

Doktori (PhD) értekezés tézisei

A béta-késleltetett részecskekibocsátás
jelensége és kísérleti vizsgálata

Vitéz-Sveiczzer András

Témavezető: Dr. Kiss Gábor Gyula



DEBRECENI EGYETEM
Fizikai Tudományok Doktori Iskola
Debrecen, 2024

1. A ^{70}Kr mag béta-bomlása

Bevezetés és célkitűzések

Az irodalomban számos motiváció volt a ^{70}Kr mag β -bomlásának vizsgálatára. Először is az izotópok ezen régiójában mind diszkosz alakú, mind szivar alakú deformált magok is megjelennek, így a magalakok vizsgálata a figyelem középpontjába került [1]. A ^{70}Kr mag alakja különösen érdekes, ugyanis Wimmer és társai azt valószínűsítették közvetett bizonyítékok alapján, hogy az jelentősen különbözik tükörmagjának (^{70}Se) alakjától. A magalakok vizsgálatának egyik közvetett módja, hogy a β -bomlás átmeneti valószínűségeinek kísérletileg meghatározott értékeket a különböző alakokra számolt elméleti értékekkel összehasonlítjuk [2]. Másodsor is a $Z = N + 2$ magok bomlásának vizsgálata az atommag pszeudo- $SU(4)$ szimmetriájának megfigyelésére is alkalmas [3], és az $A = 70$ a legnehezebb ilyen mag, melyet eddig vizsgáltak. Ezeken felül a ^{70}Kr mag az asztrofizikai rp -folyamat egyik feltételezett várakozási pontja [4].

Így a kísérlet elsődleges célkitűzése a ^{70}Kr mag bomlási sémájának részletes vizsgálata, míg másodlagos célkitűzése a felezési időnek a korábbiaknál pontosabb, a protonkibocsátási valószínűségének pedig az első meghatározása.

A kísérlet ismertetése

A kísérletet a RIKEN Nishina Center kutatóintézet RIBF gyorsítójával végeztük el [5]. A ^{70}Kr mag β -bomlásának vizsgálatához teljesen ionizált ^{78}Kr elsődleges nyalábot használtunk $I_{\text{nyaláb}} = 40$ pnA átlagos intenzitással. Az elsődleges nyalábot egy 5 mm széles ^9Be céltárgyra irányítottuk $E_{\text{kin}} = 345$ MeV/nukleon mozgási energiával, hogy így a ^{78}Kr mag fragmentációja által protondús izotópokat hozzunk létre. A keletkezett izotópokat a BigRIPS szeparátorral azonosítottuk és a kísérletünk számára érdekes magokat tartalmazó nyalábot elválasztottuk [6]. Az elválasztott

nyalábót a három réteg x és y irányban szegmentált szilícium detektorból álló WAS3ABi implantációs állomásban állítottuk meg [7]. A kísérlet során összesen $N_{\text{imp}}(^{70}\text{Kr}) = 1\,603\,610$ mag beágyazódását észleltük. A WAS3ABi detektort a beágyazódott ionok, a β -eseményekből származó pozitronok, és a β -késleltetett protonok észlelésére használtuk, mely eseményeket a leadott energiájuk nagysága alapján különböztettünk meg egymástól. A ^{70}Kr β -bomlása során kibocsátott γ -átmeneteket a 84 HPGe detektorból álló EURICA detektorrendszerrel mértük [8].

A kísérleti adatok alapján implantáció- β , implantáció- β - γ , implan-táció- β - γ - γ , implantáció-proton és implantáció-proton- γ időkorrelációs eseményeket hoztunk létre a β -bomlás jellemzőinek meghatározásához. Első lépésként a β -események időkorrelációs görbéjének Bateman-illesztésével meghatároztam a ^{70}Kr mag felezési idejét. Ezután a β -késleltetett protonkibocsátási valószínűséget határoztam meg a detektorban protonként azonosított események számlálásával. A protonok időkorrelációs görbéjének háttérlevonás utáni exponenciális illesztésével szintén meghatároztam a ^{70}Kr mag felezési idejét. A β -késleltetett γ -átmenetek vizsgálatával harmadjára is megmértem a ^{70}Kr mag felezési idejét, a Compton-levonás utáni időkorrelációs görbéjük exponenciális illesztése által.

A lánymag (^{70}Br) nívósémájának felépítéséhez a γ -kaszkádot a β -késleltetett γ - γ koincidenciák segítségével vizsgáltam. Az egyes nívók β -táplálásának számítását azzal a feltételezéssel végeztem, hogy a γ -táplálások negatív mérlege a nívóra közvetlenül érkező β -átmenetekből származik. A $\log ft$ értékeket és a redukált átmeneti valószínűségeket – $B(F)$ a Fermi átmenetekre, és $B(GT)$ a Gamow-Teller átmenetekre – a mért β -táplálások alapján számoltam.

A redukált átmeneti valószínűségeket elméleti számítások eredményeivel hasonlítottam össze. Az elméleti számítások során az atommag állapotainak leírása a héjmodell keretein belül történt pseudo- $SU(4)$ szimmetria feltételezésével [9, 10]. A sematikus Hamilton-operátor a pseudo-spintérben \tilde{d} pályákon (zérus energián), és \tilde{s} pályákon ($\epsilon_{\tilde{s}}$ energián) alapult, a nukleon-nukleon kölcsönhatást a delta kölcsönhatás izoskalár és izovektor csatornáival vette figyelembe, a deformációból származó elektromágneses tagot pedig egy kvadrupólus tag képviselte. Három számítást végeztünk, ahol a Hamilton-operátor paramétereit úgy hangoltuk, hogy 1) gömbszim-

metrikus, 2) szivar alakú, 3) diszkosz alakú állapotot kapjunk a ^{70}Kr mag alapállapotára, és hogy a ^{70}Br mag első gerjesztett 1^+ és 2^+ állapotai minden esetben egyezzenek a kísérleti eredményekkel. A pszeudo-spintérben a transzformált Gamow–Teller operátorral kiszámoltuk a $B(GT)$ redukált átmeneti valószínűségeket a sematikus Hamilton-operátor saját állapotaira, mely a ^{70}Br mag egyes állapotainak felelt meg.

Tudományos eredmények

A ^{70}Kr mag vizsgálata céljából végzett kísérlet tudományos eredményeit két tézispontban foglalom össze.

1.a Bomlási paraméterek

- Három módszerrel meghatároztam a ^{70}Kr mag felezési idejét. A β -részecskék alapján meghatározott felezési idő ($t_{1/2}^{i\beta} = 45.19 \pm 0.14$ ms) konzisztens a másik két módszerrel mért eredménnyel, és az irodalmi értékekkel is, míg utóbbiakhoz képest ötvénszer precízebb¹.
- Elsőként mértem meg a ^{70}Kr protonkibocsátási valószínűségét ($\varepsilon_p = 0.545 \pm 0.023$ %)².
- Egy részleges bomlási sémáját felépítettem 10 új nívóval ($I_\beta > 0.5\%$ érzékenység mellett) és 15 új γ -átmenettel².
- Meghatároztam az egyes nívók $\log ft$ értékeit és a redukált átmeneti valószínűségeket².

1.b Magelméleti értelmezés

- A kísérleti eredmények és az elméleti $B(GT)$ számítások összehasonlításával arra jutottunk, hogy a ^{70}Kr mag alapállapota vélhetően

¹ A. Vitéz-Sveiczter és tsai., „Studying the exotic decay ^{70}Kr into ^{70}Br ”, Acta Phys. Pol. B **51**, 587 (2020).

