dezső Szikra,^e Ngô Minh Toàn,^{id} Tibor Nagy,^f Zoltán Szűcs,^{id} Stefan Szedlacsek,^{*d} Gábor Nagy^{*e} and Gyula Tircsó^{id} ^{*a}





NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

AZ NKFI ALAPBÓL
MEGVALÓSULÓ PROGRAM

Radiokémiai kapcsolatok

Hazai egyetemek: DE ^{68}Ga , SOTE PET,

Külföldi kapcsolatok: COST NOAR, Nante-Arronax ^{211}At , Bukarest-

Biokémiai Kut. Int. ^{52}Mn , $^{155,156}\text{Tb}$,

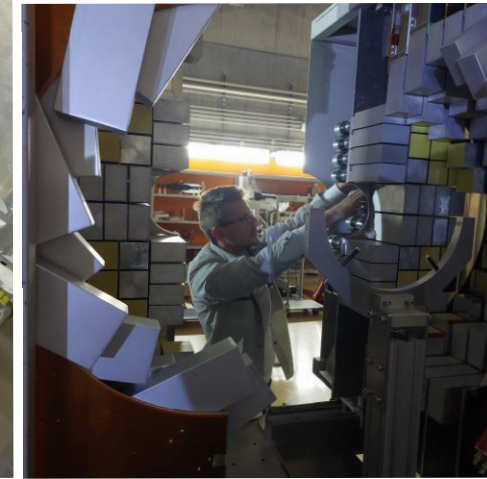
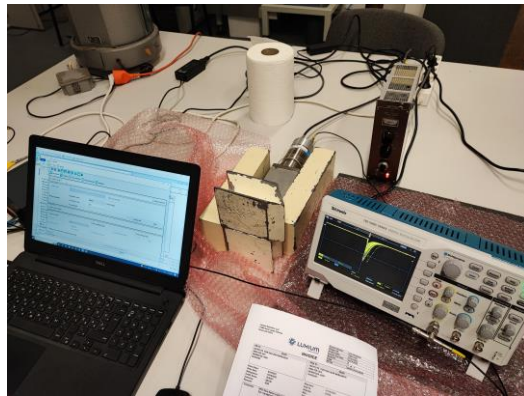
Délafrika NECSA ^{103}Pd , Riken, magadatok

Oroszország Rosatom 2 fő továbbképzés

Pályázatok: Mobilitas, KDP, EU PER-MED

Magszerkezet

20 darab nagy hatásfokú NaI szcintillátor gamma-detektor beszerzése a kis valószínűséggel előálló atommagok gamma-sugárzásainak azonosításához, jellemző magszerkezeti adataik meghatározásához



NaI detektorok

Bemérésük az ATOMKI-ban

Bemérésük a mérési helyen

Installálásuk a mérési berendezésbe

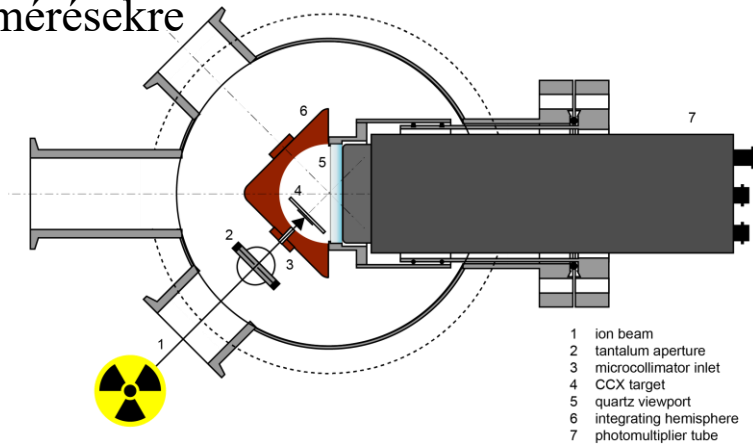
Az 30-70-es tömegszámú és nehezebb izotópok jellemzéséhez meghatározott magadatok publikálása, adatbázisokba való feltöltése:

