

Acet document conține raportul științific pentru 2011-2016 în limba română, urmat de un rezumat în limba engleză pentru anul 2016.

This document contains the scientific report for 2011-2016 in Romanian, followed by an English abstract for 2016.

Raport științific

privind implementarea proiectului in perioada octombrie 2011 – septembrie 2016

Proiect IDEI – 127 / 05.10.2011

(Cod proiect PN-II-ID-PCE-2011-3-0140)

Perioada octombrie 2011 – decembrie 2011

In cursul anului 2011, activitatea in cadrul contractului s-a derulat pe cele trei directii inscrise in planul de lucru:

1. Studiul nucleului ^{150}Pm .

Dupa cum s-a prezentat in propunerea de proiect, in acest nucleu impar-impar nu exista nici macar o stare excitata cunoscuta pana in prezent, o situatie complet neobisnuita pentru un nucleu situat foarte aproape de linia de stabilitate, si care poate fi atins printr-o varietate de reactii nucleare pe mai multe nuclee stable care il inconjoara. Cunoasterea structurii acestui nucleu este foarte importanta cel putin pentru doua directii foarte actuale de investigatie: (1) Starile sale excitate sunt stari intermediare in dezintegrarea beta dubla ($\beta\beta$) a ^{150}Nd care poate avea loc cu emisie de 2 neutrini (2v) sau fara emisie de neutrino (0v). ^{150}Nd este considerat unul din cei mai buni candidati la dezintegrarea $0\nu\beta\beta$, care, daca ar fi masurata, ar dovedi ca neutrini sunt particule de tip Majorana, rezolvand o lunga dezbatere atat in fizica nucleara cat si in cea aparticulelor. Calculele celor doua tipuri de dezintegrare implica sumari peste aceste stari excitate, in prezent necunoscute. (2) ^{150}Pm este vecin cu cel mai bun candidat de nucleu cu simetrie de punct critic X(5) (punct al unei tranzitii de forma critica intre nuclee-vibrator si nuclee-rotor), ^{150}Nd , deci cunoasterea sa, impreuna cu cea a nucleelor impare vecine este importanta pentru studiul tranzitiilor de faza in sistemele cuantice nucleare.

In vederea investigarii acestui nucleu s-au efectuat *doua* experimente:

(a) In vara anului 2011, s-a studiat reactia $^{152}\text{Sm}(\text{d},\alpha)^{150}\text{Pm}$. Experimentul a fost efectuat la acceleratorul Tandem de la Universitatea Tehnica din München, la o energie incidenta de 25 MeV. S-a utilizat pentru detectia si identificarea produsilor de reactie spectrometrul Q3D si detectorul sau de plan focal de inalta rezolutie cu o lungime de 1 metru. Experimentul a avut o rezolutie energetica de cca 13 keV. Spectrele masurate au pus in evidenta *pentru prima data* un numar foarte mare de stari excitate: circa 48 de stari pana la o energie de 1400 de keV.

(b) S-a continuat studiul acestui nucleu la Tandemul de la Bucuresti, efectuandu-se masuratori ale reactiei $^{150}\text{Nd}(\text{p},\text{n})^{150}\text{Pm}^*$ (γ), la o energie de 7.1 MeV. S-au masurat coincidente $\gamma\gamma$ si $n\gamma$, utilizandu-se ansamblul multi-detector pentru spectroscopie gama din cadrul Departamentului de Fizica Nucleara (DFN) al IFIN-HH. Analiza acestor date de coincidenta, terminata recent, a pus in evidenta un numar de

20 de stari excitate pana la o energie de excitatie de 370 keV, cele mai multe confirmand starile observate in reactia (d,α) . Mai mult, cateva din starile observate prin intermediul celor doua reactii au fost gasite in buna concordanta cu stari observate recent intr-un studiu al aceluiasi nucleu prin reactia $(^3He,t)$.

In concluzie, pentru nucleul propus pentru studiu, ^{150}Pm , au fost efectuate doua experimente complexe, s-a efectuat analiza datelor experimentale, iar pe baza rezultatelor acestora a fost evidentiat, in premiera, un mare numar de stari excitate. Pe baza rezultatelor obtinute a fost practic finalizat un *articol stiintific* ce urmeaza a fi trimis pentru publicare pana la sfarsitul anului 2011.

NB: articol aparut: D. Bucurescu *et al.*, **Physical Review C**85(2012)017304 (nr. 1 in lista atasata).

2. Studiul nucleului ^{120}Te

In nucleul ^{120}Te , ca o continuare a unor studii efectuate pe alti izotopi ai Telurului, ne-am propus masuratori de timpi de viata ai starilor excitate, pentru determinarea de probabilitati de tranzitie electromagneticica. Ca si in celealte cazuri, s-a utilizat reactia (α,n) , care are proprietatea de a fi neselectiva, adica populeaza toate nivelele excitate pana la un anumit spin, din acest punct de vedere permitand o observare “completa” a schemei de nivele. Reactia $^{117}\text{Sn}(\alpha,n\gamma)$ a fost efectuata la acceleratorul Tandem al IFIN-HH, la o energie de 15 MeV, pe o tinta groasa. Detectia radiatiilor gama a fost efectuata cu un numar de 5 detectori de Germaniu hiperpur de eficienta relativa in jur de 55%, plasati la diferite unghiuri fata de axa fasciculului incident. Ca si in cazul studiilor anterioare ale izotopilor ^{118}Te si ^{122}Te , masurarea pe tinta groasa (care stopeaza complet nucleele de recul) a permis observarea deplasarii atenuate a energiei tranzitiilor gama, de unde, utilizand metoda atenuarii deplasarii Doppler (DSAM) se pot deduce timpii de viata ai starilor nucleare excitate.

S-au facut masuratori cu sistemul de detectie gama al DFN atat in coincidenta cat si in spectre ne-coincidente. Analiza acestora a fost finalizata in toamna anului 2011. S-au determinat: (i) un numar important de nivele excitate noi, din analiza relatiilor de coincidenta gama-gama; (ii) timpi de viata pentru un numar insemnat de nivele, in domeniul sub-picosecundei.

Sistematizarea acestor date, calculul tranzitiilor electromagneticice ale nivelor excitate, urmarirea evolutiei lor de-a lungul lantului de izotopi par-pari ai Staniului, precum si intelegerarea acestor rezultate pe baza unor calcule cu modele teoretice adecvate, urmeaza sa fie efectuate in perioada urmatoare.

3. Studiul nucleului ^{166}Er

In acest nucleu s-a propus intelegerarea detaliata a excitatiilor de monopol (starile 0^+) si de quadrupol (2^+) pentru care se detineau deja rezultate bazate pe masuratori pe baza reactiei cu transfer de doi nucleoni (p,t).

Reluarea analizei spectrelor pe baza carora s-au determinat distributiile unghiulare a permis pana in prezent urmatoarele. Pe baza analizei DWBA (si, in unele cazuri, de CC – canale cuplate) s-au atribuit un numar de 20 de stari cu spin si paritate 0^+ pana la energia de excitatie de cca 4 MeV. In acelasi interval de energie s-au evidentiat un mare numar de stari 2^+ (circa 40), a caror analiza se continua inca.

Pentru intelegerarea excitatiilor monopolare, a fost obtinut un progres important, pe baza unor calcule efectuate cu modelul bosonilor in interactie, varianta spdf (cu bozoni avand momentele cinetice 0, 1, 2 si 3). Cu acest model, a fost mai intai obtinuta o buna descriere a starilor de excitatie joasa de ambele paritati. S-au studiat apoi intensitatile de transfer de doi neutroni pentru aceste stari, pentru transferul respectiv existand mai multe posibilitati de alegere a operatorului respectiv. Prin studii sistematice s-au determinat termenii utili ai acestui operator, care au condus la o descriere excelenta a intensitatii cumulate de transfer de doi neutroni (ceea ce inseamna o buna descriere atat a distributiei in energie a starilor 0^+ , cat si a intensitatilor lor individuale), ceea ce inseamna ca o mare parte din starile observate au o componenta principala ce provine din cuplarea a doi bosoni octupolari. In prezent se extinde studiul la mai multe nuclee, si in special la nucleul vecin ^{168}Er , studiat anterior, si care are o distributie diferita a

starilor 0^+ .

O alta abordare a intelegerii starilor 0^+ este incercata pe baza unor modele bosonice care introduc notiunea de “benzi orizontale” (ansamblu de nivele cu acelasi spin, de exemplu 0, dar continand un numar diferit de cuante elementare de excitatie). De exemplu, in cazul modelului bosonilor vectoriali in interactie, se prezice ca nivelele de spin 0 reprezentate intr-un plan energie de excitatie - numar de bosoni, se aseaza dupa o parabola. Investigarea acestui mod de reprezentare si consecintele sale sunt in curs de realizare pentru mai multe nuclee din zona. Sistemizarea starilor 2^+ in nucleul ^{166}Er si finalizarea calculelor teoretice umeaza si fie terminate in viitor.

Perioada decembrie 2011 – decembrie 2012

Urmand cadrul general al propunerilor din proiect, s-au obtinut urmatoarele rezultate:

4. Studiul nucleului ^{150}Pm .

Dupa cum s-a mentionat in raportul pentru anul 2011, a fost deja publicat un articol cu rezultatele a doua experimente efectuate pentru studiul structurii acestui nucleu (**PR C85(2012)017304**). Articolul respectiv a evideniat, pentru prima oara, un mare numar de stari excitate in acest nucleu. De mentionat insa ca, datorita caracterului dificil al celor doua experimente, nu s-au putut determina pana in prezent spini si paritati pentru nivelele evidente, ci s-au determinat doar energiile lor de excitatie.