² A. Vitéz-Sveiczter és tsai., „The β -decay of ^{70}Kr into ^{70}Br : Restoration of the pseudo-SU(4) symmetry”, Physics Letters B **830**, 137123 (2022).

deformált, minthogy a gömbszimmetrikus esetben a $B(GT)$ sokkal alacsony energiájú állapotok között oszlott el, mint azt a kísérleti adatok alapján láttuk. A különbség a prolate és az oblate eset között viszont túl kicsi volt ahhoz, hogy a kísérleti eredményekkel összevetve egyértelműen dönthessünk a deformáció irányáról^{2,3}.

- Mindhárom számítás során azt találtuk, hogy a $B(GT)$ eloszlása az első gerjesztett 1_1^+ ($E_x = 1120$ keV) állapotra koncentrálna, ami a pseudo- $SU(4)$ szimmetriát teljesítő GT operátor kiválasztási szabályainak közvetlen következménye. Az elméleti jóslat a szimmetria tökéletes teljesülése esetén $B(GT; 0_1^+ \rightarrow 1_1^+)^{th.} = \frac{2}{3}q^2 \approx 0.37$, amit jól közelít a kísérleti eredmény $B(GT; 0_1^+ \rightarrow 1_1^+)^{exp.} = 0.26(3)$. Így arra a következtetésre jutottunk, hogy a pseudo- $SU(4)$ szimmetria látványos sérülése után az $A = 62$ és $A = 66$ magok esetén, az $A = 70$ magokra az újra megjelenik^{2,3}.

2. A ritkaföldfém-csúcs kialakulása

Bevezetés és célkitűzések

A ritkaföldfém-csúcs (REP) az asztrofizikai r -folyamat előfordulási gyakoriság görbéjének egy kisebb csúcsa $A \approx 160$ tömegszámok környékén, mely a két karakterisztikus csúcs között ($A \approx 130$ és $A \approx 195$) helyezkedik el [13]. Míg a karakterisztikus csúcsok keletkezését az $N = 82$ és $N = 126$ neutronszámoknál megfigyelhető héjlezáródások magyarázzák, a REP létrejöttének triviális magelméleti magyarázata nem ismert. Az egyik legnépszerűbb magyarázat a létrejöttére, hogy az asztrofizikai környezet és a kifagyási szakaszban érintett egyes magok magfizikai tulajdonságának együttes hatása okozza a ritkaföldfém magok felhalmozódását [14]. Egy másik elmélet szerint a maghasadások járulnak hozzá ezen magok felhalmozódásához a neutroncsillagok összeolvadása esetén [15]. A REP

³ P. Van Isacker, A. Algora, A. Vitéz-Sveiczter és tsai., „Gamow–Teller Beta Decay and Pseudo-SU(4) Symmetry”, *Symmetry* **15** (2023).

létrejöttének elméleti megértésének nehézségeiről, és a szükséges információkról egy összefoglaló olvasható a [16] kéziratban.

A kísérletünk során egy olyan másodlagos ionnyaláb létrehozását céloztuk meg, mely a [17] munkában megjelölt – a REP kialakulásáért vélhetően felelős – magtartomány magjait tartalmazza.

Az elsődleges célkitűzése a munkámnak, hogy a létrehozott magoknak a felezési idejét és egy-neutronkibocsátási valószínűségét (P_{1n}) meghatározzam, majd az új adatok hatását vizsgáljam a REP létrejöttének matematikai leírására. A másodlagos célkitűzés a széleskörűen használt magmodellek jóslatának összehasonlítása volt az új kísérleti adatokkal, hogy javaslatokat tehessünk azok pontosítására.

A REP kísérlet a BRIKEN kampány részeként valósult meg [18], mely célja, hogy a RIKEN Nishina Center kutatóintézet RIBF gyorsítókomplexumával elérhető neutrondús magok β -késleltetett neutronkibocsátását szisztematikusan tanulmányozzuk [5].

A kísérlet ismertetése

A REP kísérlet során elsődleges nyalábnak ^{238}U ionokat használtunk $I_{\text{nyaláb}} = 60$ pA átlagos intenzitással. Az ionnyalábot 5 mm vastag ^9Be céltárgyra irányítottuk $E_{\text{kin}} = 345$ MeV/nukleon mozgási energiával, így indukált maghasadással neutrondús magok keletkeztek. A keletkezett magokat a BigRIPS segítségével elválasztottuk és azonosítottuk [6]. A célunk egy olyan magokból álló koktélnyaláb létrehozása volt, melyek nagy valószínűséggel a ritkaföldfém-csúcs keletkezésében kulcsszerephez jutnak [17]. A szeparált nyalábot az öt réteg x és y irányban szegmentált szilícium detektorból álló AIDA implantációs állomásra irányítottuk [19, 20]. Az AIDA detektor segítségével észleltük az ionok beágyazódását, és a β -bomlásokból származó elektronokat, és azokat a leadott energiájuk nagysága alapján választottuk egymástól. Az implantációs állomást a BRIKEN neutronszámlálóval vettük körbe, mely 140 db ^3He gázzal töltött proporciónális számlálót tartalmazott egy polietilén mátrixba beágyazva [18, 21]. Két nagy tisztaságú germánium detektort is elhelyeztünk a β -késleltetett γ -fotonok észlelésére, továbbá a nyaláb által indukált háttér vétőzása céljából szilícium és plasztik detektorokat használtunk.

A kísérleti adatok alapján implantáció- β , implantáció- β - γ és implantáció- β -neutron időkorrelációs eseményeket hoztam létre a bomlási paraméterek meghatározásához. Elsőként a kóktélnyaláb ionjainak azonosítását és szétválasztását végeztem el, ionok sebességének, mint extra dimenzióknak a felhasználásával a grafikus vágások során. Majd a β -események időkorrelációs görbéjének Bateman-illesztésével határoztam meg a felezési időt minden egyes izotópra. A β -késleltetett neutronkibocsátási valószínűséget az implantáció- β -neutron korrelációk integrálásával és háttérlevonásával határoztam meg [21]. Végül a β -késleltetett γ -átmenetek vizsgálatával is meghatároztam a felezési időt néhány mag esetén, az időkorrelációs görbék exponenciális illesztésével.

Az új kísérleti értékeket összehasonlítottam néhány széleskörűen használt magmodell jóslataival [22–25]. Ezután az új mag paramétereket felhasználva r -folyamat hálózatszámításokat végeztünk a PRISM program segítségével [26, 27]. Két asztrofizikai környezetet vizsgáltunk, egy hideg dinamikus kilövellést [28], mely a neutroncsillagok összeolvadásának felel meg, és egy forró neutrínó hajtotta szelet [16], mely egy szupernóvának feleltethető meg. Az új bomlási paraméterek hatását a ritkaföldfém-csúcs (REP) kialakulására egy variációalapú érzékenységszámítással vizsgáltuk [29].

Tudományos eredmények

A REP létrejöttének vizsgálata céljából végzett kísérlet tudományos eredményeit két tézispontban foglalom össze.

2.a Bomlási paraméterek

- A mérés eredményeként kilenc izotóp esetén ($^{164-166}\text{Pm}$, $^{167,168}\text{Sm}$, $^{169,170}\text{Eu}$ és $^{171,172}\text{Gd}$) elsőként határoztam meg a felezési időt, míg 19 mag esetén az irodalmi értékekhez viszonyítva pontosabb értékeket adtam meg⁴.

⁴G. G. Kiss, A. Vitéz-Sveiczter és tsai., „Measuring the β -decay Properties of Neutron-rich Exotic Pm, Sm, Eu, and Gd Isotopes to Constrain the Nucleosynthesis Yields in the Rare-earth Region”, *The Astrophysical Journal* **936**, 107 (2022).