- Először azonosítottuk a ^{59}V , a ^{61}V atommagok gerjesztett állapotainak energiáját és a kilépő gamma-sugárzásokat. Meghatároztuk ^{66}Se atommagban a gerjesztett állapotok és a hozzájuk kapcsolódó gamma-sugárzások adatait. Első alkalommal határoztuk meg a ^{78}Ni atommag béta-bomlásának felezési idejét, a béta-bomlás során előálló ^{78}Cu atommaghoz rendelhető gamma-sugárzások és gerjesztett állapotok adatait. A kutatások nemzetközi élvonalbeliségét az eredmények D1 és Q1 tudományos folyóiratokban történő publikálása mutatja [Z. Elekes, M. M. Juhász, D. Sohler, et al., *Physical Review C* 106, 064321 (2022), Z. Elekes, M. M. Juhász, et al., *Physics Letters B* 844, 138072 (2023), L. G. Pedersen, ..., I. Kuti, D. Sohler, et al., *Physical Review C* 107, 044301 (2023); L. G. Pedersen, ..., I. Kuti, D. Sohler, et al., *Acta Physica Polonica B Proceedings Supplement* 16, 4-A14 (2023)].
- A 101-es tömegszámú atommagok szerkezetére vonatkozó kompilációt beküldtük a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) NDS adatbázisába.
- A vállalásokon felül a először állítottuk elő a nagyon ritka ^{28}O atommagot, a kapott eredményeket a Nature folyóiratban közzeltük [Y. Kondo, ..., Z. Elekes, I. Kuti, D. Sohler, et al., *Nature* 620, 7976, pp. 965-970. (2023)].
- Nemzetközi kollaborációk keretében 12 mérést hajtottunk végre, 11 méréstervet, mérési szándék- nyilatkozatot nyújtottunk be. Az ATOMKI tagja lett a RIKEN japán magfizikai kutatóintézetben működő SUNFLOWER nemzetközi kollaboráció Irányító Tanácsának és a HYPATIA gamma-detektorrendszer felépítésére alakult nemzetközi együttműködésnek.
- 5 PhD hallgatót lett alkalmazva magadat meghatározáshoz, közülük 1 fiatal kutató doktori (PhD) fokozatot szerzett.