In vederea caracterizarii mai detaliate a acestui nucleu, si anume pentru a determina spini si paritati macar pentru o parte a nivelor evidente, **s-a propus un nou experiment**: masurarea distributiilor unghiulare in reactia $^{152}\text{Sm}(\text{d},\alpha)^{150}\text{Pm}$. Experimentul *a fost efectuat* din nou la acceleratorul Tandem de la Universitatea Tehnica din München, in toamna anului 2012, la o energie incidenta de 18 MeV. S-au masurat un numar de 9 spectre (la 9 unghiuri intre 5 si 45 de grade), utilizand spectrometrul Q3D si detectorul sau de plan focal de inalta rezolutie cu o lungime de 1 metru. Urmare a constatarilor din primul experiment, in care s-a vazut ca sectiunile eficace ale reactiei respective sunt foarte mici, in acest experiment s-a cerut expres un fascicul de deuteriu foarte intens, lucrandu-se cu curenti pe tinta de cca 1 microampere. Datele obtinute sunt in curs de prelucrare la Bucuresti si, pe baza unei analize DWBA a distributiilor unghiulare ce vor fi obtinute, *se spera obtinerea unui numar insemnat de valori de spin si paritate*, si publicarea unui alt articol in 2013.

5. Studiul nucleului ^{95}Pd .

Acest studiu **a fost finalizat**. Nucleul a fost studiat cu ajutorul reactiei de fuziune-evaporare $^{58}\text{Ni} + ^{40}\text{Ca}$ la 135 MeV (canalul 2pn). Masuratorile au fost facute intr-un experiment efectuat la Lab. National din Legnaro (Padova), cu ajutorul multidetectorului gama GASP (avand 40 de detectori de Germaniu hiperpur), sferei de telescoape de siliciu ISIS (pentru detectia particulelor incarcate), si a unui multi-detector pentru detectia neutronilor (N-ring), compus din 6 detectori cu scintilator lichid BC501A. S-au evideniat nivele noi avand spini pana la cel putin 45/2, pentru ambele paritati. Prelucrarea datelor si interpretarea lor au fost facute la Bucuresti. Aceste nivele au fost bine intelese pe baza unor calcule de model in paturi de mari dimensiuni. S-a publicat un articol: R. Marginean et al., **Physical Review C86(2012)034339** (nr. 2 in lista de publicatii).

De notat ca, tatonari efectuate cu ocazia prelucrarii acestor date experimentale au condus la ideea ca in viitorul apropiat se poate finaliza un studiu asemanator, de valoare comparabila, asupra nucleelor ^{91}Ru si ^{92}Ru , acest studiu aparand chiar mai fezabil decat cel propus initial in proiect, al nucleului ^{97}Mo . Studiul respectiv este propus pentru anul 2013.

6. Studiul nucleului ^{120}Te

In anul 2011 au fost raportate masuratori de timpi de viata ai starilor excitate, pentru determinarea de probabilitati de tranzitie electromagnetic in acest nucleu, efectuate la tandemul de la Bucuresti cu reactia $^{117}\text{Sn}(\alpha, n\gamma)$ pe o tinta groasa. S-au determinat un numar mare de nivele excitate noi, din analiza relatiilor de coincidenta gama-gama, precum si timpi de viata pentru un numar insemnat de nivele, prin metoda DSAM, in domeniul sub-picosecundei.

Initial se propusese incheierea acestui studiu in anul 2012. Pe parcurs s-a gasit interesanta extinderea masuratorilor de timpi de viata in acest nucleu si in alte domenii de timp (pana la nanosecunda) astfel incat ^{120}Te sa devina un “exemplu” de nucleu cu masuratori quasi-complete de timpi de viata. In acest sens, *vor fi efectuate doua noi masuratori*, ambele la tandemul IFIN:

(a) masuratori cu **metoda distantei de recul** (sau “plunger”) in reactia $^{110}\text{Pd}(^{13}\text{C}, 3n)$ la 50 MeV. Pentru aceasta se va folosi un sistem de 13 detectori de Ge hiperpur, si dispozitivul plunger creat in Departamentul de Fizica Nucleara (DFN). Se va utiliza metoda “curbei de dezintegrare diferențiale”, determinand timpii de viata (preliminar evaluati in domeniul catorva picosecunde) ai primelor trei stari excitate din banda yrast (pana la starea 6^+). Aceiasi reactie a permis determinari de timpi de viata prin metoda DSAM pentru un numar de 11 stari, 4 dintre ele fiind comune cu determinarile prin reactia (α, n).

(b) masuratori cu **metoda electronica** (directa), utilizand un ansamblu mixt de detectori HPGe si $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$, construit tot in cadrul DFN, ultimii fiind detectori scintilatori cu semnale foarte rapide, care permit, pe baza unei metode dezvoltata in DFN, masuratori de timp in domeniul sub-nanosecundei. S-a putut masura timpul de viata al unei stari de spin inalt.

Ca rezultat al tuturor acestor masuratori, estimam ca vor fi determinati *timpi de viata pentru un numar de 43 de nivele excitate* in acest nucleu, practic pentru toate nivelele excitate cunoscute pana la spin 12. Numarul mare de probabilitati de dezintegrare electromagnetic ce se vor determina din acesti timpi de viata este impresionant, facand din acest nucleu o piatra de incercare dificila pentru modelele de structura teroretice.

Pentru acest nucleu se spera ca in cursul anului 2013 sa se finalizeze masuratorile de timpi de viata precum si calcule teoretice (in colaborare cu un specialist in nuclee din zona de masa respectiva) pe baza carora sa se intrepreteze bogatia de date experimentale rezultata in urma acestor experimente.

7. Studiul nucleului ^{166}Er

In acest nucleu s-a propus intelegerarea detaliata a excitatiilor de monopol (starile 0^+) si de quadrupol (2^+) stabilite in mare numar pe baza reactiei cu transfer de doi nucleoni (p,t). Anume, s-au determinat (cf. raportului pe 2011) un numar de 20 de stari cu spin si paritate 0^+ , pana la energia de excitatie de cca 4 MeV si un mare numar de stari 2^+ (cca 50).

Intelegerarea numarului mare de stari 0^+ este deosebit de interesanta, dar in acelasi timp dificila, mai ales dat fiind faptul ca rezultatul masuratorilor pe acest nucleu, comparat cu cel pentru nucleul vecin (si foarte asemanator ca structura la energii joase), ^{168}Er , este surprinzator: cele doua nuclee prezinta distributii complet diferite ale intensitatii de transfer de doi nucleoni pentru starile 0^+ ! In mod de asemenea surprinzator, calcule proprii efectuate pe baza modelului bosonilor in interactie, in care se folosesc 4 feluri diferite de bosoni: s, p, d , si f , conduce la o buna descriere atat a proprietatilor schemei de nivele (energii de excitatie si moduri de dezintegrare atat a starilor de paritate pozitiva cat si a celor de paritate negativa), cat si, cel putin calitativ, a distributiilor de intensitate a transferului de 2 neutroni. Acest din urma rezultat a fost obtinut selectionand anumiti termeni din operatorul general care descrie transferul de doi neutroni si implica faptul ca o mare parte din starile observate sunt bazate pe excitari de doi fononi octupolari. Pentru o intelegerare mai profunda a acestui rezultat, este necesar un studiu mai general al acestui operator, pe un numar mai mare de nuclee, studiu aflat deja in derulare.

5. Studiul structurii fine in dezintegrarea alfa a nucleelor grele.

Acest subiect *nou* a fost deschis in legatura cu o alta directie de cercetare din planul proiectului, si anume studiul nucleului ^{240}Pu , propusa pentru anul 2013. Studiind zona nucleara din jurul Plutoniului, a reiesit ca foarte interesant de investigat proprietatea comună a tuturor acesto-nucleelor si anume radioactivitatea alfa. S-a creat o baza de date continand informatiile existente in aceasta privinta, si s-a observat ca anumite caracteristici ale asa-numitei structuri fine a dezintegrarii alfa (adica, dezintegrarea cu popularea starilor nucleare excitate din nucleul fiica) nu au fost remarcate pana in prezent, si nici nu sunt intelese de vreun model actual al dezintegrarii alfa. Se lucreaza la sistematizarea acestor observatii, pentru a gasi, eventual, corelatii cu anumiti indicatori de structura care sa fie utile in intelegerea fenomenelor. Prime rezultate au fost publicate deja in lucrarea nr. 3 din lista atasata.

Perioada decembrie 2012 – decembrie 2013

In cursul lucrului la unul din obiectivele propuse si anume studiul excitatiilor monopolare in nucleul ^{240}Pu , s-a realizat importanta extinderii acestui gen de studiu pe nucleee apropiate de paturile inchise, ceea ce ar putea inlesni intelegerea mecanismului aparitiei acestui gen de excitatie (ca numar de stari, distributie in energie, taria in reactiile de transfer de 2 neutroni). A fost astfel impulsivata incheierea prelucrarii si interpretarii unor date obtinute pe parcurs, adaugand la proiect un sub-obiectiv privitor la studiul excitatiilor monopolare in izotopi al Mercurului. De asemenea, s-a finalizat un studiu privitor la structura nucleelor transactinide.

Rezultatele obtinute sunt urmatoarele:

8. Studiul excitatiilor monopolare in ^{240}Pu .

A fost finalizata o prima interpretare a excitatiilor monopolare in nucleul ^{240}Pu , prin reactia cu transfer de doi neutroni (p,t), evidențiindu-se importanta corelatiilor octupolare la energii de excitatie joase. Rezultatele au fost publicate intr-un articol stiintific (nr. 4 in lista de mai jos).