- A β -késleltetett egy-neutronkibocsátási valószínűséget (P_{1n} érték) először vizsgáltam a régióban. Tizenegy magra ($^{161-165}\text{Pm}$, $^{165,166}\text{Sm}$ and $^{166-169}\text{Eu}$) új értéket, míg a maradék 17 mag esetén pedig felsőhatárt tudtam meghatározni¹.
- Néhány mag β -késleltetett γ -átmeneteinek vizsgálatával a felezési idők vizsgálatára és izomér állapotok keresésére is lehetőség adódott⁵.

2.b Magelméleti és asztrofizikai következmények

- Az elméleti jóslatok között jelentősek a különbségek mind a felezési idők, mind a P_{1n} értékek esetén a vizsgált magtartományon, melyek érzékenyen befolyásolják az r -folyamat asztrofizikai számításait. Továbbá egyik elmélet se írja le konzisztensen a kísérleti eredményeket. A P_{1n} értékek eltérése az elméleti jóslatoktól vélhetően abból származik, hogy a β -bomlás Gamow–Teller komponensének átmeneti valószínűségeit ($B(GT)$) pontatlanul becslik az alkalmazott modellek. Éppen ezért javaslatot tettünk ezen magtartományon a $B(GT)$ értékek közvetlen mérésére irányuló kísérletek elvégzésére a *Total Absorption Spectroscopy* (TAS) technikával¹.
- Az előfordulások érzékenysége nagyrészt a felezési idők esetén látványos, míg ezen a tartományon úgy tűnik a P_{1n} értékek közel elhanyagolható hatással vannak a kialakult előfordulásokra. Ez azon magok β -bomlás általi keletkezésének időbeli eltolásával magyarázható, melyek fogékonyabbak a neutronok befogására. Így ezen magok a kifagyás későbbi szakaszában keletkeznek, ahol már alacsonyabb a neutron-sűrűség, ezzel csökkentve a neutronbefogások számát, ezáltal eltolva a megfigyelhető előfordulásokat az alacsonyabb tömegszámok felé¹.
- Néhány mag felezési idejének különösen nagy a hatása mindkét környezet esetén, több tömegszámra is az érzékenységek bő többségéért

⁵ A. Vitéz-Sveiczner és tsai., „Half-life Measurement Using Implant- $(\beta\text{-}\gamma)$ Time Correlations in the Region of Neutron-rich Lanthanides”, *Acta Phys. Pol. B Proc. Suppl.* **16**, 4–A8 (2023).

felelnek. Így arra a következtetésre jutottunk, hogy ezen magok bomlási paramétereinek precízebb mérése elengedhetetlennek tűnik a REP létrejöttének megértéséhez¹.

Hivatkozások

- [1] E. Náchér és tsai., „Deformation of the $N = Z$ Nucleus ^{76}Sr using β -Decay Studies”, *Phys. Rev. Lett.* **92**, 232501 (2004).
- [2] I. Hamamoto, „Gamow-Teller β^+ decays of deformed $N \approx Z$ Sr isotopes close to the proton drip line”, *Phys. Rev. C* **60**, 011305 (1999).
- [3] P. Van Isacker, A. Algora, A. Vitéz-Sveiczzer és tsai., „Gamow–Teller Beta Decay and Pseudo-SU(4) Symmetry”, *Symmetry* **15** (2023).
- [4] A. Parikh és tsai., „Nucleosynthesis in type I X-ray bursts”, *Progress in Particle and Nuclear Physics* **69**, 225–253 (2013).
- [5] Y. Yano, „The RIKEN RI Beam Factory Project: A status report”, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* **261**, 1009–1013 (2007).
- [6] N. Fukuda és tsai., „Identification and separation of radioactive isotope beams by the BigRIPS separator at the RIKEN RI Beam Factory”, *Nucl. Instr. Meth.* **317**, 323 (2013).
- [7] S. Nishimura, „Beta-gamma spectroscopy at RIBF”, *Progress of Theoretical and Experimental Physics* **2012**, 03C006 (2012).
- [8] P.-A. Söderström és tsai., „Installation and commissioning of EURICA – Euroball-RIKEN Cluster Array”, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* **317**, XVIth International Conference on ElectroMagnetic Isotope Separators and Techniques Related to their Applications, December 2–7, 2012 at Matsue, Japan, 649–652 (2013).

- [9] A. Arima, M. Harvey és K. Shimizu, „Pseudo LS coupling and pseudo SU3 coupling schemes”, *Physics Letters B* **30**, 517–522 (1969).
- [10] K. Hecht és A. Adler, „Generalized seniority for favored $J \neq 0$ pairs in mixed configurations”, *Nuclear Physics A* **137**, 129–143 (1969).
- [11] A. Vitéz-Sveiczler és tsai., „Studying the exotic decay ^{70}Kr into ^{70}Br ”, *Acta Phys. Pol. B* **51**, 587 (2020).
- [12] A. Vitéz-Sveiczler és tsai., „The β -decay of ^{70}Kr into ^{70}Br : Restoration of the pseudo-SU(4) symmetry”, *Physics Letters B* **830**, 137123 (2022).
- [13] C. Sneden, J. J. Cowan és R. Gallino, „Neutron-Capture Elements in the Early Galaxy”, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* **46**, 241–288 (2008).
- [14] R. Surman és tsai., „Source of the Rare-Earth Element Peak in r -Process Nucleosynthesis”, *Phys. Rev. Lett.* **79**, 1809–1812 (1997).
- [15] S. Goriely és tsai., „New Fission Fragment Distributions and r -Process Origin of the Rare-Earth Elements”, *Phys. Rev. Lett.* **111**, 242502 (2013).
- [16] M. R. Mumpower és tsai., „The link between rare-earth peak formation and the astrophysical site of the r process”, *The Astrophysical Journal* **833**, 282 (2016).
- [17] M. R. Mumpower, G. C. McLaughlin és R. Surman, „Formation of the rare-earth peak: Gaining insight into late-time r -process dynamics”, *Phys. Rev. C* **85**, 045801 (2012).
- [18] A. Tarifeño-Saldivia és tsai., „Conceptual design of a hybrid neutron-gamma detector for study of β -delayed neutrons at the RIB facility of RIKEN”, *Journal of Instrumentation* **12**, P04006 (2017).
- [19] C. Griffin és tsai., „Beta-decay studies of r -process nuclei using the Advanced Implantation Detector Array”, *PoS NIC XIII*, 097 (2015).

- [20] O. Hall és tsai., „The Advanced Implantation Detector Array (AIDA)”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 168166 (2023).
- [21] A. Tolosa-Delgado és tsai., „Commissioning of the BRIKEN detector for the measurement of very exotic β -delayed neutron emitters”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment **925**, 133–147 (2019).
- [22] P. Möller és tsai., „Nuclear properties for astrophysical and radioactive-beam applications (II)”, Atomic Data and Nuclear Data Tables **125**, 1–192 (2019).
- [23] T. Marketin, L. Huther és G. Martínez-Pinedo, „Large-scale evaluation of β -decay rates of r -process nuclei with the inclusion of first-forbidden transitions”, Phys. Rev. C **93**, 025805 (2016).
- [24] E. M. Ney és tsai., „Global description of β^- decay with the axially deformed Skyrme finite-amplitude method: Extension to odd-mass and odd-odd nuclei”, Phys. Rev. C **102**, 034326 (2020).
- [25] F. Minato, T. Marketin és N. Paar, „ β -delayed neutron-emission and fission calculations within relativistic quasiparticle random-phase approximation and a statistical model”, Phys. Rev. C **104**, 044321 (2021).
- [26] M. R. Mumpower és tsai., „Reverse engineering nuclear properties from rare earth abundances in the r process”, Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics **44**, 034003 (2017).
- [27] M. R. Mumpower és tsai., „ β -delayed Fission in r -process Nucleosynthesis”, The Astrophysical Journal **869**, 14 (2018).
- [28] N. Vassh és tsai., „Using excitation-energy dependent fission yields to identify key fissioning nuclei in r -process nucleosynthesis”, Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics **46**, 065202 (2019).

