

Acest document conține raportul științific pentru 2011-2014 în limba română, urmat de un rezumat în limba engleză.

This document contains the scientific report for 2011-2014 in Romanian, followed by an abstract for 2014, in English

Raport științific

privind implementarea proiectului in perioada octombrie 2011 – decembrie 2014

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 nucleee stabile 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 neutrinii 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 nucleu-vibrator si nucleu-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 observe in reactia (d,α) . Mai mult, cateva din starile observe prin intermediul celor doua reactii au fost gasite in buna concordanta cu stari observe 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 evideniat, 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 $(\alpha,n\gamma)$, 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 intelegera 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 intelegera 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 evideniat un mare numar de stari 2^+ (circa 40), a caror analiza se continua inca.

Pentru intelegera 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 observe au o componenta principală 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. Sistematizarea 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 (D. Bucurescu *et al.*, **Physical Review 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 evideniate, 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 nivelelor evideniate, *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, lucrându-se cu curenti pe tinta de cca 1 microamper. 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 picoseconde) 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 acestor nuclee 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 nuclee 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 impulsionata 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 intretinere a excitatiilor monopolare in nucleul ^{240}Pu , prin reactia cu transfer de doi neutroni (p,t), evidențiindu-se importanța corelațiilor octupolare la energii de excitatie joase. Rezultatele au fost publicate intr-un articol științific (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 nuclee de masa medie si mare, acoperind un domeniu larg de caracteristici, de la zona tranzisionala din jurul Gd, peste zona bine deformata de pamanturi rare din jurul Yb, la regiunea moale in parametrul deformarii triaxiale γ – si incheind cu nuclee 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 nuclee de la U ($Z=92$) la Cf ($Z=98$), despre care nu se stia nimic pana in prezent, in afara de posibila precizare 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 experimentală a fost comparata cu calcule de Model in Paturi efectuate intr-o baza extinsa, intelegandu-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 evidenția 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 adecvate, modul in care apar aceste excitatii nucleare (gradele de libertate nucleare importante).

Se cauta intelegerarea 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 intelegerere 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 octupolare.

Intelegerea 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 contin 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. Studiul 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 atribuiri, 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 nucleu (pamturi 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 nucleu din aceasta zona de masa (pamturi 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 nucleu sunt discutate in legatura cu precizia extrapolarilor bazate pe modelele noastre si pe diversele modele de masa, extrapolarile 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”, Dresda, August 2014 si vor aparea publicate in proceeding-urile acestei conferinte.

Lista de publicatii atasata contine articolele si comunicarile la conferinte internationale pana la 1 Dec. 2014.
In total, de la inceputul proiectului si pana la sfarsitul anului 2014, au fost publicate 9 articole in revista de mare circulatie Physical Review C (SUA), si 3 comunicari in „proceedings” recunoscute ISI ale unor conferinte internationale.

Lista de publicatii realizate in cadrul proiectului IDEI 127/05.10.2011 (anii 2011 - 2014)

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. 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 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 C88(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 C88(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 C90(2014)014323**

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), va apare in **J. Phys. G Conf. Series**
- 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), va apare in **J. Phys. G Conf. Series**

Abstract of the scientific report

for the period december 2013 – december 2014

Contract No. 127/05.10.2011

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

12. Study of the high spin structure of ^{92}Ru

This study was performed with the reaction $^{58}\text{Ni} + ^{40}\text{Ca}$ at an energy of 135 MeV, using the gamma detector array GASP (LN Legnaro). The coincidence measurements allowed an extension of the level scheme to spins $23 \hbar$, both for positive and negative parity. Many rotation band have been extended and new bands observed. The experimental level scheme was understood by shell model calculations performed in an extended basis. The results will be sent soon for publication.

13. Study of the deformed nucleus ^{166}Er by the direct two-neutron transfer reaction (p,t).

This nucleus was studied through the (p,t) reaction with unprecedented energy resolution, as reported earlier in this project. A large number of excited states (cca. 150) were observed up to 4.0 MeV excitation. A complex analysis of the angular distributions was finalized, with DWBA and CC (coupled channels) calculations, thus assigning 20 excited 0^+ states, 40 excited 2^+ states, and other 40 excited states assigned as 1^- , 3^- , 4^+ , 5^- and 6^+ . Thus, a very rich structure is available for a detailed assessment of nuclear models.

As reported earlier, a certain understanding of the distribution of the 0^+ states has been achieved on the basis of the spdf-IBA model. However, a surprising finding is that this nucleus differs from its neighbor ^{168}Er , also a deformed nucleus studied in detail with the same (p,t) reaction. This makes difficult an understanding of *both* these nuclei with the same model, using quasi-identical parameters. Qualitatively, the observed differences may be assigned to a deformed shell closure at N-98, but the lack of advanced microscopic calculations that contain this effect does not allow a detailed understanding.

The results obtained so far are contained in a draft of article that should be finalized next year.

14. Study of the odd-odd nucleus ^{150}Pm .

Our first original results concerning the structure of this nucleus were already reported in this project and an article was published with these first results. In 2012 we reported a new experiment in which angular distributions were measured for excited states of this nucleus in the (d,α) reaction. As a result, angular distributions have been observed for 35 excited states up to an excitation energy of 970 keV. We have tried to extract information about the spin and parity of these states by applying a DWBA analysis, calculated both with a cluster and a semi-microscopic transfer form-factor. For the moment, there are several difficulties with this analysis:

(a) the calculated angular distributions are relatively structureless, and this does not allow unambiguous assignments for the transferred angular momentum (note that for one state more than one such angular momentum must be considered).

(b) in the rare-earth region of nuclei, and incident energies of about 30 MeV, the data on optical model parameters for alpha particles (necessary in the output channel of the DWBA analysis) are practically absent in the literature. This fact strongly limits the degree of precision of the calculations.

To conclude this analysis, there are two options;

- to apply for beam time for a new experiment, using polarized deuterons, because measuring also the asymmetries in the angular distribution allows a better determination of the spin. However, in this case the experiment will be considerably longer and is probably difficult to get such a long time (about 1 week).

- to apply (also in Munich) for beam time for an experiment to measure the elastic and inelastic scattering of alpha particles of nuclei in this mass region, and incident energy of about 35 MeV, and thus determine the necessary optical model parameters in the final channel. Such a proposal will be submitted to the experimental committee of the Munich laboratory in the beginning of 2015.

15. Related also to the study of odd-odd nuclei in the vicinity of ^{150}Pm , additional experiments were performed and an article was published on the structure of the nucleus ^{130}La (see the list of publications).

16. Older activities in the field of the statistical nuclear properties (level densities – also reported during this project) were extended. Level densities parameters were predicted, on the basis of our formulas, to all nuclei (i) having measured masses (mass tables published in 2012), and (ii) with masses predicted by different models. These predictions, covering several thousands of nuclei, are discussed in connection with the precision of the extrapolations used, based on our models, the extrapolations being useful for different applications, such as reaction rate calculations and nucleosynthesis calculations. The results were presented at the 15th International Conference “Capture gamma-ray spectroscopy and related topics”, Dresden, August 2014 and will be published in the proceedings of this conference.