9. Studiul excitatiilor monopolare in izotopi ai Mercurului (masele 198, 200, 202).

Principalele concluzii din studiul acestor izotopi au fost: (i) incheierea urmaririi sistematicii excitatiilor de acest tip in nucleee de masa medie si mare, acoperind un domeniu larg de caracteristici, de la zona tranzitionala din jurul Gd, peste zona bine deformata de pamanturi rare din jurul Yb, la regiunea moale in parametrul deformarii triaxiale γ – si incheind cu nucleee apropiate de patura inchisa; (ii) s-a inregistrat o scadere semnificativa a numarului de stari excitate 0+ in izotopii Hg, in acord calitativ cu calcule bazate pe modelul bosonilor in interactie (IBM) si cu asteptarile bazate pe spatiului nucleonilor de valenta. Rezultatele sunt publicate in doua articole, specificate mai jos (numerele 5 si 6).

10. Noi proprietati ale nucleelor transactinide.

A fost incheiat un studiu al structurii generale a nucleelor transactinide, bazat pe idei proprii, in legatura cu manifestarea schimbarilor de structura in masele nucleare, precum si in observabilele de dezintegrare alfa. S-a demonstrat existenta unei noi inchideri de subpatura deformata la neutroni, in jurul lui N=142, manifestata in nucleee de la U (Z=92) la Cf (Z=98), despre care nu se stia nimic pana in prezent, in afara de posibila prezicere a unei astfel de inchideri in calcule anterioare de model Nilsson. Rezultatele au fost publicate in articolul nr. 7 specificat mai jos.

11. Masuratori exacte de sectiuni de reactie.

O serie de membri ai echipei de cercetare au participat la realizarea unui experiment (la tandemul IFIN) de masurare a sectiunilor eficace de populare a starilor excitate in nucleul ^{28}Si prin reactia (α, n) la energii intre 5.6 si 15 MeV, prin spectroscopie gama. Scopul acestui experiment a fost o comparatie a

acestor sectiuni cu cele masurate in imprastierea inelastica a neutronilor (la IRMM – Geel, Belgia), care sunt de mare interes in fizica reactorilor nucleari. Rezultatele au fost publicate in articolul nr. 8 din lista.

Perioada decembrie 2013 – decembrie 2014

Conform obiectivelor inscrise in planul de realizare actualizat prin actul aditional AD-2 din 2014, au fost obtinute urmatoarele rezultate:

12. Studiul structurii nucleului ^{92}Ru la spini inalti.

Acest studiu a fost efectuat utilizand reactia $^{58}\text{Ni} + ^{40}\text{Ca}$ (fascicul) la o energie de 135 MeV, utilizand pentru detectia radiatiilor gama multidetectorul GASP (LN Legnaro). Masuratorile coincidente au permis construirea unei scheme de nivele pana la spini de cca 23 \hbar , atat pentru paritatile pozitive cat si pentru cele negative. In acest fel, benzile de rotatie cunoscute au fost mult extinse la valori de spin inalte si energie de excitatie, si au fost puse in evidenta noi benzi (si stari excitate). Valorile multipolaritatilor radiatiilor gama noi si valorile de spin ale noilor nivele au fost atribuite pe baza coeficientilor de orientare directionala si a rapoartelor de distributie unghiulara, masurate experimental. Schema de nivele experimental a fost comparata cu calcule de Model in Paturi efectuate intr-o baza extinsa, intrelegandu-se in acest fel majoritatea starilor excitate observate, pentru care se ofera si o clasificare dupa structura lor microscopica dominanta.

Rezultatele sunt cuprinse intr-un articol stiintific trimis spre publicare la revista Physical Review C.

13. Studiul structurii nucleului deformat ^{166}Er prin reactia directa de transfer de doi neutroni (p,t).

Acest nucleu a fost studiat prin reactia (p,t), experimentul fiind efectuat cu cea mai inalta rezolutie energetica posibila, la spectrometrul magnetic Q3D al Universitatii din Muenchen. Rezultate preliminare au fost raportate anterior tot in acest proiect. Datorita conditiilor excelente de rezolutie energetica s-au putut evidentia un foarte mare numar de stari excitate pana la o energie de excitatie de cca 4.0 MeV, si anume circa 150 de stari, pentru majoritatea masurandu-se distributia unghiulara intr-un numar de 7 puncte intre 5 si 37.5 grade. Analiza finala a acestor distributii unghiulare a fost efectuata pe baza unor calcule de DWBA (Distorted Waves Born Approximation) si CC (canale cuplate) putandu-se preciza in acest fel valorile spinului si paritatii starilor excitate. In acest fel, au fost atribuite un numar de 20 de stari excitate 0^+ , 40 de stari excitate 2^+ , si alte 40 de stari excitate atribuite ca $1^-, 3^-, 4^-, 5^-$ si 6^+ . Bogatia informatiei experimentale obtinuta in acest fel, si indeosebi numarul mare de stari 0^+ reprezinta o ocazie unica de a verifica in detaliu, pe baza unor modele adevarate, modul in care apar aceste excitatii nucleare (gradele de libertate nucleare importante).

Se cauta intrelegerea distributiei dupa energia de excitatie a starilor 0^+ , atat in ceea ce priveste energiile lor, cat si tariile cu care sunt ele populate prin transferul de doi neutroni. Prezinta un interes deosebit comparatia cu nucleul vecin ^{168}Er , anterior abordat printr-un studiu similar, si care, la o prima vedere a schemei de nivele la energii joase, este quasi-identic cu ^{166}Er , fiind foarte surprinzator faptul ca cele doua nucleee difera semnificativ in ceea ce priveste distributia tariilor de populare a starilor 0^+ . O prima incercare de intrelegere a datelor privind starile 0^+ si popularea lor in aceasta reactie a fost facuta prin intermediul modelului Bosonilor in Interactie (IBM) care include 4 feluri de bosoni: $s(l=0)$, $d(l=2)$, $p(l=1)$ si $f(l=3)$. S-a reusit o buna descriere a schemei de nivele la energii joase pentru nivelele de ambele paritati, trecand mai departe apoi la comparatia prezicerilor modelului pentru starile 0^+ cu rezultatele experimentale. Numarul de astfel de stari observate este destul de bine explicat, de asemenea distributia tariei cu care sunt ele populate in reactia (p,t). Astfel, numarul mare, oarecum neasteptat, de stari 0^+ poate fi in buna masura atribuit excitatiilor multifononice de natura octupolara. Intrelegerea diferentelor intre ^{166}Er si ^{168}Er este insa mai dificila. Calitativ, ea poate fi pusa pe seama unei inchideri de paturi deformate

la N=98, dar lipsa unor calcule efectiv microscopice care sa contina acest efect nu ne permite, deocamdata, o explicatie detaliata. Se doreste deocamdata extinderea calculelor IBM-spdf la ^{168}Er , acest lucru necesitand modificari importante ale programului pe calculator al acestui model.

Rezultatele de pana acum sunt deja redactate sub forma unui articol stiintific, care se spera sa fie finalizat si trimis spre publicare cel mai tarziu in primele luni ale anului viitor.

14. Studiu structurii de nivele a nucleului impar-impar ^{150}Pm .

Primele noastre rezultate, originale, privind schema de nivele a acestui nucleu (complet necunoasuta la ora demararii proiectului) au fost deja raportate in cadrul acestui proiect. In vederea unei caracterizari mai detaliate (valori de spin si paritate) s-a efectuat (la spectrometrul Q3D de la Muenchen) un alt experiment in cadrul caruia s-au masurat distributii unghiulare ale starilor excitate cu reactia directa (d,α), utilizandu-se un fascicul de deuteroni nepolarizat.

In urma efectuarii, si a evaluarii datelor, acestui experiment, s-au obtinut distributii unghiulare pentru un numar de 35 stari excitate pana la o energie de excitatie de 970 keV. Se incearca extragerea de informatie privind valorile posibile ale spinului starii si valoarea paritatii acestuia, prin calcule DWBA care utilizeaza un factor de forma atat semi-microscopic cat si de tip „cluster” pentru transferul protonului si neutronului. Pentru cateva stari s-au obtinut unele asemenea atribuirii, dar dificultatile intampinate sunt urmatoarele:

(a) distributiile unghiulare obtinute au relativ putina structura (oscilatii caracteristice) care sa permita o atribuire neambigua a transferului de moment cinetic orbital (de notat ca trebuie combinate mai multe asemenea momente cinetice).

(b) in aceasta zona de nuclee (pamanturi rare) si energii incidente de cca 30 MeV, practic nu exista informatie in ceea ce priveste parametrii potentialului de model optic pentru particulele α (necesari pentru descrierea canalului emergent in calculele DWBA). Acest lucru limiteaza puternic increderea in distributiile unghiulare calculate cu metoda DWBA precum si gradul lor de precizie.

Pentru finalizare acestei analize se iau in consideratie urmatoarele actiuni. In ceea ce priveste punctul (a), planificarea unui nou experiment dar folosind fascicul de deuteroni polarizat; masurarea asimetriei distributiilor unghiulare poate limita drastic posibilitatile de atribuire de spin/paritate. In acest caz insa, experimentul necesita o durata mare (minimum 1 saptamana), probabil greu de obtinut in cadrul competitiei foarte mari pentru timp de fascicul la acceleratorul din Muenchen. In privinta punctului (b) se are in vedere propunerea (tot la Muenchen) a unui nou experiment de masurare a imprastierii elastice a particulelor α de 25-30 MeV pe nuclee din aceasta zona de masa (pamanturi rare) – experiment mai usor de obtinut datorita duratei mai reduse (2-3 zile), dar cu rezultate importante nu numai pentru scopul nostru imediat, ci mai ales prin prisma completarii bazei de date privind modelul optic al particulelor α .

15. In legatura cu studiul nucleelor din vecinatatea nucleului ^{150}Pm , a fost de asemenea finalizat prin experimente suplimentare, si publicat, un articol referitor la structura unui alt nucleu impar-impar si anume ^{130}La (a se vedea lista de lucrari).