- [29] A. Saltelli és tsai., „Variance based sensitivity analysis of model output. Design and estimator for the total sensitivity index”, *Computer Physics Communications* **181**, 259–270 (2010).
- [30] G. G. Kiss, A. Vitéz-Sveiczzer és tsai., „Measuring the β -decay Properties of Neutron-rich Exotic Pm, Sm, Eu, and Gd Isotopes to Constrain the Nucleosynthesis Yields in the Rare-earth Region”, *The Astrophysical Journal* **936**, 107 (2022).
- [31] A. Vitéz-Sveiczzer és tsai., „Half-life Measurement Using Implant- $(\beta\text{-}\gamma)$ Time Correlations in the Region of Neutron-rich Lanthanides”, *Acta Phys. Pol. B Proc. Suppl.* **16**, 4–A8 (2023).



Nyilvántartási szám: DEENK/453/2024.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Vitéz-Sveiczter András
Doktori Iskola: Fizikai Tudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10078364

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (4)

1. Van Isacker, P., Algora, A., **Vitéz-Sveiczter, A.**, Kiss, G. G., Orrigo, S. E. A., Rubio, B., Aguilera, P.: Gamow-Teller Beta Decay and Pseudo-SU(4) Symmetry. *Symmetry*. 15 (11), 1-15, 2023. EISSN: 2073-8994.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/sym15112001>
IF: 2.2
2. Kiss, G. G., **Vitéz-Sveiczter, A.**, Saito, Y., Tarifeno-Saldivia, A., Pallas, M., Tain, J. L., Dillmann, I., Agramunt, J., Algora, A., Domingo Pardo, C., Estrade, A., Appleton, C., Allmond, J. M., Aguilera, P., Baba, H., Brewer, N. T., Bruno, C., Caballero-Folch, R., Calvino, F., Coleman-Smith, P. J., Cortes, G., Davinson, T., Fukuda, N., Ge, Z., Go, S., Griffin, C. J., Grzywacz, R., Hall, O., Horváth, A., Ha, J., Harkness-Brennan, L. J., Isobe, T., Kahl, D., King, T. T., Korgul, A., Kovács, S. T. S., Krucken, R., Kubono, S., Labiche, M., Liu, J., Liang, J., Madurga, M., Miernik, K., Molina, F., Morales, A. I., Mumpower, M. R., Nacher, E., Navarro, A., Nepal, N., Nishimura, S., Phong, V., Rasco, B. C., Rubio, B., Rykaczewski, K. P., Romero-Barrientos, J., Sakurai, H., Sexton, L., Shimizu, Y., Singh, M., Sprouse, T., Sumikama, T., Surman, R., Suzuki, H., Szegedi, T. N., Takeda, H., Tolosa, A., Wang, K., Wolinska-Cichocka, M., Woods, P., Yokoyama, R., Xu, Z.: Measuring the beta-decay Properties of Neutron-rich Exotic Pm, Sm, Eu, and Gd Isotopes to Constrain the Nucleosynthesis Yields in the Rare-earth Region. *Astrophys. J.* 936 (2), 1-18, 2022. ISSN: 0004-637X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3847/1538-4357/ac80fc>
IF: 4.9





3. **Vitéz-Sveiczter, A.**, Algora, A., Morales, A. I., Rubio, B., Kiss, G. G., Sarriguren, P., Van Isacker, P., De Angelis, G., Recchia, F., Nishimura, S., Agramunt, J., Guadilla, V., Montaner-Pizá, A., Orrigo, S. E. A., Horváth, A., Napoli, D., Lenzi, S., Boso, A., Phong, V. H., Wu, J., Söderström, P. A., Sumikama, T., Suzuki, H., Takeda, H., Ahn, D. S., Baba, H., Doornebal, P., Fukuda, N., Inabe, N., Isobe, T., Kubo, T., Kubono, S., Sakurai, H., Shimizu, Y., Sidong, C., Blank, B., Ascher, P., Gerbaux, M., Goigoux, T., Giovinazzo, J., Grévy, S., Kurtukián Nieto, T., Magron, C., Gelletly, W., Dombrádi, Z., Fujita, Y., Tanaka, M., Aguilera, P., Molina, F., Eberth, J., Diel, F., Lubos, D., Borcea, C., Ganioglu, E., Nishimura, D., Oikawa, H., Takei, Y., Yagi, S., Kortén, W., De France, G., Davies, P., Liu, J., Lee, J., Lokotko, T., Kojouharov, I., Kurz, N., Shaffner, H., Petrovici, A.: The β -decay of ^{70}Kr into ^{70}Br : Restoration of the pseudo-SU(4) symmetry.

Phys. Lett. B. 830, 1-8, 2022. ISSN: 0370-2693.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2022.137123>

IF: 4.4

4. **Vitéz-Sveiczter, A.**, Algora, A., Morales, A. I., Rubio, B., Kiss, G. G., De Angelis, G., Recchia, F., Nishimura, S., Agramunt, J., Guadilla, V., Montaner-Pizá, A., Orrigo, S. E. A., Horváth, A., Napoli, D., Lenzi, S., Boso, A., Phong, V. H., Wu, J., Söderström, P. A., Sumikama, T., Suzuki, H., Takeda, H., Ahn, D. S., Baba, H., Doornebal, P., Fukuda, N., Inabe, N., Isobe, T., Kubo, T., Kubono, S., Sakurai, H., Shimizu, Y., Chen, S., Blank, B., Ascher, P., Gerbaux, M., Goigoux, T., Giovinazzo, J., Grévy, S., Kurtukián Nieto, T., Magron, C., Gelletly, W., Dombrádi, Z., Fujita, Y., Tanaka, M., Aguilera, P., Molina, F., Eberth, J., Diel, F., Lubos, D., Borcea, C., Ganioglu, E., Nishimura, D., Oikawa, H., Takei, Y., Yagi, S., Kortén, W., De France, G., Davies, P., Liu, J., Lee, J., Lokotko, T., Kojouharov, I., Kurz, N., Shaffner, H.: Studying the Exotic Decay $^{70}\text{Kr} \rightarrow ^{70}\text{Br}$.

Acta Phys. Pol. B. 51 (3), 587-594, 2020. ISSN: 0587-4254.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5506/APhysPolB.51.587>

IF: 0.748





Idegen nyelvű konferencia közlemények (1)

5. **Vitéz-Sveiczter, A.**, Kovács, S. T. S., Kiss, G. G., Saito, Y., Tarifeno-Saldivia, A., Pallas, M., Tain, J. L., Dillmann, I., Agramunt, J., Algora, A., Domingo Pardo, C., Estrade, A., Appleton, C., Allmond, J. M., Aguilera, P., Baba, H., Brewer, N. T., Bruno, C., Caballero-Folch, R., Calvino, F., Coleman-Smith, P. J., Cortes, G., Davinson, T., Fukuda, N., Ge, Z., Go, S., Griffin, C. J., Grzywacz, R., Hall, O., Horváth, A., Ha, J., Harkness-Brennan, L. J., Isobe, T., Kahl, D., King, T. T., Korgul, A., Krucken, R., Kubono, S., Labiche, M., Liu, J., Liang, J., Madurga, M., Miernik, K., Molina, F., Morales, A. I., Mumpower, M. R., Nacher, E., Navarro, A., Nepal, N., Nishimura, S., Piersa-Silkowska, M., Phong, V., Rasco, B. C., Rubio, B., Rykaczewski, K. P., Romero-Barrientos, J., Sakurai, H., Sexton, L., Shimizu, Y., Singh, M., Sprouse, T., Sumikama, T., Surman, R., Suzuki, H., Szegedi, T. N., Takeda, H., Tolosa-Delgado, A., Wang, K., Wolinska-Cichocka, M., Woods, P., Yokoyama, R., Xu, Z.: Half-life Measurement Using Implant-(beta-gamma) Time Correlations in the Region of Neutron-rich Lanthanides. *Acta Phys Pol B Proc Suppl.* 16 (4), 1-6, 2023. ISSN: 1899-2358.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5506/APhysPolBSupp.16.4-A8>

