

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

# EGZOTIKUS ATOMMAGOK KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA

**Csige Lóránt**

*Témavezető: Dr. Krasznahorkay Attila*



DEBRECENI EGYETEM  
Fizika Doktori Iskola  
Debrecen, 2009.

---

## Áttekintés

Napjaink kísérleti magszerkezet-kutatásainak három olyan, kiemelt érdeklődésre számot tartó iránya van, amelyek valamilyen értelemben az extrém vagy az „egzotikus” jelzővel illethetők. Ilyenek például az extrém nagyspinű, gyakran „egzotikus” deformációval is rendelkező magállapotok vizsgálata, a nagy gerjesztésienergia-tartományok „egzotikus” gerjesztéseinek, az óriásrezonanciáknak a tanulmányozása, illetve a legutóbb kifejlesztett „egzotikus” proton-neutron aránnyal rendelkező, extrém nagy izospinű magok előállítására és vizsgálatára is. Mindhárom terület fokozott támogatása szerepel a NuPECC (Nuclear Physics European Collaboration Committee) hosszútávú tervei között, alátámasztva ezzel ezen kutatási területek kiemelt jelentőségét. Bár doktoranduszként fő témám az extrém deformációval rendelkező atommagok vizsgálata volt [R1,R2 és R5], az elmúlt öt évben több olyan kutatásban is aktívan részt vettem, melyek a másik két fő irány valamelyik területét érintették [R3,R4,O2,O4 és O5].

## Hiperdeformált állapotok

Az egzotikus deformációval rendelkező, nagy mértékben megnyúlt atommagok közvetlen kísérleti vizsgálatát a nagy határfokú és jó energiafeloldású germánium  $4\pi$ -detektorrendszerek kifejlesztése és alkalmazása tette lehetővé, mely során a ritkaföldfémek tartományában eddig már több, mint száz nagyspinű szuperdeformált (2:1 tengelyarányú) rotációs sávot azonosítottak. Ebben a magtartományban a gyors forgás következtében fellépő centrifugális erő az, ami a deformáció kialakulását okozza, mely deformációt aztán a héjefektusok stabilizálnak. Ezzel szemben a nagyspinű magfizika jelenlegi egyik legnagyobb kihívása a hiperdeformált (HD) - 3:1 tengelyarányú - állapotok közötti diszkrét  $\gamma$ -átmenetek észlelése és azonosítása, azonban a régóta tartó erőfeszítés ellenére sem sikerült még eddig ilyen átmenet(ke)t kimutatni a vizsgált  $A \approx 130$  magtartományban<sup>1</sup>. Ugyanakkor az aktinoida tartománybeli magok szuper- és hiperdeformált állapotainak vizsgálatára különleges lehetőséget teremt a rezonancia-alagúteffektus jelensége. Az aktinoida magoknál a kisspinű SD és HD állapotok kialakulását a Strutinsky-féle héjkorrekciós eljárással számolt deformációs potenciálfelület második és harmadik minimumának megjelenésével lehet magyarázni.

A hasadási gáton való áthatolás során a hasadási valószínűségben rezonancia lép fel annál a gerjesztési energiánál, mely épp a második vagy a harmadik völgy egy gerjesztett állapotának energiájával esik egybe. Mérve a hasadási valószínűség gerjesztési energiától való függését, a rezonanciákhoz tartozó ger-

---

<sup>1</sup>Nagyspinű HD állapotok létrehozására utaló szerkezetet a  $\gamma$  spektrumok kvázi-folytonos energiatarományában azonban már több atommagban is sikerült kimutatni.

---

jesztési energiák megadják a harmadik völgybeli állapotok energiáit. Ezen állapotok forgási sávokba rendezhetők, melyek tehetetlenségi nyomatéka jellemzi a mag alakját, bizonyítva ezzel annak erősen deformált jellegét, ugyanakkor a hasadványok szögeloszlásának mérésével információ nyerhető a forgási sávok egyértelmű azonosításához szükséges spin és  $K$  értékekre is.