16. In continuarea unor preocupari mai vechi din domeniul studiului proprietatilor statistice ale nucleelor (densitati de nivele – de asemenea raportate pe parcursul acestui proiect) studiile anterioare au fost extinse in sensul prezicerii parametrilor densitatilor de nivele nucleare la toate nucleele la care (i) sunt masurate masele (tabelele de masa publicate in anul 2012) sau, (ii) masele sunt prezise pe baza unor modele de diverse tipuri. Aceste preziceri pentru cateva mii de nuclee sunt discutate in legatura cu precizia extrapolilor bazate pe modelele noastre si pe diversele modele de masa, extrapolile fiind cerute de diverse aplicatii, cum are fi calcule de diferite rate de reactie precum si calculele de nucleosinteza. Rezultatele au fost deja comunicate la cea de a 15-a Conferinta Internationala „Capture gamma-ray spectroscopy and related topics”, Dresden, August 2014 si vor aparea publicate in proceeding-

urile acestei conferinte.

Perioada decembrie 2014 – decembrie 2015

Faza unica:

17. Masuratori de probabilitati de tranzitie electromagnetic in nucleul tranzitional ^{86}Zr

Prezentarea problemei

Probabilitatile de tranzitie electromagnetic in nuclee sunt marimi care pot diferentia intre prezicerile diferitelor modele de structura nucleara, putand constitui teste extrem de severe pentru acestea, si totodata indicand importante paradigm ale structurii nucleelor (ca de ex. schimbarile de forma ale acestora). Tema propusa pentru cercetare a fost remasurarea timpilor de viata ai starilor yrast de spin jos din nucleul ^{86}Zr . Acesti timpi de viata au fost masurati cu metoda plunger (sau a distantei de recul) de catre o parte a autorilor acestui studiu [1], si remasurati relativ recent cu o metoda similara [2]. Este de notat ca ambele masuratori de plunger au fost facute fara coincidente gama-gama, astfel incat se puteau anticipa unele supraestimari ale timpilor de viata ale starilor joase din banda yrast, datorita neconsiderarii efectelor alimentarii laterale ale nivelelor respective. Utilizarea masuratorilor coincidente [3] permite eliminarea acestor efecte si determinari mult mai exacte.

Faptul ca timpii de viata raportati in referintele [1,2] pot fi suprarestimati rezulta si dintr-o analiza a cantitatilor $B(E2)$ determinate pe baza acestora. Valorile adoptate in baza de date ENSDF pentru acest nucleu sunt [4]: $B(E2:2_1^+ \rightarrow 0_1^+) = 13(3)$ W.u.; $B(E2:4_1^+ \rightarrow 2_1^+) = 8(4)$ W.u.; $B(E2:6_1^+ \rightarrow 4_1^+) = 2.9(12)$ W.u.; $B(E2:8_1^+ \rightarrow 6_1^+) = 5.5(7)$ W.u. Astfel, pentru acest nucleu se obtin urmatoarele rapoarte: $B_{4/2} \equiv B(E2:4_1^+ \rightarrow 2_1^+) / B(E2:2_1^+ \rightarrow 0_1^+) = 0.62(34)$ and $B_{6/2} \equiv B(E2:6_1^+ \rightarrow 4_1^+) / B(E2:2_1^+ \rightarrow 0_1^+) = 0.22(10)$. In ciuda erorilor mari a acestora, este de notat ca ambele valori $B_{4/2}$ si $B_{6/2}$ sunt mai mici ca 1. Acest lucru este cu totul neasteptat [5] pentru un nucleu care nu este foarte apropiat de paturi inchise si deci manifesta fenomene de colectivitate. Spre exemplu, in cazul celor trei limite (simetrii dinamice) ale modelului IBA (al bosonilor in interactie), precum si a punctelor critice de tranzitie de faza dintre aceste limite, rapoartele $B_{4/2}$ si $B_{6/2}$ ar trebui sa aiba urmatoarele valori:

Tabela 1: Rapoarte $B(E2)$ pentru stari yrast in ^{86}Zr (reziceri model IBA)

	Vibrator armonic	$U(5)^{\text{a})}$	$O(6)^{\text{a})}$	Rotor	$SU(3)^{\text{a})}$	$E(5)$	$X(5)$
$B_{4/2}$	2	1.71	1.34	1.43	1.37	1.67	1.60
$B_{6/2}$	3	2.14	1.41	1.56	1.39	2.21	1.98

a) Pentru aceste preziceri IBA s-a folosit un numar de bosoni $N_B = 7$, corespunzand nucleului ^{86}Zr .

Cu o valoare $R(4/2)=E(4_1^+)/E(2_1^+) = 2.22$, nucleul ^{86}Zr apare ca apropiat limitei de vibrator armonic. Se stie intr-adevar ca prin descresterea numarului de neutroni de la 50 catre 40 nucleele de Zr devin tranzitionale si ca nucleul ^{80}Zr atinge o valoare de 2.86 pentru acest raport, foarte apropiata de valoarea punctului critic $X(5)$ al tranzitiei dintre limitele $U(5)$ si $SU(3)$. Deci, anomalia $B_{4/2} < 1$ trebuie examinata cu grijă, prin noi masuratori experimentale, intrucat este de mare importanta sa se inteleaga cum se dezvolta colectivitatea de-alungul acestui lant isotopic. Mai mult, valoarea $B(4/2) = 0.62(34)$ (mai mica decat 1) pentru nucleul ^{86}Zr apare anomala in contextual unor sistematici peste toate nucleele par-pare [5], dupa cum reiese din Figura 1. De notat ca aceasta figura prezinta alte trei cazuri de asemenea anomalii (^{98}Ru , ^{144}Nd si ^{180}Pt) care, dupa re-masurari, au devenit cazuri "normale" (cu $B_{4/2}$ mai mare ca 1). In aceiasi categorie intra nucleul ^{134}Ce , care, dupa re-masurarea cu metoda plunger coincidenta (la tandemul de la Bucuresti) s-a dovedit a nu mai fi un caz anomal (rezultat preliminar).

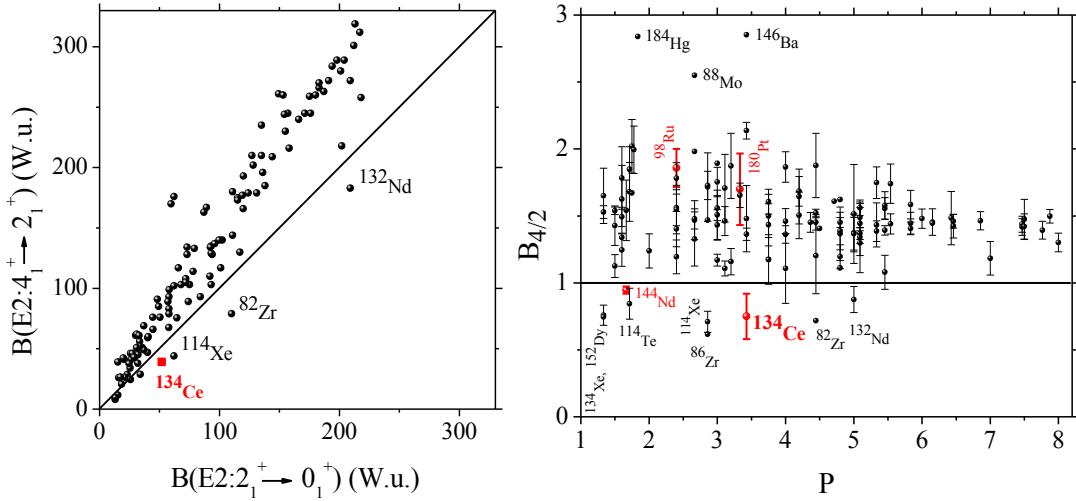


Figura 1 – Stanga: valoarea $B(E2; 4^+ \rightarrow 2^+)$ ca functie de $B(E2; 2^+ \rightarrow 0^+)$ pentru nucleele cu $40 < Z < 80$ (exceptand nucleele magice). Linia diagonală indică egalitatea celor două. Dreapta: raportul $B(4/2)$ pentru aceleasi nuclee ca functie de factorul P ($P = (N_p N_n) / (N_p + N_n)$, cu $N_{p,n}$ – numarul de nucleoni de valenta).

Figura 1 arata deci ca ⁸²Zr ramane unul din putinele cazuri anomale, situatie ce poate arata straniu pentru un nucleu cu numere relative mari de nucleoni de valenta (10 gauri protonice si 4 gauri neutronice). Pe de alta parte, acest nucleu ar putea avea o structura colectiva slabă, bazată pe excitatii de model in paturi la energii joase, după cum s-a sugerat in ref. [2]. Rezolvarea acestei enigme a constituit deci baza prezentei propuneri de experiment.

Experimente anterioare

Vom prezenta o vedere critica asupra experimentelor anterioare [3] in care au mai fost masurati timpi de viata ai starilor yrast (pana la starea 8⁺). Sunt doua experimente de acest gen, experimental nostru din 1978 [1], si cel al lui Kaye *et al.* din 1998 [2], ambele cu tehnica plunger. Valorile raportate sunt cele din Tabela 2. Un al treilea experiment [8] (tot plunger) raporteaza timpi de viata pentru starile de spin mai inalt, incluzand starea 8⁺, pentru care este gasita o valoare consistenta cu cea a ref. [2].

Tabela 2. Timpi de injumatatire $T_{1/2}$ (in ps) din experimente precedente (necoincidente) [1,2]

Stare	Ref. [1]	Ref. [2]
2 ⁺	7.3(14)	7.8(19)
4 ⁺	6.0(27)	5.4(24)
6 ⁺	8(4)	8.5(34)
8 ⁺	62(6)	46(6)

Valorile celor doua masuratori pentru starile pana la 6⁺ coincid in limitele erorilor (mari) de masura. Este totusi de subliniat ca ambele experimente sunt necoincidente (spectre masurate in ‘singles’, cu un singur detector), deci sunt supuse la erori (probabil mari) datorita neglijarii timpilor de alimentare laterali (necunoscuti). Pentru starea 8⁺ diferenta este mai importanta si merita de revazut.