AZ NKFI ALAPBÓL
MEGVALÓSULÓ PROGRAM

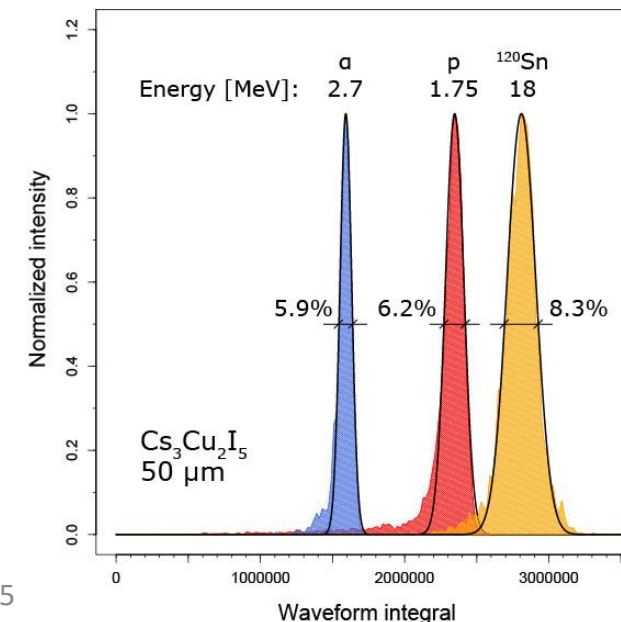
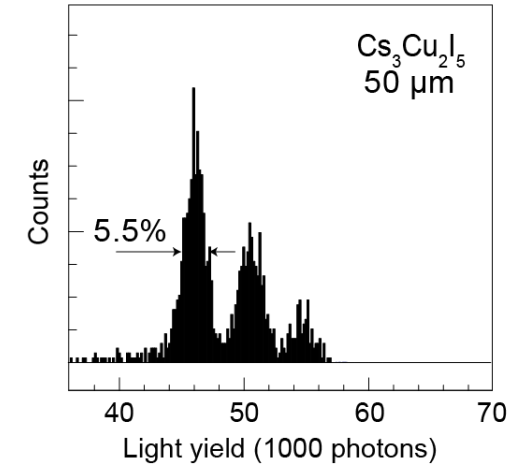
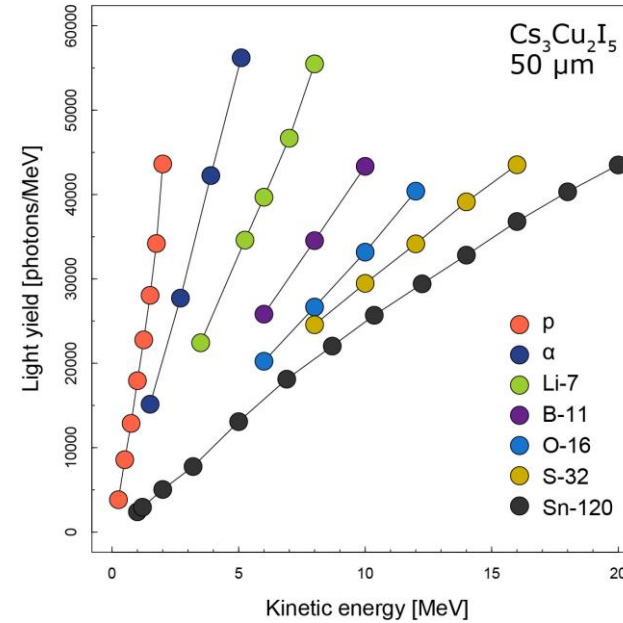
Kalibrált fényhozam-mérések

- Fényintegráló berendezés PMT-vel felszerelve
- Jelforma digitalizáció 0.5-4 GS/s sebességgel
- Alkalmas forrásokkal és gyorsított ionnyalábokkal való mérésekre