A Magyar Tudományos Akadémia debreceni Atommagkutató Intézetének Kísérleti Magfizikai Osztálya és a müncheni Ludwig Maximilians Egyetem Fizika Tanszéke - több, mint egy évtizedes együttműködésük során - a hasadás folyamatának pontosabb leírására és az aktinoida magok szuper- és hiperdeformált állapotainak kimutatására több eredményes kísérletet is végzett. Doktorandusz hallgatóként ezekbe a kísérletekbe kapcsolódtam be.

Az urán izotópok potenciálisenergia-felületeire vonatkozó számítások HD minimumot jeleztek a kvadrupól- és oktopóldeformációs paraméterek igen nagy értékeinél ( $\beta_2 \approx 0.9$  és  $\beta_3 \approx 0.36$ ), illetve a harmadik völgyet is jelentősen mélyebbnek jósolták, mint azt a korábbi számítások eredményei mutatták. Az elméleti várakozásokkal és az  $^{234,236}\text{U}$  izotópokra vonatkozó korábbi eredményekkel ellentétben azonban, az  $^{232}\text{U}$  hasadási valószínűségében éles rezonanciaszerkezetet mindeddig nem sikerült megfigyelni.

Első kísérletünkben az  $^{232}\text{U}$  gát alatti hasadási rezonanciáinak és azok rotációs szerkezetének vizsgálatát, illetve az  $^{232}\text{U}$  hasadási gát paramétereinek megállapítását tűztük ki célul [R1]. A Münchener Egyetem Tandemlaboratóriumában elvégzett kísérletben az  $^{232}\text{U}$  hasadási valószínűségének gerjesztési energiától való függését határoztuk meg, melyhez a  $^{231}\text{Pa}(^3\text{He},\text{df})$  reakcióból származó, hasadványokkal koincidenciában levő deuteronok kinetikus energiáját mértük meg egy Q3D típusú mágneses spektrográf segítségével. A hasadványok detektálására az Atomkiben két helyzetérzékeny, kisnyomású lavinadetektort (PSAD) építettem.

Rendszám szerint a tórium és urán izotópok között elhelyezkedő, páratlan-páratlan  $^{232}\text{Pa}$  izotóp különösen alkalmas jelölt hiperdeformált állapotok keresésére. A  $^{232}\text{Pa}$  hasadási rezonanciáit ugyan korábban már vizsgálták (n,f) reakcióval, azonban a neutronindukált reakciókra jellemző kis pályamomentumátadás következtében a HD forgási sávok jelenlétére mindeddig nem sikerült meggyőző bizonyítékkal szolgálni.

Második kísérletünkben a  $^{232}\text{Pa}$  hasadási rezonanciáinak, illetve azok rotációs szerkezetének vizsgálatát tűztük ki célul [R2]. Az első kísérletben is alkalmazott módszert használva, szintén a Münchener Egyetem Tandemlaboratóriumában elvégzett kísérlet során a  $^{232}\text{Pa}$  hasadási valószínűségének gerjesztési energiától való függését határoztuk meg a  $^{231}\text{Pa}(\text{d},\text{pf})$  reakcióból kilépő, hasadványokkal koincidenciában levő protonok kinetikus energiájának mérésével.

Harmadik kísérletünkben az  $^{236}\text{U}$  korábban már azonosított HD állapotából történő hasadás során keletkezett hasadványok tömegeloszlásának megha-

---

tározását tűztük ki célul. A tömegeloszlás szélességének esetleges csökkenése markáns jelzés lenne arra, hogy a héjefektusok erősen befolyásolják a hasadás folyamatát. A debreceni Atommagkutató Intézet Ciklotron-laboratóriumában elvégzett kísérlet során az  $^{236}\text{U}$  hasadási valószínűségét határoztuk meg a gerjesztési energia függvényében az előzőekhez hasonló módon úgy, hogy a protonok detektálására és energiájuk mérésére egy hasított-pólusú mágneses spektrográfot használtunk. A hasadványok detektálására, illetve az ugyanazon hasadási eseményhez tartozó hasadási termékek tömegeloszlásának meghatározására egy két PSAD detektorból álló repülésiidő-spektrométert (TOF) építettünk és használtunk.