Experimentul prezent

In experimentul nou propus, masuratorile de plunger propuse au fost facute in modul coincident, aplicand metoda DD-RDM (differential decay RD metod) [3], in acest mod evitandu-se problema alimentarilor laterale (cu timpi necunoscuti). Experimentul a folosit instalatia multi-detector ROSPHERE a Departamentului de Fizica Nucleara al IFIN-HH, intr-o configuratie cu 14 detectori de Germaniu (HPGe) de eficienta relativa cca 50% plasati cate 5 in cele doua inele de la 37 si 143 de grade (‘inainte’ si ‘inapoi’) si 4 in inelul de la 90 de grade, si 11 detectori cu scintilator LaBr₃:Ce plasati in inelele apropiate de 90 de grade. Utilizarea acestor ultimi detectori rapizi va oferi

posibilitatea unei masurari independente a timpului de viata al starii 8^+ , prin metoda electronica a timingului rapid [9].

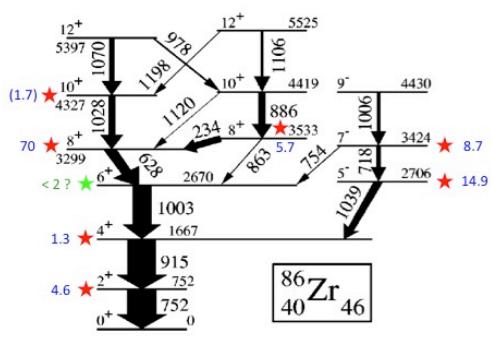
Experimentul a folosit reactia de fuziune-evaporare $^{73}\text{Ge}(^{16}\text{O}, 3\text{n})^{86}\text{Zr}$, aceiasi ca si in ref. [1]. Energia fasciculului a fost de 57 MeV. Tinta a fost din ^{73}Ge (imbogatit isotopic) de 0,4 mg/cm², evaporata pe o foita de Aur de \sim 2 mg/cm². Acest ansamblu-tinta a fost intins la un inalt grad de planeitate in suportul de tinta specific instalatiei de plunger din cadrul DFN, si aranjat paralel cu o fointa stopanta de asemenea de platnăitate ridicata (Au de 5 mg/cm²). Masuratorile au fost efectuate inregistrand coincidentele duble intre toti detectorii HPGe, la urmatoarele distante 8, 10, 12, 20, 30, 50, 70, 110, 150, 200, 250, 300 microni (cea mai mica distanta fiind aproape de punctual de contact electric). Din pacate, la prelucrarea ulterioara, datele obtinute la cele mai mici trei distante (8, 10, 12 μm) nu au putut fi utilizate din cauza unei probleme de normare.

Analiza datelor de plunger a fost facuta creind, in primul rand, pentru fiecare distanta, un numar de 6 matrici de coincidente intre detectorii HPG, denumite astfel: $90\text{-}90$; $Bw\text{-}90$; $Bw\text{-}Bw$; $Fw\text{-}90$; $Fw\text{-}Fw$; $Fw\text{-}Bw$, unde Fw denota detectorii de la unghiul "inainte" (37°); Bw – de la unghiul "inapoi" (143°); iar 90 , pe cei de la 90° . *Semnificatia notatiei:* o matrice, de exemplu $Fw\text{-}90$ inseamna inregistrarea coincidentelor dintre detectorii Fw si cei 90 , pe o axa punandu-se energiile radiatiilor gama detectate la 90° , iar pe cealalta cele detectate de detectorii de la 37° . Pentru o radiatie gama inregistrata Fw sau Bw , se vor inregistra doua picuri: cel 'deplasat' (la o energie mai mare sau, respectiv, mai mica) – corespunzand nucleelor dezintegrate in zbor, si cel 'stopat' – corespunzand nucleelor dezintegrate dupa ce s-au oprit (stopat) in foita stopanta. Energia picului deplasat este data de relatia efectului Doppler $E_d = E_0(1+v/c \cos\theta)$ unde E_0 este energia radiatiei gama emisa din repaus (din schema de nivele, care se observa si la unghiul de 90°), v/c este viteza nucleelor de recul raportata la viteza luminii c , iar θ este unghiul de observare (Fw sau Bw). In cazul nostru, viteza de recul a fost de 1,23%.

In fiecare matrice, se pot determina spectre pe una din axe, corespunzand unei anumite conditii ('poarta') pe cealalta axa. Metoda plunger DD-RDM consta in examinarea comportarii cu distanta x a componentelor d (deplasata) si s (stopata) ale unei tranzitii, conditionate de o poarta pe picul d (deplasat) al unei tranzitii de deasupra celei studiate. In acest caz, se arata [3] ca timpul de viata τ (definit la $T_{1/2}/ln2$) este definit, pentru fiecare distanta masurata x , de relatia: $\tau(x) = I_s(x)/vd/dt(I_d(x))$, unde I_s (I_d) reprezinta intensitatea (normata) a tranzitiei stopate (deplasate) a liniei de interes, asa cum sunt ele vazute in poarta pe picul deplasat al tranzitiei de deasura (care alimenteaza direct starea de interes). In mod analog, dar cu o relatie mai complicata, se poate determina τ si din spectre obtinute dintr-o poarta pe picul deplasat al unei tranzitii ce alimenteaza nivelul studiat printr-o cascada de doua sau mai multe tranzitii intermediare.

Rezultate ale analizei datelor de plunger

Figura 2 (mai jos) prezinta schema de nivele a nucleului ^{86}Zr la energii joase de excitatie, pe baza careia au fost analizate datele. Nivelele pentru care au fost extrasi timpi de viata (indicati) prin prezentul experiment sunt distinse printr-o steluta.



Figurile 3, 4 si 5 prezinta exemple de analiza a datelor acestui experiment.

Tabela 3 prezinta in mod succint rezultatele acestei analize.

Tabela 3. Rezultatele analizei de DD-RDM pentru prezentul experiment. Pentru fiecare tranzitie se prezinta modul de analiza (respectiv, poarta in care a fost analizata), precum si comparatia cu rezultatele precedente [1,2]. Marcajul prin steluta indica faptul ca poarta a fost pusa pe o a doua tranzitie deasupra celei analizate.

Star e	E_γ (keV)	Ref. [1]	Ref. [2]	Present (coin. plunger)	Present mean value	B(E2) (W.u.)
2^+	752	10.6(20)	11.2(28)	4.6(1) gate 915 4.8(2) gate 1003 *	4.64(10)	33.1(7)
4^+	915	8.7(39)	7.8(34)	1.3(3) gate 628 * 1.2(6) gate 718 *	1.3(3)	42(10)
6^+	1003	11.5(52)	12.2(49)	2.5(1) gate 628 4.2(10) gate 234 * 2.1(20) gate 1027 *	< 2 (?)	> 13.8
8^{+}_1	628	90(10)	67(8)	70.0(13) gate 234 74.6(12) gate 1027		5.2(2)
8^{+}_2	234		4.7(10)	5.7(2) gate 886	5.7(2)	
5^-	1039	9.7(17)	20(10)	14.9(5) gate 718	14.9(5)	
7^-	718		7.7(30)	8.7(2) gate 1006	8.7(2)	
10^{+}_1	1028		3.2(10)	[1.7(3)] gate 1070	[1.7(3)]	

Pentru tranzitia de 1003 keV ($6^+ \rightarrow 4^+$) nu a putut fi determinata o valoare, analiza indicand posibilitatea ca timpul de viata al starii 6^+ sa fie mai scurt de 1-2 ps. Pentru tranzitiile non-yrast, valorile prezente sunt in acord rezonabil cu cele din ref. [2]. Masuratorile prezente confirmă timpul de viata din ref. [2] pentru prima stare excitată 8^+ .

Pentru valorile B(E2) prezente raportul $B(4.2)$ devine $B(4/2)=1.27 \pm 0.30$. Desi eroarea este inca prea mare pentru a deduce tipul de structura manifestat de acest nucleu (cf. Tabelului 1), valoarea indica faptul ca ^{86}Zr nu mai este un nucleu atipic.

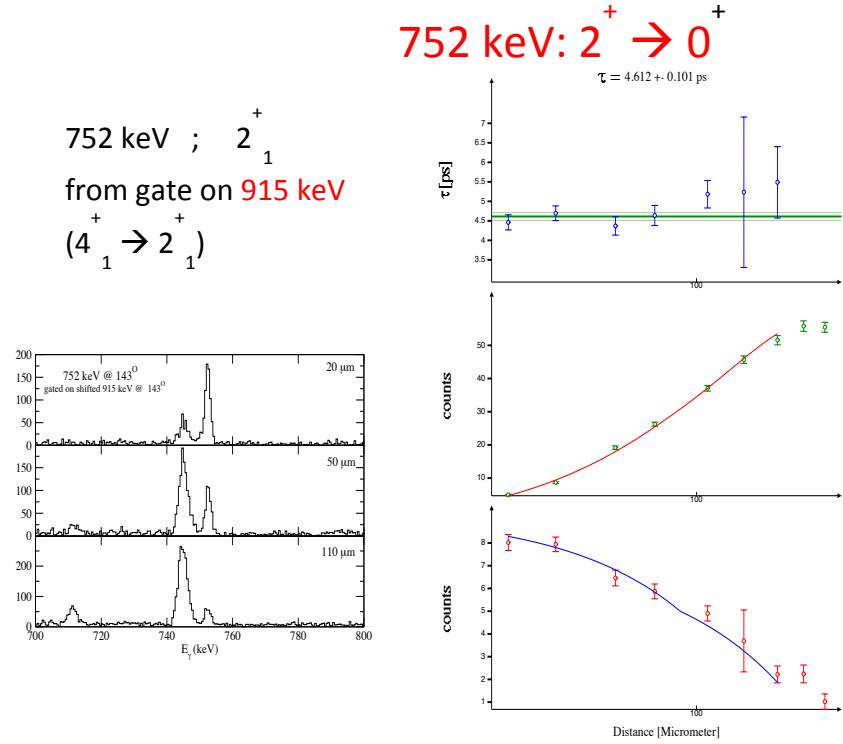


Figura 3 : Stanga: spectre la distantele indicate aratand picurile stopat si deplasat (in directia inapoi) pentru tranzitia de 752 keV. Partea din dreapta indica analiza DD-RDM [3], cand poarta a fost pusa pe picul deplasat al tranzitiei imediat deasupra, de 915 keV (v. Fig. 2).