További közlemények

Idegen nyelvű konferencia közlemények (2)

6. **BRIKEN Collaboration**: Study of decay properties for Ba to Nd nuclei relevant for the formation of the r-process rare-earth peak (A~160).
EPJ Web Conf. 279, 1-5, 2023. EISSN: 2100-014X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/epjconf/202327912003>
7. **BRIKEN Collaboration**: Study of decay properties of Ba to Nd nuclei (A~160) relevant to the formation of the r-process rare-earth peak.
EPJ Web Conf. 284, 1-4, 2023. EISSN: 2100-014X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/epjconf/202328402005>

A közlő folyóiratok összesített impact faktora: 12,248

A közlő folyóiratok összesített impact faktora (az érkekezés alapjául szolgáló közleményekre): 12,248

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2024.08.29.



Short thesis for the degree of doctor of philosophy
(PhD)

Experimental study of the beta-delayed particle emission

by András Vitéz-Sveiczner

Supervisor: Gábor Gyula Kiss, PhD



UNIVERSITY OF DEBRECEN
Doctor School of Physics
Debrecen, 2024

1 Beta-decay of ^{70}Kr

Introduction and objectives

There have historically been many motivations behind studying this specific β -decay. First, this region of nuclei is dominated by highly deformed ground states with both prolate and oblate shapes [1]. The shape of ^{70}Kr is particularly interesting, as a shape change compared to its mirror nucleus (^{70}Se) was suggested by Wimmer et al [2]. An indirect study via β -decay offers an opportunity to learn about the shape of nuclei by comparing experimental transition probabilities with theoretical calculations for different shapes [3]. Second, the $Z = N + 2 \rightarrow Z = N$ β -decays are of interest for studying the pseudo- $SU(4)$ symmetry of nuclear Hamiltonians ([4] and references therein), with $A = 70$ being the heaviest such nucleus studied to date. Furthermore, ^{70}Kr was also hypothesized to be a waiting-point in the astrophysical rp -process [5].

Thus, the primary objective of the experiment was to study the β -delayed γ -rays of ^{70}Kr , and the secondary objective was to measure the half-life and proton emission probability.

Experimental approach

The ^{70}Kr experiment was conducted at the RIKEN-Nishina Center using the RIBF accelerator complex [6]. A primary beam of fully stripped ^{78}Kr ions was used, with an average intensity of $I_{\text{beam}} = 40$ pA. The primary beam was impinged on a 5-mm-thick ^9Be target at a kinetic energy of $E_{\text{kin}} = 345$ A·MeV to create proton-rich isotopes through the fragmentation of ^{78}Kr nuclei. The fragments were separated and identified using the in-flight technique with the BigRIPS separator [7]. The separated secondary beam was implanted in the WAS3ABi decay station [8], consisting of three layers of DSSDs. There were $N_{\text{imp}}(^{70}\text{Kr}) = 1, 603, 610$ identified implantations of ^{70}Kr nuclei in the decay station. WAS3ABi was used to detect implantations,

positrons originating from β -decays, and β -delayed protons. Implantation, β , and proton events were distinguished by the amount of deposited energy in the DSSDs. The decay station was surrounded by the EURICA spectrometer, which consisted of 84 HPGe detectors for capturing γ -rays following the β -decay of ^{70}Kr [9].

The experimental data were used to build implantation- β , implantation- β - γ , implantation- β - γ - γ , implantation-proton, and implantation-proton- γ time correlations. First, a half-life measurement was conducted via Bateman-fitting of the decay curve of implantation- β events. Then, the β -delayed proton emission probability was measured by integrating the deposited energy distribution of the protons, following the subtraction of background events. A second half-life value was also measured by the exponential fitting of the background-subtracted decay curve of implantation-proton events. The γ -transitions were identified using the energy spectrum of β -delayed γ -rays, following the subtraction of background and daughter nucleus contributions. A third half-life was also derived by the exponential fitting of the background-subtracted decay curve of identified β -tagged γ -transitions.

The γ -ray cascades of the daughter nucleus (^{70}Br) were studied using the γ - γ coincidences of implantation- β - γ - γ correlations to establish the level scheme using the identified γ -ray cascades. Absolute γ -ray intensities were measured using the peak areas of γ -transitions from both the β -tagged and γ -gated energy spectra. The β -feedings to each level of the level scheme were calculated under the assumption that any negative balance of γ -feedings comes from β -feeding (while positive balances are forbidden). Finally, $\log ft$ values for each level and reduced transition probabilities ($B(F)$ for Fermi and $B(GT)$ for Gamow–Teller transitions) were calculated using the β -feedings.

The deduced experimental results (particularly the reduced transition probabilities) were compared with theoretical calculations within the framework of a shell model with pseudo- $SU(4)$ symmetry [10, 11]. The schematic Hamiltonian used in this model was based on a subshell (\tilde{d}) as a zero-energy level and a subshell (\tilde{s}) with $\epsilon_{\tilde{s}}$ in pseudo-spin space, including the iso-scalar and iso-vector terms of the delta interaction summed over the nucleons and a quadrupole term for the nucleus's deformation. Three calculations were

performed, tuning the parameters of this nuclear Hamiltonian to achieve a) spherical, b) prolate, and c) oblate deformations for the ground state of ^{70}Kr , while matching the energies of the yrast 1^+ and yrast 2^+ excited states of ^{70}Br . The transformed Gamow–Teller operator was then used in pseudo-spin space to calculate the reduced transition probabilities ($B(GT)$) to the eigenstates in the daughter nucleus, according to the same Hamiltonian. The calculated $B(GT)$ values were compared with the experimental values to study our theoretical description of the $A = 70$ nuclear system.

Scientific results

The outcome of this work can be presented as two individual scientific results.

1.a Decay properties

- The half-life value of ^{70}Kr was derived from the decay curves of β -particles, β -delayed γ -rays, and β -delayed protons. The new half-life value of $t_{1/2}^{i\beta} = 45.19 \pm 0.14$ ms showed great consistency with values from other methods and with the earlier value in the literature ($t_{1/2} = 40(6)$ ms) [12], showing a 50-fold increase in accuracy compared to the latter result¹.
- The first measurement of the β -delayed proton emission probability (ε_p) of ^{70}Kr was conducted, resulting in $\varepsilon_p = 0.545 \pm 0.023$ %².
- A partial decay-scheme of ^{70}Kr was constructed, including 10 new levels with a sensitivity of $I_\beta > 0.5\%$, and 15 new γ -transitions².
- The $\log ft$ values and the reduced transition probabilities ($B(F)$ and $B(GT)$ values) for each level were calculated².

¹A. Vitéz-Sveiczter et al., ‘Studying the exotic decay ^{70}Kr into ^{70}Br ’, Acta Phys. Pol. B **51**, 587 (2020).

²A. Vitéz-Sveiczter et al., ‘The β -decay of ^{70}Kr into ^{70}Br : restoration of the pseudo-su(4) symmetry’, Physics Letters B **830**, 137123 (2022).