## Óriásrezonanciák

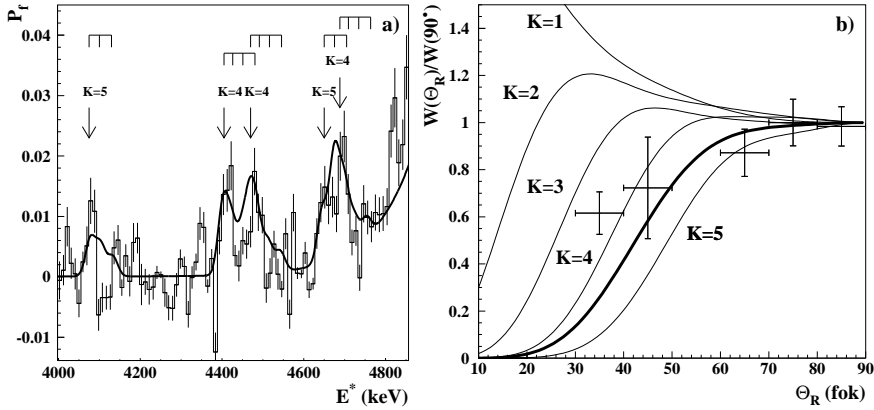
Az előzőeknél magasabb gerjesztésienergia-tartományban ( $E^* \approx 10 - 40$  MeV), ám nagyon hasonló kísérleti módszerekkel (mágneses spektrográffal történő ko incidenciamérés) vizsgálható a maganyag tulajdonságairól igen értékes információkat szolgáltató, különböző módusú óriásrezonanciák szerkezete is.

Az egyik nemrég felfedezett óriásrezonancia, az izoskalár dipólus-óriásrezonancia (ISGDR), egy elsőrendben tiltott, impulzusmegmaradást sértő állapot. Az izoskalár dipólus operátor másodrendű tagja azonban már valódi belső gerjesztéshez vezet, melyet makroszkopikusan térfogati sűrűségoscillációként lehet értelmezni. Ennek következtében a rezonancia gerjesztési energiája közvetlenül kapcsolatba hozható a maganyag inkompresszibilitásával, mely az asztrofizikai folyamatok és nehézion-reakciók modellezésében alkalmazott nukleáris állapotegyenlet egyik kritikus paramétere. Ezen óriásrezonanciák tulajdonságait eddig többnyire egyszerű, inkluzív kísérletekben vizsgálták, melyek során a rezonanciákat jellemző mennyiségeket csak nagy bizonytalansággal sikerült meghatározni. A rezonanciák részecskebomlásának ko incidenciamérésével épp a bizonytalanságot okozó folytonos háttérrel lehet csökkenteni.

Negyedik kísérletünkben az  $^{208}\text{Pb}$  izoskalár dipólus-óriásrezonanciájának proton-bomlását vizsgáltuk  $^{208}\text{Pb}(\alpha, \alpha'p)$  reakcióval, mely során a protonokkal ko incidenciában levő, rugalmatlanul szóródott  $\alpha$  részecskék energiáját egy QQD típusú mágneses spektrográffal (BBS) mértük, míg a protonok detektálására és energiájuk meghatározására egy 16 darab Si(Li) detektorból álló detektorrendszert használtunk [R3,R4]. A kísérlet elvégzésére a Groningeni Egyetem (Hollandia) szupravezető ciklotron-laboratóriumában került sor.