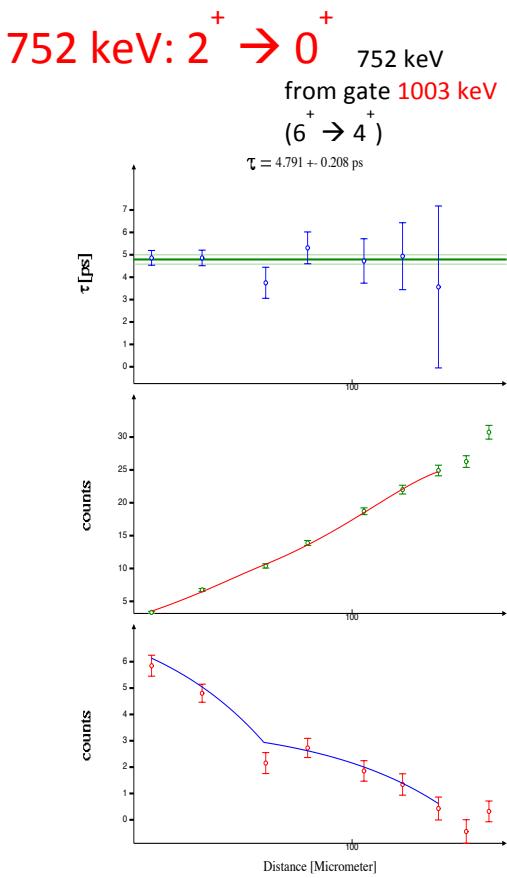


Figura 4: similara Figurii 3, doar ca poarta a fost plasata pe tranzitia a doua deasupra nivelului 2^+ .

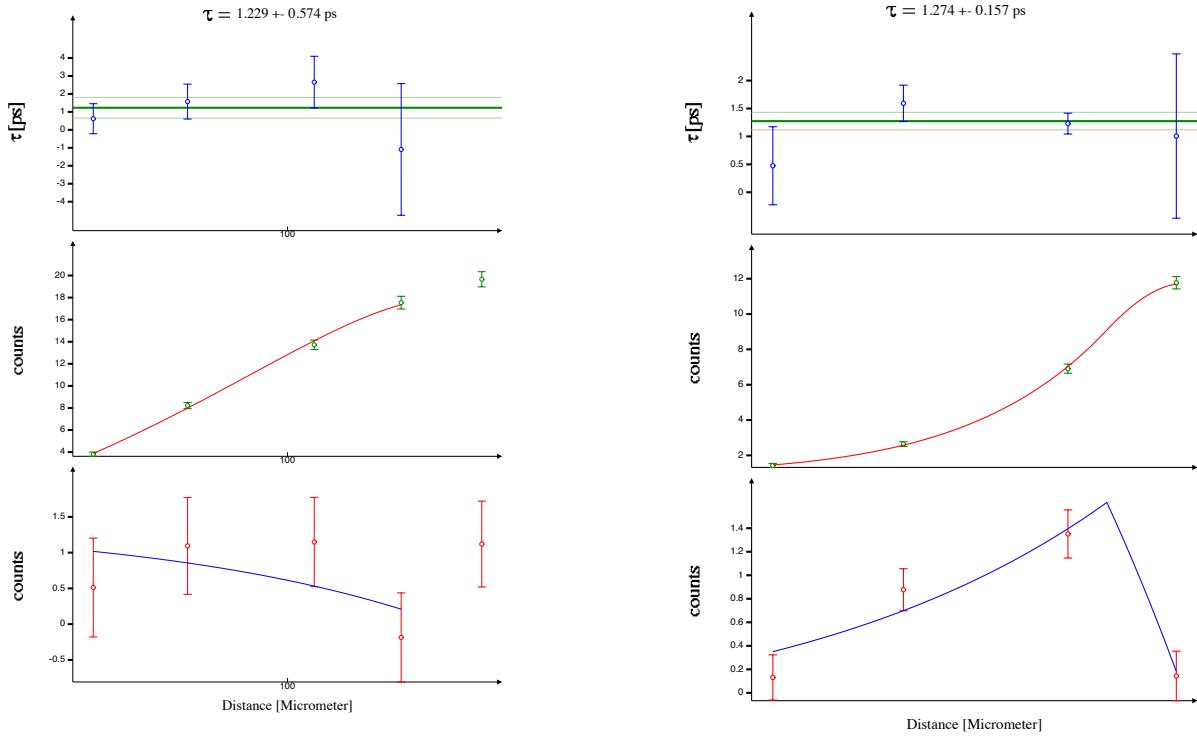


Figura 5 – exemplu de analiza ale tranzitiei de **915 keV**, cu poarta pe tranzitile de 628 keV (stanga) si 718 keV (dreapta) – tranzitile ce pot fi vazute in Fig. 2.

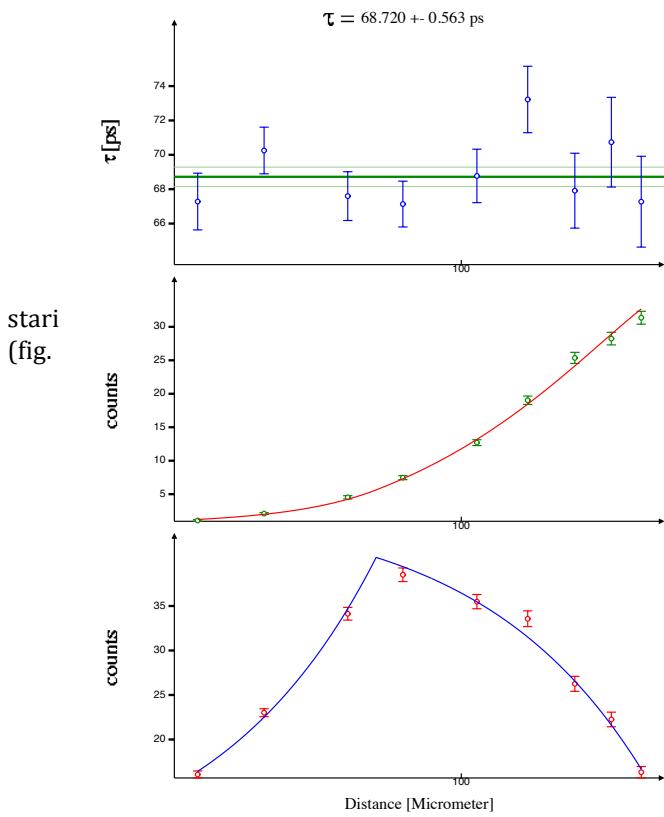


Figura 6 – Exemplu de determinare a timpului de viata al primei excitate **8^+** , din poarta pe tranzitia 234 keV imediat deasupra sa 2).

Analiza prezentata mai sus a intampinat anumite dificultati. In primul rand, nu toate matricile construite au putut fi utilizate (pentru cresterea statisticii) la fiecare determinare a timpului de viata al unui nivel, datorita suprapunerii picurilor deplasate ale unor tranzitii cu cele nedeplasate ale altor tranzitii din schema. In al doilea rand, principala dificultate a stat in alimentarea mare a tuturor nivelelor de interes de catre tranzitia "izomera" a starii 8^+ , lucru ce a impiedicat masuratori la distante mici, unde ar fi trebuit sa avem o sensibilitate crescuta pentru timpii de viata scurti. Sensibilitatea mai redusa pentru timpi de viata de ordinul catorva picosecunde (figurile 3, 4, 5, 6) la distantele relativ mari masurate, a determinat erori considerabile ale masuratorii. Masuratori mai precise ar implica si cateva distante mici (in domeniul 5 – 20 microni), dar aceasta implica timpi de masura al fiecarei distante foarte lungi, datorita faptului ca picurile deplasate ale tranzitilor alimentatoare (pe care se pun conditiile de poarta) ar fi foarte mici.

Ca o prima concluzie, masuratorile prezente pot fi considerate ca masuratori preliminare care indica faptul ca "anomalia" semnalata pana in prezent pentru nucleul ^{86}Zr (raport B(4/2) sub 1) nu exista de fapt.

Bibliografie:

- [1] M. Avrigeanu *et al.*, J. Phys. G4(1978)261
- [2] R.A. Kaye *et al.*, Phys. Rev. C57(1998)2189
- [3] A. Dewald *et al.*, Z. Phys. A334, 163 (1989)
- [4] <http://www.nndc.bnl.gov/ensdf>
- [5] R.B. Cakirli *et al.*, Proposal of experiment at the Bucharest Tandem PAC (2012)
- [6] J.J. Ressler *et al.*, Phys. Rev. C 69, 034317 (2004).
- [7] R.B. Cakirli *et al.*, Phys. Rev. C 70, 047302 (2004).
- [8] E.K. Warburton *et al.*, Phys. Rev. C31(1985)1211
- [9] N. Marginean *et al.*, Eur. Phys. J. 46(2010)329

18. Completare a proiectului pe anul 2015

In urma studiilor privind reactiile cu transfer de doi neutroni efectuate in cadrul acestui proiect, a aparut o idee interesanta care a fost abordata in cursul anului 2015 si va fi continuata si in 2016:

Studiul Rezonantei Gigantice de Vibratie a Imperecherii (GPV – Giant Pairing Vibration).