Részecske-radiolumineszcencia szisztematikus mérése

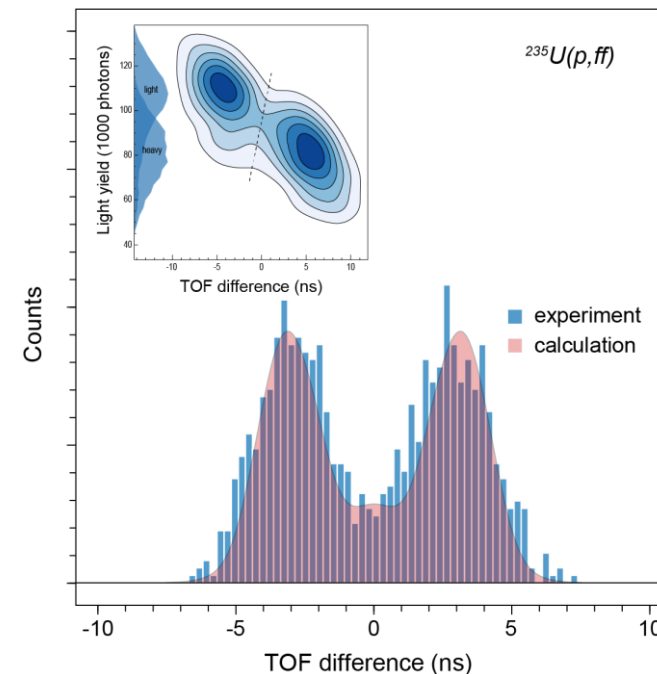
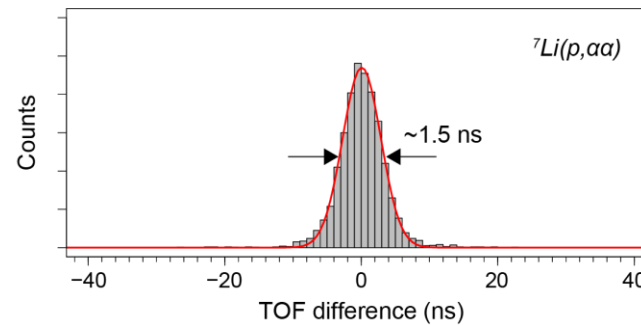
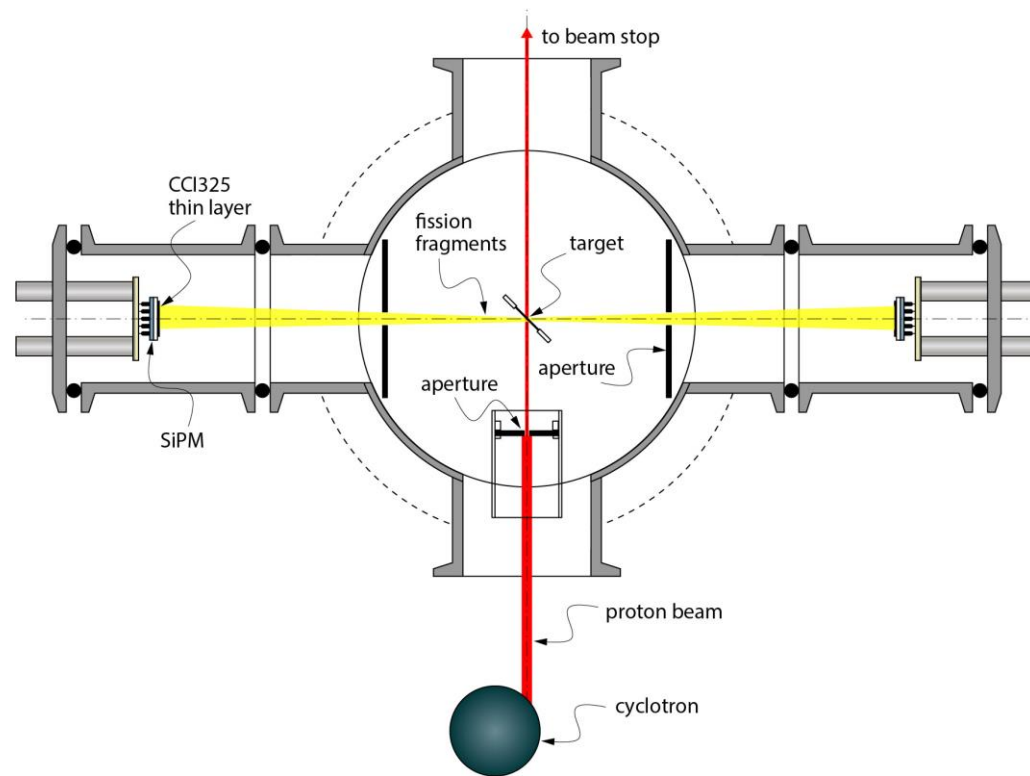
- Besugárzás protontól Sn-120 nehézionnyalábokig
- Jó energiafeloldás, kitűnő érzékenység/ár arány
- Nagy ellenállóképesség környezeti hatásokkal szemben (hőmérséklet, páratartalom, nagy sugárdózis)





Prototípus detektorok tesztelése valós kísérleti körülmények között

- $^8\text{Be}^*$ két-alfa bomlása (Tandetron)
- ^{235}U hasadása, tömegeloszlás mérése (Ciklotron)