1.b Theoretical interpretation

- The ground state of ^{70}Kr was found to have a deformed shape, as the spherical shape would result in a $B(GT)$ function distributed over significantly lower energies in the daughter nucleus, contradicting the experimental results. However, the differences between the prolate and oblate cases were too small to distinguish them unambiguously ^{2,3}.
- In all three scenarios, a concentrated $B(GT)$ is predicted for the yrast 1_1^+ ($E_x = 1120$ keV) level, a direct consequence of selection rules due to pseudo- $SU(4)$ symmetry. The theoretical prediction of $B(GT; 0_1^+ \rightarrow 1_1^+)^{\text{th.}} = \frac{2}{3}q^2 \approx 0.37$ closely matches the experimental $B(GT; 0_1^+ \rightarrow 1_1^+)^{\text{exp.}} = 0.26(3)$ result, leading to the conclusion that there is an approximate restoration of pseudo- $SU(4)$ symmetry in the $A = 70$ nuclear system, following the breaking of this symmetry at $A = 62$ and $A = 66$ ^{2,3}.

2 Formation of the rare-earth peak

Introduction and objectives

The rare-earth peak (REP) is a smaller peak in the abundance pattern of the astrophysical r -process at $A \approx 160$, between the two characteristic peaks located at $A \approx 130$ and $A \approx 195$, the latter ones originating from neutron shell closures $N = 82$ and $N = 126$ [15].

However, understanding the formation of the REP is not straightforward, as there are no shell closures that could explain these increased abundances. One of the most common theories is that an interplay of the astrophysical conditions and the decay properties of abundant nuclei during the freeze-out process is responsible for its formation [16]. Another theory suggests that the fission of heavy nuclei forms the REP in the astrophysical scenario

³P. Van Isacker, A. Algora, A. Vitéz-Sveiczler et al., ‘Gamow–teller beta decay and pseudo- $su(4)$ symmetry’, *Symmetry* **15** (2023).

of neutron star mergers [17]. For a review of the challenges posed by the explanation of the REP, see [18].

Our experiment was conducted to produce a secondary beam of various neutron-rich nuclei in the region highlighted by the work of Mumpower *et al.* as most likely responsible for the formation of the REP [19].

The main goal of this work thus became the measurement of half-life values and β -delayed neutron emission probabilities of the produced isotopes, to study their effect on the formation of the REP. As a secondary goal, the derived decay properties were compared with the predictions of state-of-the-art nuclear models.

The REP experiment was part of a series of experiments (called the BRIKEN campaign [20]) carried out at the RIKEN Nishina Center to systematically study the β -delayed neutron emission of nuclei accessible at the RIBF accelerator complex [6].

Experimental approach

During the experiment, a primary beam of ^{238}U was used with an average intensity of $I_{\text{beam}} = 60$ pA. The primary beam was impinged on a 5-mm-thick ^9Be target at a kinetic energy of $E_{\text{kin}} = 345\text{A}\cdot\text{MeV}$ to create neutron-rich isotopes through in-flight fission of the ^{238}U nuclei. The fission products were separated and identified using the BigRIPS separator [7]. The goal was to create a cocktail beam of isotopes in the region of interest of our experiment, outlined in the work of Mumpower *et al.* as the region responsible for the formation of the rare-earth peak during the astrophysical r -process [19]. The separated secondary beam was implanted in the AIDA decay station [21, 22], consisting of five layers of DSSDs (Double-sided Silicon Strip Detectors). AIDA was used to detect implantations and electrons originating from β -decays. The implantation and the β -events were distinguished by the magnitude of the deposited energy in the DSSDs. The decay station was surrounded by the BRIKEN neutron detector system, which consisted of 140 ^3He -filled proportional counters for the detection of neutrons, thermalised by the high-density polyethylene matrix in which the counters were planted [20, 23]. There were also two HPGe detectors placed in the matrix for the capture of β -delayed γ -rays, while silicon and plastic

veto detectors were used to veto beam-induced background.

The experimental data were used to build implantation- β , implantation- β - γ , and implantation- β -neutron time correlations. The first step was the identification and separation of the isotopes of interest using an advanced technique where the identification is done with the extraneous dimension of velocity of the ions to separate charge states from fully ionised implants. Then, a half-life measurement was conducted for each nucleus via Bateman-fitting of the decay curve of implantation- β events. The β -delayed one-neutron emission probabilities were measured via the integration of the background-subtracted implantation- β -neutron time correlations, using a modified version of the method introduced in [23]. Beta-delayed γ -transitions were identified using the energy spectrum of β -delayed γ -rays following the subtraction of background and daughter nucleus contributions. A second half-life measurement was also conducted via exponential fitting of the background-subtracted decay curve of identified β -tagged γ -transitions, where the statistics were sufficient.

The new experimental data were compared to the calculations of a selection of state-of-the-art nuclear models [24–27].

The new experimental results were also included in r -process network calculations using the PRISM code [28, 29]. Two astrophysical scenarios were studied: a cold dynamical ejecta trajectory [30] corresponding to neutron star mergers, and a neutrino-driven hot wind [18] corresponding to supernovae. The impact of the new decay properties on the formation of the rare-earth peak (REP) was studied through a variance-based sensitivity analysis [31]. The analysis focused on the uncertainties of the abundance pattern on the right shoulder of the REP and its sensitivity to the uncertainty of the experimental data, while all other parameters were kept fixed during the analysis. A thousand Monte Carlo parameter sets were generated based on the newly measured mean values and uncertainties. In the case of upper limits, a continuous distribution was assumed between zero and the upper limit. The abundances were calculated using the PRISM code for every parameter set, the overall uncertainties of the abundances were estimated by the variance of the results, and the first-order sensitivity indices were calculated for each decay property, to study their individual impact. The calculations were repeated using the experimental data earlier available

in the literature [32], to study the overall impact of the new data on our understanding of the formation of the REP.

Scientific results

The outcome of this work can be presented as two individual scientific results.

2.a Decay properties

- In the case of 9 isotopes ($^{164-166}\text{Pm}$, $^{167,168}\text{Sm}$, $^{169,170}\text{Eu}$, and $^{171,172}\text{Gd}$) the half-life was measured for the first time, while in the case of 19 isotopes improved half-lives were deduced compared to literature values⁴.
- The β -delayed one-neutron emission probabilities were studied in this range of nuclei for the first time. For 11 nuclei ($^{161-165}\text{Pm}$, $^{165,166}\text{Sm}$, and $^{166-169}\text{Eu}$) new values were obtained, while for the remaining nuclei only upper limits could be established based on our experimental data¹.
- The β -delayed γ -rays of a few nuclei were studied to measure the half-life via independent methods and to look for isomeric states⁵.

2.b Astrophysical interpretation

- None of the nuclear models consistently describes the half-lives for the studied nuclei. The β -delayed one-neutron emission probabilities (P_{1n}) are also significantly underestimated in all nuclear models for even- Z nuclei, while they are generally better described for odd- Z nuclei by all the studied models, with the exception of a kink at ^{167}Eu in the work of Möller *et al.*, unseen in experimental results¹.

⁴G. Kiss, A. Vitéz-Sveiczzer et al., ‘Measuring the β -decay Properties of Neutron-rich Exotic Pm, Sm, Eu, and Gd Isotopes to Constrain the Nucleosynthesis Yields in the Rare-earth Region’, *The Astrophysical Journal* **936**, 107 (2022).

⁵A. Vitéz-Sveiczzer et al., ‘Half-life measurement using implant- $(\beta$ - γ) time correlations in the region of neutron-rich lanthanides’, *Acta Phys. Pol. B Proc. Suppl.* **16**, 4–A8 (2023).