Motivatia acestui studiu este faptul ca acest tip de rezonanta a fost prezis de mult timp, dar a ramas inca neobservat experimental. S-a pus deci problema investigarii efectelor care ar putea conduce la dificultatea observarii sale.

GPV este un tip de excitatie cu caracter $L=0$, care ar conduce la o anumita structura observabila in nuclei la excitatii inalte de 10-15 MeV, ale spectrului transferului de perechi de nucleoni. Acest efect este intelese din punct de vedere microscopic ca o suprapunere coerenta de stari de 2 particule (modul de adaugare) sau 2 gauri (modul de indepartare) in urmatoarea patura majora de deasupra suprafetei Fermi, si este analog bine-cunoscutului mod vibrational al imperecherii care implica excitatii de perechi de nucleoni cuplate la spin zero peste o singura patura majora.

In colaborare cu un grup condus de catre Prof. R.F. Casten de la Univ. Yale s-a decis investigarea rolului posibil al mixingului de stari legate si nelegate in a face dificil de observat rezonanta GPV. In acest sens, a fost schitata un program de calcul realist al tariei si formei asteptate pentru aceasta rezonanta. In cadrul acestui program, am abordat la Bucuresti calcule realiste ale reactiei de transfer de 2 neutroni (t,p) pe nucleele cu paturi inchise ^{132}Sn si ^{208}Pb . Aceste calcule au fost efectuate cu metoda DWBA, furnizand ingrediente importante pentru modelul abordat de echipa de cercetare (sectiuni de transfer pentru diferite configuratii de model in paturi ale perechii de neutroni).

Perioada decembrie 2015 – septembrie 2016

Faza unica:

19. Nou studiu/experiment

Au fost propuse si incheiate urmatoarele doua studii:

19.1. Popularea rezonantei gigantice a vibratiei de imperechere.

19.2. O abordare algebraica a structurii starilor de excitatie joasa in izotopii de Ruteniu cu $A \approx 100$.

Obiectivele atinse in urma acestor studii sunt descrise mai jos.

19.1. Popularea rezonantei gigantice a vibratiei de imperechere.

Rezonanta gigantica a vibratiei de imperechere (GPV) este un mod de excitare de doi nucleoni in cea de a doua patura de deasupra suprafetei Fermi. Acest mod a fost prezis de mult timp, fiind asteptat ca el sa fie puternic populat in reactiile cu transfer de doi nucleoni, similar vibratiei de imperechere normale. Experimente recente au pus in evidenta popularea sa in nucleele $^{14,15}\text{C}$ dar, in ciuda unor studii de mare sensibilitate, nu a fost identificat cu certitudine nici in nucleele de Sn si nici in cele de Pb, unde corelatiile de imperechere sunt recunoscute a juca un rol crucial.

Scopul prezentului studiu a fost de a testa daca acele caracteristici inerente amestecului dintre nivele legate si cele nelegate ar putea explica acest fapt, si de a studia efectul intr-o maniera clara si intuitiva. S-a studiat deci amestecul de nivele nelegate cu doua modele simple dar care contin esentialul fizic GPV, extinzand apoi la calcule mai realiste ce includ amplitudini de transfer in aproximatia Born cu unde distorsionate.

Sectiunile de reactie relative calculate pentru popularea unei stari GPV simulate sunt in mod efectiv joase comparativ cu cazul nivelor legate, fara largime.

In concluzie, amestecul apare ca o contributie minora la popularea slaba. Principalul motiv al popularii slab este, mai degrabă, ‘topirea’ peak-ului GPV datorita largimii pe care o capata de la starile uni-particula de moment cinetic unghiular mic, si care joaca un rol dominant in amplitudinile de transfer de doi nucleoni. Acest efect, adaugat unei severe nepotriviri de valoare Q, poate explica natura evaziva a acestui mod de excitare in reactiile (t,p) si (p,t).

19.2. O abordare algebraica a structurii starilor de excitatie joasa in izotopii de Ruteniu cu $A \approx 100$.

S-a studiat structura starilor de energie de excitatie joasa in izotopii Ruteniului atat par-pari cat si impar cu numerele de masa ≈ 100 , in cadrul a doua modele algebrice. Mai intai, nucleele de Ru cu numar de masa par au fost descrise cu modelul bosonilor in interactie – 1 (IBM-1). Rezultatele acestor calcule au fost folosite apoi pentru a calcula izotopii cu masa impara cu ajutorul modelului bosonilor si fermionilor in interactie – 1 (IBFM-1). Indexul “1” denota ca in aceste modele nu se face distinctie intre gradele de libertate protonice si cele neutronice. In cadrul modelului IBFM-1, se considera cuplajul neutronului impar la nucleul-miez vecin par-par. Nivelurile de energie si probabilitatile de tranzitie electromagnetice calculate au fost comparate cu cele experimentale. In acelasi mod, au fost calculati si comparati si factorii spectroscopici pentru transfer de un

nucleon.

Prin intermediul acestor calcule s-a evidențiat și studiat caracterul tranzitional al izotopilor studiați (cu masa între 99 și 105). Cele mai multe din starile joase de paritate pozitiva în nucleele impare de Ru (cu energie de excitare sub 2 MeV) sunt interpretate pe baza configurațiilor datorate cuplajului la miez al neutronului impar de pe orbitalii $\nu d_{5/2}$ și $\nu g_{7/2}$. Rolul orbitalului $\nu s_{1/2}$ în structura starilor cu energie de excitare joasă este de asemenea studiat. Starile de paritate negativă sunt interpretate ca excitări ale orbitalului $\nu h_{11/2}$ cuplat la miez. Este discutată evoluția parametrilor utilizati pentru modelele IBM-1 și IBFM-1, notabil fiind faptul că pentru parametrii interacției particula-miez au fost folosite aceleasi valori ale parametrilor pentru toți izotopii studiați.

Lista de publicatii atasata contine articolele si comunicarile la conferinte internationale pana la 1 Sept. 2016.
In total, de la inceputul proiectului si pana la sfarsitul anului 2016, au fost publicate 11 articole in revista de mare circulatie Physical Review C (SUA), si 4 comunicari in „proceedings” recunoscute ISI ale unor conferinte internationale.

Lista de publicatii realizate in cadrul proiectului IDEI 127/05.10.2011 (anii 2011 - 2016)

I. Articole

- 1) D. Bucurescu, E. Dragulescu, S. Pascu, H-F.Wirth, D. Fililpescu, G. Căta-Danil, I. Căta-Danil, D. Deleanu, K. Eppinger, T. Faestermann, D.G. Ghita, T. Glodariu, R. Hertenberger, M. Ivașcu, R. Krücke, N. Mărginean, R. Mărginean, C.Mihai, A. Negret, T. Sava, L. Stroe, K. Wimmer, N.V. Zamfir,
“Excited states of the ^{150}Pm odd-odd nucleus”, **Physical Review C85(2012)017304**
- 2) R. Mărginean, C. Rusu, N. Mărginean, D. Bucurescu, C. A. Ur, G. de Angelis, M. Axiotis, D. Bazzacco, E. Farnea, A. Gadea, M. Ionescu-Bujor, A. Iordăchescu, W. Krolas, Th. Kröll, S. M. Lenzi, S. Lunardi, D. R. Napoli, C. Rossi Alvarez, J. Wrzesinski,
“High-spin structure of ^{95}Pd ”, **Physical Review C86(2012)034339**
- 3) D. Bucurescu, N.V. Zamfir, “Fine structure in alpha decay of even-even trans-lead nuclei: An insufficiently exploited spectroscopic tool”, **Physical Review C86(2012)067306**
- 4) C.Bernards, R.F.Casten, V.Werner, P. von Brentano, D.Bucurescu, G.Graw, S.Heinze, R.Hertenberger, J.Jolie, S.Lalkovski, D.A.Meyer, D.Mucher, P.Pejovic, C.Scholl, H.-F.Wirth,
“Investigation of 0^+ states in ^{198}Hg after two-neutron pickup”, **Physical Review C87(2013)024318**
- 5) C.Bernards, R.F.Casten, V.Werner, P. von Brentano, D.Bucurescu, G.Graw, S.Heinze, R.Hertenberger, J.Jolie, S.Lalkovski, D.A.Meyer, D.Mucher, P.Pejovic, C.Scholl, H.-F.Wirth,
“High resolution study of excited 0^+ states in ^{200}Hg and ^{202}Hg ”, **Physical Review C87(2013)064321**
- 6) D.Bucurescu, N.V.Zamfir, “New nuclear structure features in transactinide nuclei”, **Physical Review C87(2013)054324**
- 7) M.Spieker, D.Bucurescu, J.Endres, T.Faestermann, R.Hertenberger, S.PAscu, S.Skalacki, S.Weber, H.-F.Wirth, N.-V.Zamfir, A.Zilges, “Possible experimental signature of octupole correlations in the 0_2^+ states of the

actinides”, *Physical Review C*88(2013)041303(R)

- 8) A.Negret, C.Borcea, D.Bucurescu, D.Deleanu, Ph.Desagne, D.Filipescu, D.Ghita, T.Glodariu, M.Kerveno, N.Mărginean, R.Mărginean, C.Mihai, S.Pascu, A.J.M.Plompen, T.Sava, L.Stroe, “Cross sections for inelastic scattering of neutrons on ^{28}Si and comparison with the $^{25}\text{Mg}(\alpha,\text{n})^{28}\text{Si}$ reaction”, *Physical Review C*88(2013)034604
- 9) M.Ionescu-Bujor, A.Iordăchescu, N.Mărginean, R.Lica, D.Bucurescu, F.Brandolini, D.Deleanu, D.Filipescu, I.Gheorghe, D. Ghiță, T.Glodariu, R.Mărginean, N.H.Medina, C.Mihai, A.Negret, L.Stroe, C.A.Ur, “Low and medium spin structure of ^{130}La ”, *Physical Review C*90(2014)014323
- 10) M.Laskin, R.F.Casten, A.O.Macchiavelli, R.M.Clark, D.Bucurescu, “On the population od the Giant Pairing Vibration”, *Physical Review C*93(2016)034321
- 11) S.Kisyov, D.Bucurescu, J.Jolie, S.Lalkovski, “Algebraic approach to the structure of the low-lying states in A≈100 Ru isotopes, *Physical Review C*93(2016)044308