## Új tudományos eredmények

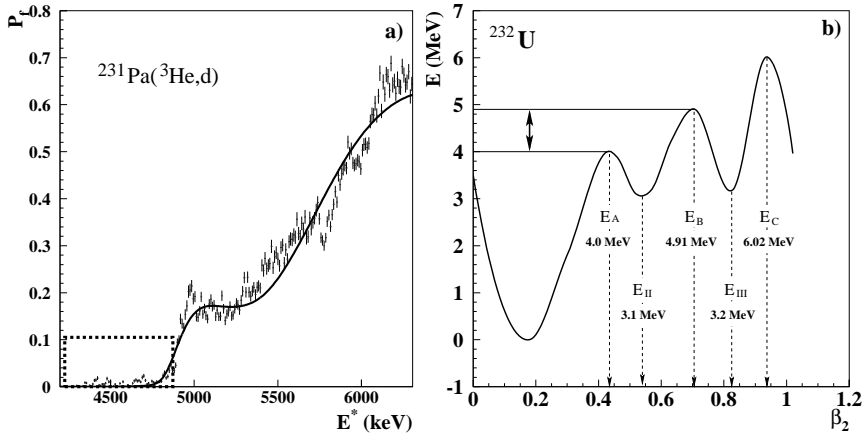
1. Az  $^{232}\text{U}$  hasadási valószínűségében - az irodalomban először - igen keskeny ( $\Delta E \approx 30$  keV) rezonanciákat figyeltünk meg az  $E^* = 4.2\text{-}4.85$  MeV gerjesztésienergia-tartományban, mely rezonanciákat harmadik völgybeli állapotokként, illetve azokra épülő HD forgási sávokként sikerült értelmezni [R1].



1. ábra. Az  $^{232}\text{U}$  hasadási valószínűsége a gerjesztési energia függvényében (a), illetve a hasadványok kísérleti és elméleti szögeloszlása a rezonanciákra kapuzva (b)

a) A hasadási valószínűségben található rezonanciákat  $K=4$  és  $K=5$  rotációs sávokkal sikerült illeszteni, mely során a rotációs paraméter értékére a hiperdeformált alakot jellemző értéket feltételeztem ( $\hbar^2/2\Theta \approx 2.1$  keV). Az illesztés eredményeként a sávok sávfejeinek gerjesztési energiáira  $E^* = 4080, 4402, 4468, 4651$  és  $4678$  keV értékeket kaptam, mely sávokhoz rendre a  $K = 5, 4, 4, 5$  és  $4$  értékeket rendeltem (1.a ábra). A sávszerkezetet leíró ezen  $K$  értékek felhasználásával az elméleti szögeloszlást meghatároztam, és azt tapasztaltam, hogy az kielégítő egyezésben áll a kísérleti szögeloszlással (1.b ábra, vastag folytonos vonal).

b) A hasadási valószínűség  $E^* = 4.0\text{-}6.5$  MeV gerjesztésienergia-tartományhoz tartozó durvaszerkezetének értelmezéséhez, illetve a gátparaméterek megállapításához a hasadási valószínűség gátparaméterektől függő analitikus függvényét állítottam elő a hasadás optikai modelljének könnyű aktinoidákra kiterjesztett változatát használva. Ezen függvény kísérleti értékeinkhez való illesztésével (2.a ábra) az  $^{232}\text{U}$  hasadási gátjának paramétereit sikerült meghatároznom. A harmadik völgy mélységére  $E_{III} = 3.2 \pm 0.2$  MeV értéket kaptam, ami igen jó egyezésben áll az erős tükrözési aszimmetriával rendelkező magalak feltételezésével számolt el-



2. ábra. Az  $^{232}\text{U}$  hasadási valószínűségének optikai modellfüggvénnyel való illesztése (a), illetve az  $^{232}\text{U}$  így számolt hasadási gátja (b)

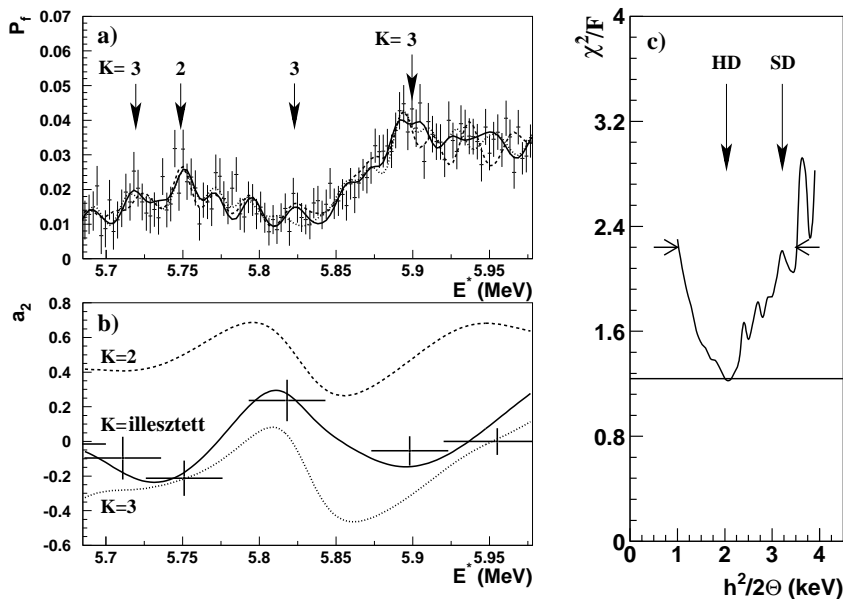
méleti értékkel (2.b ábra).