- The uncertainty of the abundance pattern was significantly reduced by the new experimental data in the case of the dynamical ejecta in the $A = 162 - 176$ range. The impact was generally less significant in the case of the hot wind scenario, however, for the $A = 165 - 167$ and $A = 169 - 170$ regions, there is also an observable sensitivity to the new experimental data¹.
- The sensitivity of the abundance pattern is mostly observable concerning the uncertainty of half-life values, while the P_{1n} values in this region seem to induce a nearly negligible impact on the abundance pattern. This can be explained by the shifting of the β -flow, leading to nuclei more likely to capture neutrons to later times of the freeze-out stage, where the neutron density is lower, thus decreasing the integrated neutron-flow of abundances, shifting the abundance pattern to lower mass numbers¹.
- We found that the impact of the half-life of a few nuclei is exceptionally great for both trajectories, being responsible for more than 50% of the uncertainties at numerous mass numbers. Thus the more precise measurement of these particular decay properties seems essential for our understanding of the REP¹.

References

- [1] E. Nácher et al., ‘Deformation of the $n = z$ nucleus ^{76}Sr using β -decay studies’, *Phys. Rev. Lett.* **92**, 232501 (2004).
- [2] K. Wimmer et al., ‘Shape changes in the mirror nuclei ^{70}Kr and ^{70}Se ’, *Phys. Rev. Lett.* **126**, 072501 (2021).
- [3] I. Hamamoto, ‘Gamow-teller β^+ decays of deformed $n \approx z$ sr isotopes close to the proton drip line’, *Phys. Rev. C* **60**, 011305 (1999).
- [4] P. Van Isacker, A. Algora, A. Vitéz-Sveiczzer et al., ‘Gamow-teller beta decay and pseudo-su(4) symmetry’, *Symmetry* **15** (2023).
- [5] A. Parikh et al., ‘Nucleosynthesis in type i x-ray bursts’, *Progress in Particle and Nuclear Physics* **69**, 225–253 (2013).

- [6] Y. Yano, ‘The RIKEN RI beam factory project: a status report’, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms **261**, 1009–1013 (2007).
- [7] N. Fukuda et al., ‘Identification and separation of radioactive isotope beams by the BigRIPS separator at the RIKEN RI beam factory’, Nucl. Instr. Meth. **317**, 323 (2013).
- [8] S. Nishimura, ‘Beta-gamma spectroscopy at RIBF’, Progress of Theoretical and Experimental Physics **2012**, 03C006 (2012).
- [9] P.-A. Söderström et al., ‘Installation and commissioning of eurica – euroball-riken cluster array’, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms **317**, XVIth International Conference on ElectroMagnetic Isotope Separators and Techniques Related to their Applications, December 2–7, 2012 at Matsue, Japan, 649–652 (2013).
- [10] A. Arima, M. Harvey and K. Shimizu, ‘Pseudo $1s$ coupling and pseudo su_3 coupling schemes’, Physics Letters B **30**, 517–522 (1969).
- [11] K. Hecht and A. Adler, ‘Generalized seniority for favored $j \neq 0$ pairs in mixed configurations’, Nuclear Physics A **137**, 129–143 (1969).
- [12] A. Rogers et al., ‘ β -decay in the region of neutron-deficient 69, 70, 71Kr’, Nuclear Data Sheets **120**, 41–43 (2014).
- [13] A. Vitéz-Sveiczler et al., ‘Studying the exotic decay 70kr into 70br’, Acta Phys. Pol. B **51**, 587 (2020).
- [14] A. Vitéz-Sveiczler et al., ‘The β -decay of 70kr into 70br: restoration of the pseudo- $su(4)$ symmetry’, Physics Letters B **830**, 137123 (2022).
- [15] C. Sneden, J. J. Cowan and R. Gallino, ‘Neutron-capture elements in the early galaxy’, Annual Review of Astronomy and Astrophysics **46**, 241–288 (2008).
- [16] R. Surman et al., ‘Source of the rare-earth element peak in r -process nucleosynthesis’, Phys. Rev. Lett. **79**, 1809–1812 (1997).

- [17] S. Goriely et al., ‘New fission fragment distributions and r -process origin of the rare-earth elements’, *Phys. Rev. Lett.* **111**, 242502 (2013).
- [18] M. R. Mumpower et al., ‘The link between rare-earth peak formation and the astrophysical site of the r process’, *The Astrophysical Journal* **833**, 282 (2016).
- [19] M. R. Mumpower, G. C. McLaughlin and R. Surman, ‘Formation of the rare-earth peak: gaining insight into late-time r -process dynamics’, *Phys. Rev. C* **85**, 045801 (2012).
- [20] A. Tarifeño-Saldivia et al., ‘Conceptual design of a hybrid neutron-gamma detector for study of β -delayed neutrons at the rib facility of riken’, *Journal of Instrumentation* **12**, P04006 (2017).
- [21] C. Griffin et al., ‘Beta-decay studies of r -process nuclei using the Advanced Implantation Detector Array’, *PoS NIC XIII*, 097 (2015).
- [22] O. Hall et al., ‘The advanced implantation detector array (aida)’, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 168166 (2023).
- [23] A. Tolosa-Delgado et al., ‘Commissioning of the brikken detector for the measurement of very exotic β -delayed neutron emitters’, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* **925**, 133–147 (2019).
- [24] P. Möller et al., ‘Nuclear properties for astrophysical and radioactive-beam applications (ii)’, *Atomic Data and Nuclear Data Tables* **125**, 1–192 (2019).
- [25] T. Marketin, L. Huther and G. Martínez-Pinedo, ‘Large-scale evaluation of β -decay rates of r -process nuclei with the inclusion of first-forbidden transitions’, *Phys. Rev. C* **93**, 025805 (2016).
- [26] E. M. Ney et al., ‘Global description of β^- decay with the axially deformed skyrme finite-amplitude method: extension to odd-mass and odd-odd nuclei’, *Phys. Rev. C* **102**, 034326 (2020).

- [27] F. Minato, T. Marketin and N. Paar, ‘ β -delayed neutron-emission and fission calculations within relativistic quasiparticle random-phase approximation and a statistical model’, *Phys. Rev. C* **104**, 044321 (2021).
- [28] M. R. Mumpower et al., ‘Reverse engineering nuclear properties from rare earth abundances in the r process’, *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics* **44**, 034003 (2017).
- [29] M. R. Mumpower et al., ‘ β -delayed fission in r -process nucleosynthesis’, *The Astrophysical Journal* **869**, 14 (2018).
- [30] N. Vassh et al., ‘Using excitation-energy dependent fission yields to identify key fissioning nuclei in r -process nucleosynthesis’, *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics* **46**, 065202 (2019).
- [31] A. Saltelli et al., ‘Variance based sensitivity analysis of model output. design and estimator for the total sensitivity index’, *Computer Physics Communications* **181**, 259–270 (2010).
- [32] J. Wu et al., ‘ $^{94}\beta$ -decay half-lives of neutron-rich ^{55}Cs to ^{67}Ho : experimental feedback and evaluation of the r -process rare-earth peak formation’, *Phys. Rev. Lett.* **118**, 072701 (2017).
- [33] G. G. Kiss, A. Vitéz-Sveiczler et al., ‘Measuring the β -decay Properties of Neutron-rich Exotic Pm, Sm, Eu, and Gd Isotopes to Constrain the Nucleosynthesis Yields in the Rare-earth Region’, *The Astrophysical Journal* **936**, 107 (2022).
- [34] A. Vitéz-Sveiczler et al., ‘Half-life measurement using implant- $(\beta\text{-}\gamma)$ time correlations in the region of neutron-rich lanthanides’, *Acta Phys. Pol. B Proc. Suppl.* **16**, 4–A8 (2023).