II. Proceedings Conferinte Internationale:

- 1) T. von Egidy, D. Bucurescu, “Statistical nuclear properties (level densities, spin distributions)”, International Conference “Advanced many-body and statistical methods in mesoscopic systems”, Constanta 2011, **J. Phys. Conference Series** 338(2012)012028
- 2) D.Bucurescu, N.V.Zamfir, “Fine structure of alpha decay of even-even trans-lead nuclei – an intriguing nuclear structure paradigm”, Int. Summer School for Advanced Studies 'Dynamics of open nuclear systems' (Predeal12), **Journal of Physics: Conference Series** 413(2013)012010
- 3) T. von Egidy, D. Bucurescu, “Predictions of nuclear level densities”, comunicare la cea de a 15-a Conferinta Internationala CGS15 (Dresda, August 2014), **EPJ Web of Conferences** 93(2015)06003 (DOI: 10.1051/epjconf/20159306003).
- 4) M.Spieker, S.Pascu, D.Bucurescu, T.Faestermann, R.Hertenberger, H.-F.Wirth, N.-V.Zamfir, A.Zilges, “Octupole correlations in positive-parity states of rare-earth and actinide nuclei”, comunicare la cea de a 15-a Conferinta Internationala CGS15 (Dresda, August 2014), **EPJ Web of Conferences** 93(2015)01009 (DOI: 10.1051/epjconf/20159301009)

Abstract of the scientific report

for the period december 2015 – september 2016

Contract No. 127/05.10.2011

Project code: PN-II-ID-PCE-2011-3-0140

The following two studies were proposed and finished during 2016.

19.1. Population of the Giant Pairing Vibration

The giant pairing vibration (GPV), a correlated two-nucleon mode in the second shell above the Fermi surface, has long been predicted and expected to be strongly populated in two-nucleon transfer cross sections similar to those of the normal pairing vibration. Recent experiments have provided evidence for this mode in $^{14,15}\text{C}$ but, despite sensitive studies, it has not been definitively identified in either Sn or Pb nuclei where pairing correlations are known to play a crucial role.

Our aim is to test whether features inherent to the mixing of bound and unbound levels might account for this and to study the effect in a simple and intuitively clear approach. We study the mixing of unbound levels in a set of toy models that capture the essential physics of the GPV, along with a more realistic calculation including distorted-wave Born approximation transfer amplitudes.

The calculated (relative) cross section to populate a simulated GPV state is effectively low, compared to the case of bound levels with no widths

The mixing turns out to be only a minor contributor to the weak population. Rather, the main reason is the melting of the GPV peak due to the width it acquires from the low orbital angular momentum single-particle states playing a dominant role in two-nucleon transfer amplitudes. This effect, in addition to a severe Q-value mismatch, may account for the elusive nature of this mode in (t,p) and (p,t) reactions.

19.2. Algebraic approach to the structure of the low-lying states in $A \approx 100$ Ru isotopes.

The structure of the low-lying states in the odd- and even-mass $A \approx 100$ Ru isotopes is studied in the framework of two algebraic models. The even-mass Ru nuclei are first described within the interacting boson model 1 (IBM-1). The output of these calculations was then used to calculate the odd- A isotopes within the interacting boson-fermion model 1 (IBFM-1), where a coupling of the odd neutron to the even-even core is considered. The level energies and transition probabilities calculated in the present work are tested against the experimental data. One-nucleon transfer spectroscopic factors as well as electromagnetic moments were also calculated for the odd- A Ru and compared to the experimental values.

The transitional character of the isotopes is studied. Most of the low-lying positive-parity states in the odd- A Ru nuclei below 2 MeV are interpreted on the basis of $\nu d_{5/2}$ and $\nu g_{7/2}$ configurations. The role of the $\nu s_{1/2}$ orbital in the nuclear structure of the odd-mass Ru nuclei at low energies is also studied. The negative-parity states are interpreted as $\nu h_{11/2}$ excitations coupled to the core. The evolution of the IBM-1 and IBFM-1 parameters is discussed.

List of publications accomplished within the IDEI 127/05.10.2011 project (2011-2016)

I. Articles

- 1) D. Bucurescu, E. Dragulescu, S. Pascu, H-F.Wirth, D. Filipescu, G. Căta-Danil, I. Căta-Danil, D. Deleanu, K. Eppinger, T. Faestermann, D.G. Ghita, T. Glodariu, R. Hertenberger, M. Ivașcu, R. Krücken, N. Mărginean, R. Mărginean, C.Mihai, A. Negret, T. Sava, L. Stroe, K. Wimmer, N.V. Zamfir,
“Excited states of the ^{150}Pm odd-odd nucleus”, *Physical Review C*85(2012)017304
- 2) R. Mărginean, C. Rusu, N. Mărginean, D. Bucurescu, C. A. Ur, G. de Angelis, M. Axiotis, D. Bazzacco, E. Farnea, A. Gadea, M. Ionescu-Bujor, A. Iordăchescu, W. Krolas, Th. Kröll, S. M. Lenzi, S. Lunardi, D. R. Napoli, C. Rossi Alvarez, J. Wrzesinski,
“High-spin structure of ^{95}Pd ”, *Physical Review C*86(2012)034339
- 3) D. Bucurescu, N.V. Zamfir, “Fine structure in alpha decay of even-even trans-lead nuclei: An insufficiently exploited spectroscopic tool”, *Physical Review C*86(2012)067306
- 4) C.Bernards, R.F.Casten, V.Werner, P. von Brentano, D.Bucurescu, G.Graw, S.Heinze, R.Hertenberger, J.Jolie, S.Lalkovski, D.A.Meyer, D.Mucher, P.Pejovic, C.Scholl, H.-F.Wirth,
“Investigation of 0^+ states in ^{198}Hg after two-neutron pickup”, *Physical Review C*87(2013)024318
- 5) C.Bernards, R.F.Casten, V.Werner, P. von Brentano, D.Bucurescu, G.Graw, S.Heinze, R.Hertenberger, J.Jolie, S.Lalkovski, D.A.Meyer, D.Mucher, P.Pejovic, C.Scholl, H.-F.Wirth,
“High resolution study of excited 0^+ states in ^{200}Hg and ^{202}Hg ”, *Physical Review C*87(2013)064321
- 6) D.Bucurescu, N.V.Zamfir, “New nuclear structure features in transactinide nuclei”, *Physical Review C*87(2013)054324
- 7) M.Spieker, D.Bucurescu, J.Endres, T.Faestermann, R.Hertenberger, S.Pascu, S.Skalacki, S.Weber, H.-F.Wirth, N.-V.Zamfir, A.Zilges, “Possible experimental signature of octupole correlations in the 0_2^+ states of the actinides”, *Physical Review C*88(2013)041303(R)
- 8) A.Negret, C.Borcea, D.Bucurescu, D.Deleanu, Ph.Desagne, D.Filipescu, D.Ghita, T.Glodariu, M.Kerveno, N.Mărginean, R.Mărginean, C.Mihai, S.Pascu, A.J.M.Plompen, T.Sava, L.Stroe,
“Cross sections for inelastic scattering of neutrons on ^{28}Si and comparison with the $^{25}\text{Mg}(\alpha,\text{n})^{28}\text{Si}$ reaction”,
*Physical Review C*88(2013)034604
- 9) M.Ionescu-Bujor, A.Iordăchescu, N.Mărginean, R.Lica, D.Bucurescu, F.Brandolini, D.Deleanu, D.Filipescu, I.Gheorghe, D. Ghiță, T.Glodariu, R.Mărginean, N.H.Medina, C.Mihai, A.Negret, L.Stroe, C.A.Ur, “Low and medium spin structure of ^{130}La ”, *Physical Review C*90(2014)014323
- 10) M.Laskin, R.F.Casten, A.O.Macchiavelli, R.M.Clark, D.Bucurescu, “On the population od the Giant Pairing Vibration”, *Physical Review C*93(2016)034321
- 11) S.Kisyov, D.Bucurescu, J.Jolie, S.Lalkovski, “Algebraic approach to the structure of the low-lying states in

II. Proceedings of International Conferences:

- 1) T. von Egidy, D. Bucurescu, "Statistical nuclear properties (level densities, spin distributions)", International Conference "Advanced many-body and statistical methods in mesoscopic systems", Constanta 2011, **J. Phys. Conference Series** 338(2012)012028
- 2) D.Bucurescu, N.V.Zamfir, "Fine structure of alpha decay of even-even trans-lead nuclei – an intriguing nuclear structure paradigm", Int. Summer School for Advanced Studies 'Dynamics of open nuclear systems' (Predeal12), **Journal of Physics: Conference Series** 413(2013)012010
- 3) T. von Egidy, D. Bucurescu, "Predictions of nuclear level densities", comunicare la cea de a 15-a Conferinta Internationala CGS15 (Dresda, August 2014), **EPJ Web of Conferences** 93(2015)06003 (DOI: 10.1051/epjconf/20159306003).
- 4) M.Spieker, S.Pascu, D.Bucurescu, T.Faestermann, R.Hertenberger, H.-F.Wirth, N.-V.Zamfir, A.Zilges, "Octupole correlations in positive-parity states of rare-earth and actinide nuclei", comunicare la cea de a 15-a Conferinta Internationala CGS15 (Dresda, August 2014), **EPJ Web of Conferences** 93(2015)01009 (DOI: 10.1051/epjconf/20159301009)