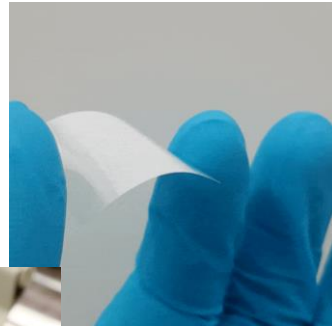


NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

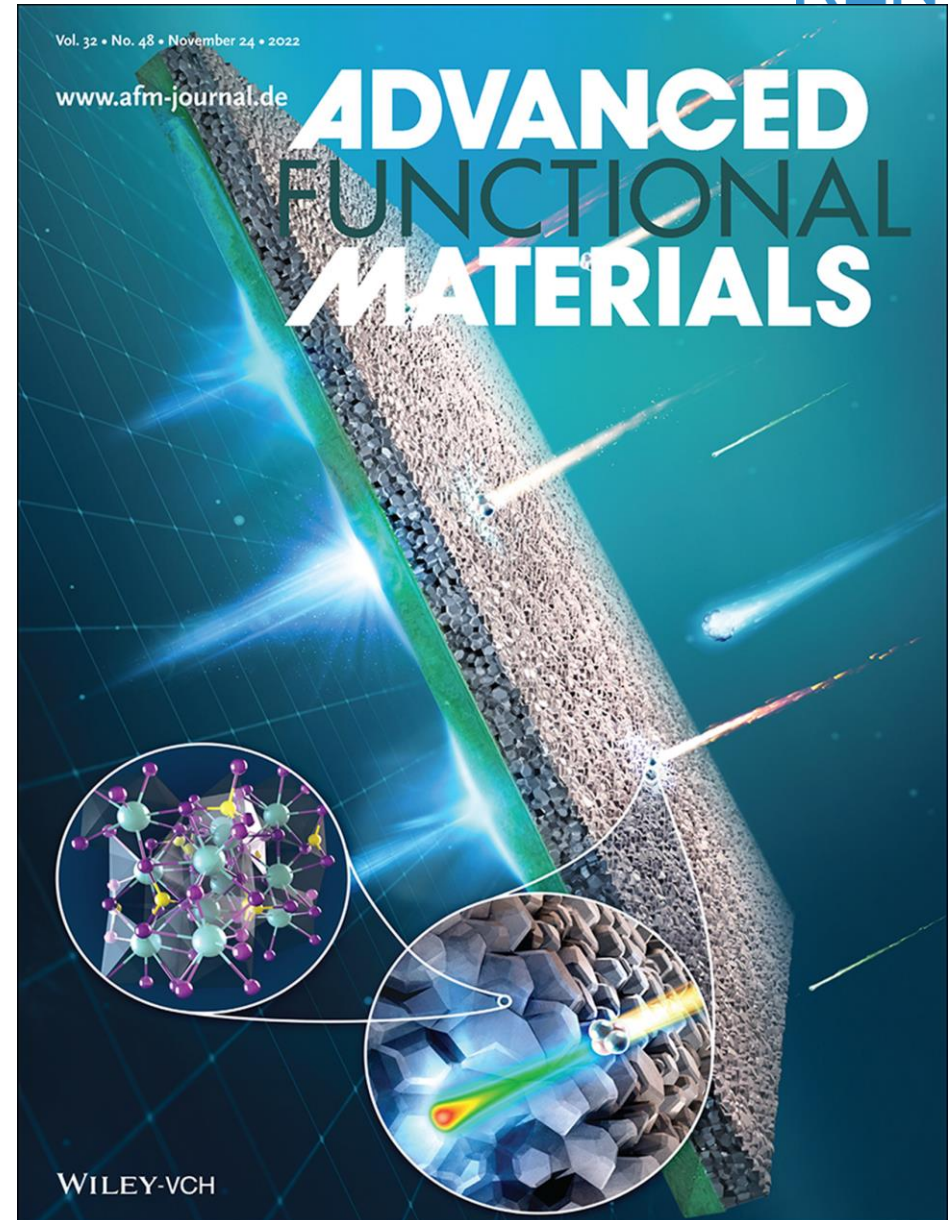
AZ NKFI ALAPBÓL
MEGVALÓSULÓ PROGRAM

Eredmények:

- A Cs₃Cu₂I₅ vékonyrétegek szcintillációs tulajdonságai összemérhetők a kereskedelmi szcintillátorokéval, versenyképességét alacsony előállítási költségei és kiváló szerkezeti stabilitása biztosítja.
- Prototípus detektorok
- Publikációk, szabadalmi beadványok



HUN
REN





NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

AZ NKFI ALAPBÓL
MEGVALÓSULÓ PROGRAM

Köszönöm a figyelmet!