Registry number: DEENK/453/2024.PL
Subject: PhD Publication List

Candidate: András Vitéz-Sveiczér
Doctoral School: Doctoral School of Physics
MTMT ID: 10078364

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in international journals (4)

1. Van Isacker, P., Algora, A., **Vitéz-Sveiczér, A.**, Kiss, G. G., Orrigo, S. E. A., Rubio, B., Aguilera, P.: Gamow-Teller Beta Decay and Pseudo-SU(4) Symmetry. *Symmetry*. 15 (11), 1-15, 2023. EISSN: 2073-8994.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/sym15112001>
IF: 2.2
2. Kiss, G. G., **Vitéz-Sveiczér, A.**, Saito, Y., Tarifeno-Saldivia, A., Pallas, M., Tain, J. L., Dillmann, I., Agramunt, J., Algora, A., Domingo Pardo, C., Estrade, A., Appleton, C., Allmond, J. M., Aguilera, P., Baba, H., Brewer, N. T., Bruno, C., Caballero-Folch, R., Calvino, F., Coleman-Smith, P. J., Cortes, G., Davinson, T., Fukuda, N., Ge, Z., Go, S., Griffin, C. J., Grzywacz, R., Hall, O., Horváth, A., Ha, J., Harkness-Brennan, L. J., Isobe, T., Kahl, D., King, T. T., Korgul, A., Kovács, S. T. S., Krucken, R., Kubono, S., Labiche, M., Liu, J., Liang, J., Madurga, M., Miernik, K., Molina, F., Morales, A. I., Mumpower, M. R., Nacher, E., Navarro, A., Nepal, N., Nishimura, S., Phong, V., Rasco, B. C., Rubio, B., Rykaczewski, K. P., Romero-Barrientos, J., Sakurai, H., Sexton, L., Shimizu, Y., Singh, M., Sprouse, T., Sumikama, T., Surman, R., Suzuki, H., Szegedi, T. N., Takeda, H., Tolosa, A., Wang, K., Wolinska-Cichocka, M., Woods, P., Yokoyama, R., Xu, Z.: Measuring the beta-decay Properties of Neutron-rich Exotic Pm, Sm, Eu, and Gd Isotopes to Constrain the Nucleosynthesis Yields in the Rare-earth Region. *Astrophys. J.* 936 (2), 1-18, 2022. ISSN: 0004-637X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3847/1538-4357/ac80fc>
IF: 4.9





3. **Vitéz-Sveicz, A.**, Algora, A., Morales, A. I., Rubio, B., Kiss, G. G., Sarriguren, P., Van Isacker, P., De Angelis, G., Recchia, F., Nishimura, S., Agramunt, J., Guadilla, V., Montaner-Pizá, A., Orrigo, S. E. A., Horváth, A., Napoli, D., Lenzi, S., Boso, A., Phong, V. H., Wu, J., Söderström, P. A., Sumikama, T., Suzuki, H., Takeda, H., Ahn, D. S., Baba, H., Doornebal, P., Fukuda, N., Inabe, N., Isobe, T., Kubo, T., Kubono, S., Sakurai, H., Shimizu, Y., Sidong, C., Blank, B., Ascher, P., Gerbaux, M., Goigoux, T., Giovinazzo, J., Grévy, S., Kurtukián Nieto, T., Magron, C., Gelletly, W., Dombrádi, Z., Fujita, Y., Tanaka, M., Aguilera, P., Molina, F., Eberth, J., Diel, F., Lubos, D., Borcea, C., Ganioglu, E., Nishimura, D., Oikawa, H., Takei, Y., Yagi, S., Kortén, W., De France, G., Davies, P., Liu, J., Lee, J., Lokotko, T., Kojouharov, I., Kurz, N., Shaffner, H., Petrovici, A.: The β -decay of ^{70}Kr into ^{70}Br : Restoration of the pseudo-SU(4) symmetry.

Phys. Lett. B. 830, 1-8, 2022. ISSN: 0370-2693.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2022.137123>

IF: 4.4

4. **Vitéz-Sveicz, A.**, Algora, A., Morales, A. I., Rubio, B., Kiss, G. G., De Angelis, G., Recchia, F., Nishimura, S., Agramunt, J., Guadilla, V., Montaner-Pizá, A., Orrigo, S. E. A., Horváth, A., Napoli, D., Lenzi, S., Boso, A., Phong, V. H., Wu, J., Söderström, P. A., Sumikama, T., Suzuki, H., Takeda, H., Ahn, D. S., Baba, H., Doornebal, P., Fukuda, N., Inabe, N., Isobe, T., Kubo, T., Kubono, S., Sakurai, H., Shimizu, Y., Chen, S., Blank, B., Ascher, P., Gerbaux, M., Goigoux, T., Giovinazzo, J., Grévy, S., Kurtukián Nieto, T., Magron, C., Gelletly, W., Dombrádi, Z., Fujita, Y., Tanaka, M., Aguilera, P., Molina, F., Eberth, J., Diel, F., Lubos, D., Borcea, C., Ganioglu, E., Nishimura, D., Oikawa, H., Takei, Y., Yagi, S., Kortén, W., De France, G., Davies, P., Liu, J., Lee, J., Lokotko, T., Kojouharov, I., Kurz, N., Shaffner, H.: Studying the Exotic Decay $^{70}\text{Kr} \rightarrow ^{70}\text{Br}$.

Acta Phys. Pol. B. 51 (3), 587-594, 2020. ISSN: 0587-4254.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5506/APhysPolB.51.587>

IF: 0.748





Foreign language conference proceedings (1)

5. **Vitéz-Sveiczter, A.**, Kovács, S. T. S., Kiss, G. G., Saito, Y., Tarifeno-Saldivia, A., Pallas, M., Tain, J. L., Dillmann, I., Agramunt, J., Algora, A., Domingo Pardo, C., Estrade, A., Appleton, C., Allmond, J. M., Aguilera, P., Baba, H., Brewer, N. T., Bruno, C., Caballero-Folch, R., Calvino, F., Coleman-Smith, P. J., Cortes, G., Davinson, T., Fukuda, N., Ge, Z., Go, S., Griffin, C. J., Grzywacz, R., Hall, O., Horváth, A., Ha, J., Harkness-Brennan, L. J., Isobe, T., Kahl, D., King, T. T., Korgul, A., Krucken, R., Kubono, S., Labiche, M., Liu, J., Liang, J., Madurga, M., Miernik, K., Molina, F., Morales, A. I., Mumpower, M. R., Nacher, E., Navarro, A., Nepal, N., Nishimura, S., Piersa-Silkowska, M., Phong, V., Rasco, B. C., Rubio, B., Rykaczewski, K. P., Romero-Barrientos, J., Sakurai, H., Sexton, L., Shimizu, Y., Singh, M., Sprouse, T., Sumikama, T., Surman, R., Suzuki, H., Szegedi, T. N., Takeda, H., Tolosa-Delgado, A., Wang, K., Wolinska-Cichocka, M., Woods, P., Yokoyama, R., Xu, Z.: Half-life Measurement Using Implant-(beta-gamma) Time Correlations in the Region of Neutron-rich Lanthanides. *Acta Phys Pol B Proc Suppl.* 16 (4), 1-6, 2023. ISSN: 1899-2358.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5506/APhysPolBSupp.16.4-A8>

List of other publications

Foreign language conference proceedings (2)

6. **BRIKEN Collaboration:** Study of decay properties for Ba to Nd nuclei relevant for the formation of the r-process rare-earth peak (A~160).
EPJ Web Conf. 279, 1-5, 2023. EISSN: 2100-014X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/epjconf/202327912003>
7. **BRIKEN Collaboration:** Study of decay properties of Ba to Nd nuclei (A~160) relevant to the formation of the r-process rare-earth peak.
EPJ Web Conf. 284, 1-4, 2023. EISSN: 2100-014X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/epjconf/202328402005>

Total IF of journals (all publications): 12,248

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 12,248

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.



29 August, 2024