c) A belső gát magasságára vonatkozó eredményem ( $E_A = 4.0 \pm 0.3$  MeV) a korábbi kísérleti eredményekkel ellentmondásban áll, ugyanakkor következetesen illeszkedik a páros-páros urán izotópokról az utóbbi pár évben alkotott képbe, miszerint a belső gát a korábban meghatározottnál jóval alacsonyabb, és magassága csökken a neutronszám csökkenésével. Ez az eredmény új hasadási izomerek kimutatásának, illetve SD állapotok  $\gamma$ -spektroszkópiai vizsgálatának lehetőségét vetíti előre ebben a magtartományban, különösen a neutronhiányos uránizotópok esetében.

d) Éles rezonanciaszerkezetet észleltünk  $E^* = 5.0$  MeV gerjesztési energiánál, amit az újonnan meghatározott gátparaméterek figyelembevételével kizárólag a második gátra épülő, alacsonyan gerjesztett állapotok (ún. átmeneti állapotok) jelenlétével tudunk magyarázni.

2. **A  $^{232}\text{Pa}$  hasadási valószínűségében korábban észlelt gát alatti rezonanciák finomszerkezetét az irodalomban először sikerült megfigyelnünk, mely rezonanciák leírása során a rotációs paraméter értékére a hiperdeformált magalakot jellemző értéket kaptunk [R2].**

a) A kísérlet során két széles rezonanciacsoportot észleltünk az  $E^* \approx 5.75$  és az  $E^* \approx 5.9$  MeV gerjesztési energiák környékén, melyeket négy hiperdeformált rotációs sávval értelmeztem. A rotációs sávokkal történő illesztési eljárás során a sávfejek gerjesztési energiáira  $E^* = 5.72, 5.74, 5.82$  és  $5.9$  MeV, illetve azok  $K$  értékeire rendre a  $K = 3, 2, 3$  és  $3$  értékeket kaptam (3.a ábra).



3. ábra. A  $^{232}\text{Pa}$  hasadási rezonanciáinak HD rotációs sávokkal történő értelmezése (a), a hasadványok kísérleti és elméleti szögkorrelációs együtt-hatódóinak ( $a_2$ ) gerjesztési energiától való függése (b), illetve az illesztés  $\chi^2$ -analízise (c)

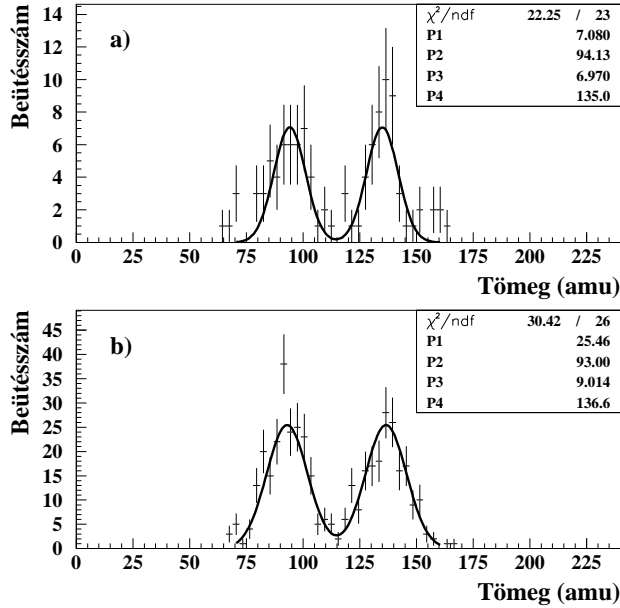
b) A hasadványok kísérleti szögkorrelációjának páros fokú Legendre-polinommal való illesztésével meghatároztam a kísérleti  $a_2$  értékeket a gerjesztési energia függvényében, majd azokat összevettem a rotációs sávokra  $K = 3, 2, 3$  és  $3$  feltételezésével nyert elméleti szögkorrelációs értékekkel (3.b ábra). A kísérleti és elméleti értékek igen jó egyezést mutatnak. A szögeloszlás  $K$  értékre való érzékenységének vizsgálata céljából számolásokat végeztem a rotációs sávok szerkezetére vonatkozó egyéb feltevésekkel is (3.b ábra, szaggatott és pontozott vonal), melyek kísérleti  $a_2$  értékektől való szignifikáns eltérése bizonyítja a hasadványok szögeloszlásának  $K$  értékektől való erős függését.

c) Az illesztés  $\chi^2$ -analízisével a rotációs paraméterre és annak hibájára  $\hbar^2/\theta = 2.0_{-1.0}^{+1.5}$  keV értéket kaptam, mely a nagy relatív hiba ellenére is megerősíti a  $^{232}\text{Pa}$  hasadási rezonanciáinak HD rotációs sávokkal történő értelmezését (3.c ábra).

d) A  $^{232}\text{Pa}$  alacsonyan fekvő (normál deformációval rendelkező) gerjesztett állapotaira vonatkozó rendkívül kevés információ bővítése érdekében kísérletünkben a  $^{232}\text{Pa}$  alacsonyan gerjesztett állapotait is tanulmányoztuk. Összesen több, mint ötven új gerjesztett állapotot sikerült észlel-

nünk, és energiájukat meghatároznunk az  $E^* < 800$  keV energiatarományban.

- Az  $^{236}\text{U}$  hiperdeformált állapotaiból történő hasadás során keletkezett hasadványok tömegeloszlásának szélességét meghatároztuk, melynek értéke - a rossz statisztikából adódó - hibán belül megegyezett a normál deformációból (ND) történő hasadás során keletkezett hasadványok tömegeloszlásának szélességével.



4. ábra. A  $^{236}\text{U}$  hasadványainak tömegeloszlása HD állapotból (a), illetve ND állapotból (b) történő hasadás esetén

a) A tömegeloszlás szélességét egy kettős Gauss-függvény illesztésével határoztam meg. Az illesztés során a Gauss-függvényekre közös amplitúdó és  $\sigma$  paramétereket feltételeztem, és az illesztés során ezeket szabad paraméterekként kezeltem. A szélességeket meghatároztam a rezonanciaenergiákra kapuzva (4.a ábra), és a hasadási küszöb feletti energiákra ( $E^* > 6.0$  MeV) kapuzva (4.b ábra) is. A szélesség az első esetben  $\sigma_{HD}^{kis} = 6.97 \pm 1.05$  amu-nak, míg a második esetben  $\sigma_{ND}^{kis} = 9.1 \pm 0.37$  amu-nak adódott. A kísérleti berendezésünk tömegfelbontásának meghatározásához a normál deformációra kapott kísérleti eredményünkből négyzetesen levontam a tömegeloszlás szélességének irodalomból vett értékét ( $\sigma_i = 6.14 \pm 0.07$  amu), melyre így  $\sigma_{kis} = 6.6 \pm 0.5$  amu-t kaptam.



b) A tömegfeloldást figyelembe véve végül a két szélességet  $\sigma_{HD} = 2.24 \pm 3.58$  amu-ban és  $\sigma_{ND} = 6.1 \pm 0.65$  amu-ban határoztam meg. A feltüntetett hibák az illesztés hibáján kívül tartalmazzák a tömegfeloldás értékének bizonytalanságából származó szisztematikus hibát is. A két érték (a repülésiidő-mérés bizonytalanságából származó) hibán belül megegyezik, így a tömegeloszlás szélességének csökkenésére - a jelen kísérletben - egyértelmű bizonyítékot nem sikerült találni.

4. **Az  $^{208}\text{Pb}$  izoskalár dipólus-óriásrezonanciájának proton-bomlási csatornáit - az irodalomban először - sikerült megfigyelnünk, illetve meghatároztuk a  $^{207}\text{Tl}$  különböző lyukállapotaiba történő bomlás elágazási arányait, melyeket az elméleti számításokkal jó egyezésben találtunk [R3,R4].**

a) Az  $^{208}\text{Pb}$  izoskalár dipólus-óriásrezonanciájának a  $^{207}\text{Tl}$  különböző lyukállapotaiba történő proton-bomlásának kísérleti elágazási arányait meghatároztuk, és összehasonlítottuk az elméleti értékekkel. Az értékek a statisztikus bizonytalanságon belül jó egyezésben vannak mindkét bomlási ág esetében (1. táblázat).

<i>végállapot</i>	$b_{\mu}(\%)$ jelen munka	$b_{\mu}(\%)$ elmélet
$3s_{1/2}+2d_{3/2}$	$2.3 \pm 1.1$	1.23
$1h_{11/2}+2d_{5/2}$	$1.2 \pm 0.7$	0.83

1. táblázat. *A proton-bomlási csatornák elágazási arányai*

b) Az ISGDR és HEOR (High Energy Octupole Resonance) erősségleoszlását Gauss-függvényekkel illesztettük, mellyel az ISGDR gerjesztési energiájára  $E_x=22.1 \pm 0.3$  MeV, míg szélességére  $\Gamma=3.8 \pm 0.8$  MeV értéket kaptunk.

c) Az  $L=2$  multipolaritású rezonancia gerjesztési energiájára és szélességére rendre  $E_x=26.9 \pm 0.7$  MeV és  $\Gamma=6.0 \pm 1.3$  MeV értéket kaptunk, mely az elméleti előrejelzésekkel összevetve azt jelezte, hogy az izoskalár kvadrupól-óriásrezonanciának az egyik felharmonikusát sikerült kimutatni.

---

## Az értekezés témakörében megjelent publikációk

### Referált publikációk

**R1** L. Csige, M. Csatlós, T. Faestermann, Z. Gácsi, J. Gulyás, D. Habs, R. Hertenberger, M. Hunyadi, A. Krasznahorkay, R. Lutter, H.J. Maier, P.G. Thirolf, H.F. Wirth

*Hyperdeformed sub-barrier fission resonances observed in  $^{232}\text{U}$*

Physical Review C **80** (2009)011301 (IF:3.302)

**R2** L. Csige, M. Csatlós, T. Faestermann, Z. Gácsi, J. Gulyás, D. Habs, R. Hertenberger, M. Hunyadi, A. Krasznahorkay, R. Lutter, H.J. Maier, P.G. Thirolf, H.F. Wirth

*New excited states and fission resonances in the actinide region*

Acta Physica Polonica **B38** (2007)1503-1507. (IF:0.664)

**R3** M. Hunyadi, C. Baumer, A.M. van den Berg, N. Blasi, M. Csatlós, L. Csige, B. Davids, U. Garg, J. Gulyás, M.N. Harakeh, A.M. de Huu, B.C. Junk, A. Krasznahorkay, S. Rakers, D. Sohler, H.J. Wörtche

*Particle decay of the isoscalar giant dipole resonance in  $^{208}\text{Pb}$*

Nuclear Physics **A731** (2004)49-56. (IF:2.108)

**R4** M. Hunyadi, A.M. van den Berg, N. Blasi, C. Baumer, M. Csatlós, L. Csige, B. Davids, U. Garg, J. Gulyás, M.N. Harakeh, A.M. de Huu, B.C. Junk, A. Krasznahorkay, S. Rakers, D. Sohler, H.J. Wörtche

*Direct proton decay of the isoscalar giant dipole resonance*

Physics Letters **B576** (2003)253-260. (IF:4.066)

**R5** A. Krasznahorkay, L. Csige, M. Csatlós, Y. Eisermann, T. Faestermann, Z. Gácsi, G. Graw, J. Gulyás, D. Habs, M.N. Harakeh, M. Heil, R. Hertenberger, F. Kappeler, A. Krasznahorkay Jr., H.J. Maier, Z. Máté, R. Reinfarth, P.G. Thirolf, J. Timár, H.F. Wirth

*Hyperdeformation and clusterization in the actinide region*

Acta Physica Hungarica New Series - Heavy Ion Physics **18** (2003) 323-330. (IF:0.097)

### Konferencia előadások

**T1** L. Csige, M. Csatlós, Z. Gácsi, J. Gulyás, M. Hunyadi, A. Krasznahorkay, *et al.*

*Hyperdeformed fission resonances observed in  $^{232}\text{U}$*

---

European Nuclear Physics Conference  
Bochum, Germany, 16-19 March 2009.

**T2** L. Csige, M. Csatlós, Z. Gácsi, J. Gulyás, M. Hunyadi, A. Krasznahorkay, *et al.*

*Maghasadás egzotikus állapotokon keresztül*

ELFT Fizikus Vándorgyűlés

Eger, Magyarország, 2007. augusztus 22.-24.

**T3** L. Csige, M. Csatlós, Z. Gácsi, J. Gulyás, A. Krasznahorkay, *et al.*

*New excited states and fission resonances in the actinide region*

41st. Zakopane Conference on Nuclear Physics

Zakopane, Polska, 4-10 September 2006

## Egyéb, az értekezés témájához szorosan nem kötődő referált publikációk

**O1** A.Cs. Vitéz, A. Krasznahorkay, J. Gulyás, M. Csatlós, L. Csige, Z. Gácsi, A. Krasznahorkay Jr., B.M. Nyakó, F.W.N. de Boer, T.J. Ketel, J. van Klinken

*Anomalous internal pair creation in  $8\text{Be}$  as a signature of the decay of a new particle*

Acta Physica Polonica **B39** (2008)483. (IF:0.664)

**O2** M. Hunyadi, A.M. van den Berg, N. Blasi, M. Csatlós, L. Csige, B. Davids, M. Fujiwara, U. Garg, J. Gulyás, M.N. Harakeh, A.M. de Huu, A. Krasznahorkay, D. Sohler, H.J. Wörtche

*Recent results from the decay studies of high-energy isoscalar giant resonances*

Acta Physica Polonica **B38** (2007)1479. (IF:0.664)

**O3** A. Krasznahorkay, J. Gulyás, M. Csatlós, L. Csige, Z. Gácsi, M. Hunyadi, T.J. Ketel, A. Krasznahorkay Jr., B.M. Nyakó, F.W.N. de Boer, T.J. Ketel, J. van Klinken, A.Cs. Vitéz

*Lepton pairs from a forbidden  $M0$  transition: Signaling an elusive light neutral boson?*

Acta Physica Polonica **B37** (2006)239. (IF:0.882)

- 
- O4** M. Hunyadi, A.M. van den Berg, M. Csatlós, **L. Csige**, B. Davids, U. Garg, J. Gulyás, M.N. Harakeh, A.M. de Huu, A. Krasznahorkay, D. Sohler, H.J. Wörtche

*Overtones of isoscalar giant resonances studied in direct particle decay measurements*

Acta Physica Polonica **B36** (2005)1115. (IF:0.807)

- O5** Z. Elekes, Zs. Dombrádi, A. Krasznahorkay, H. Baba, M. Csatlós, **L. Csige**, N. Fukuda, Zs. Fülöp, Z. Gácsi, J. Gulyás, N. Iwasa, H. Kinugawa, S. Kubono, M. Kurokawa, X. Liu, S. Michimasa, T. Minemura, T. Motobayashi, A. Ozawa, A. Saito, S. Shimoura, S. Takeuchi, I. Tanihata, P.G. Thirolf, Y. Yanagisawa, K. Yoshida

*Decoupling of valence neutrons from the core in  $^{16}\text{C}$*

Physics Letters **B586** (2004)34. (IF:4.619)