

**Raport stiintific pentru 2013 la proiectul IDEI-0153: 'STUDII AVANSATE
ASUPRA STRUCTURII SI DINAMICII NUCLEELOR EXOTICE'**

I. STUDIUL STRUCTURII SI DEZINTEGRARII β LA NUCLEE CU $A \sim 100$ BOGATE IN NEUTRONI

Structura nucleelor bogate in neutroni din zona $A \sim 100$ relevanta si pentru procesul astrofizic de captura rapida de neutroni manifesta schimbari drastice in anumite lanturi izotopice si adesea variatii bruste ale unor proprietati nucleare particulare au fost identificate experimental. Lantul izotopic al nucleelor de Sr si Zr bogate in neutroni ofera un exemplu de tranzitie rapida de la sferic la deformat cu o posibila identificare a instalarii bruste a deformatiei cuadrupolare intre numarul de neutroni $N=58$ si 60 . Pentru o descriere realista a fenomenelor determinate de coexistenta de forma la nuclee cu $A \sim 100$ bogate in neutroni este necesar un model mergand dincolo de aproximatia de camp mediu si un spatiu de model extins incluzand toti partenerii spin-izospin in $0\hbar\omega$.

Studii intense bazate pe modelul *complex* Monster (Vampir) au fost dedicate rafinarii interactiei efective nucleon-nucleon adecvata pentru un spatiu larg de model incluzand orbitalii de oscilator $1p_{1/2}$, $1p_{3/2}$, $0f_{5/2}$, $0f_{7/2}$, $2s_{1/2}$, $1d_{3/2}$, $1d_{5/2}$, $0g_{7/2}$, $0g_{9/2}$ si $0h_{11/2}$ atat pentru protonii cat si pentru neutronii din spatiul de valenta (miez ^{40}Ca). Interactia efectiva de doua corpuri a fost construita dintr-o matrice G pentru materia nucleara bazata pe Bonn One-Boson-Exchange Potential (Bonn A). Aceasta matrice G a fost renormata introducand Gauss-iene de distanta scurta in canalele $T=1$ si $T=0$ pentru a intari corelatiile de imperechere. Contributii monopolare s-au introdus pentru toate elementele de matrice cu $T=0$ de forma: $\langle 0g_{9/2}0f; IT = 0 | \hat{G} | 0g_{9/2}0f; IT = 0 \rangle$ incluzand protonii si neutronii ce ocupa orbitalii $0f_{5/2}$ si $0f_{7/2}$ pentru a influenta aparitia deformatiei. S-a introdus interactia Coulombiana pentru protonii de valenta [1].

Dezintegrarea β Gamow-Teller a nucleelor bogate in neutroni din zona de masa $A \sim 100$ este relevanta pentru astrofizica nucleara avand, de asemenea, aplicatii directe in tehnologia nucleara. Tariile β Gamow-Teller pentru anumiti izotopi (cum sunt ^{102}Tc si ^{104}Tc) sunt esentiale pentru evaluarea caldurii de dezintegrare intr-un reactor nuclear atat in timpul functionarii, cat si dupa oprire. Distributiile de tarie si tariile acumulate Gamow-Teller pentru dezintegrarea nucleului ^{102}Tc in ^{102}Ru si a izotopului ^{104}Tc in ^{104}Ru sunt self-consistent

TABLE I: Amplitudinile de amestec la stari in ^{102}Ru .

0 ⁺ -states		2 ⁺ -states	
oblate	prolate	oblate	prolate
23%	74%	33%	66%
64%	33%	69%	29%
13%	85%	36%	61%
29%	70%	72%	26%
42%	55%	56%	42%
72%	26%	20%	78%
39%	60%		
26%	73%		
39%	59%		

investigate pentru prima data in cadrul modelului *complex* Excited Vampir (EXVAM) utilizand un spatiu larg de model si o interactie efectiva realista. Pentru evaluarea tariilor Gamow-Teller au fost calculate cele mai joase stari 1⁺ in ^{102}Tc , 3⁺ in ^{104}Tc si starile de paritate pozitiva pana la spinul 4⁺ in ^{102}Ru si ^{104}Ru [1]. Datele experimentale indica aproape 3 ordine de marime diferenta in timpul de viata al celor doi izotopi de Tc. Amestecul de configuratii cu forme diferite descris self-consistent in cadrul modelului *complex* Excited Vampir, atat pentru starile din nucleele parinte impar-impare, cat si pentru starile populate in nucleele fiica par-pare ofera un scenariu in acord cu datele experimentale obtinute utilizand Total Absorption Gamma Spectrometer (TAGS) [1]. Rezultatele obtinute indica pentru functia de unda a starii celei mai joase 1⁺ in ^{102}Tc un amestec puternic de configuratii oblate (53%) si prolate (47%) de diferite deformatii in sistemul intrinsec. Functiile de unda pentru starile fiica cu tarii Gamow-Teller semnificative manifesta de asemenea puternic amestec oblate-prolate asa cum se ilustreaza in Tabelul I [2].

Starea parinte 3⁺ in ^{104}Tc este dominata (99%) de o componenta prolate, in timp ce starile fiica din nucleul ^{104}Ru manifesta amestec oblate-prolate variabil ilustrat de structura functiilor de unda (Tabelul II [2]) si de momentele quadrupolare spectroscopice ale celor mai joase stari 2⁺ si 4⁺ (Tabelul III [2]). Pentru o comparatie directa cu datele experimentale

TABLE II: Amplitudinile de amestec la stari in ^{104}Ru .

2 ⁺ -states		4 ⁺ -states	
oblate	prolate	oblate	prolate
27%	72%	67%	32%
77%	20%	38%	61%
89%	9%	89%	8%
16%	82%	3%	96%
82%	16%	45%	53%
38%	61%	63%	37%
61%	38%		
68%	30%		
79%	19%		

avand rezolutie finita rezultatele teoretice au fost foldate cu functii Gauss a caror largime a fost luata din rezolutia aranjamentului experimental TAGS. Distributia de tarie si taria acumulata Gamow-Teller pentru dezintegrarea starii parinte 1⁺ in ^{102}Tc catre starile ficia calculate 0⁺ si 2⁺ in ^{102}Ru sunt prezentate in Figura 1 impreuna cu datele experimentale obtinute cu TAGS. Tariile Gamow-Teller catre starile 1⁺ sunt neglijabile. Distributia si taria acumulata Gamow-Teller pentru dezintegrarea starii parinte 3⁺ in ^{104}Tc catre starile ficia calculate 2⁺ si 4⁺ in ^{104}Ru (starile 3⁺ nu au contributie semnificativa) sunt prezentate in Figura 2 comparat cu rezultatele TAGS. Ramurile tari ale dezintegrarii β GT indica contributie esentiala de la elementele de matrice $g_{9/2}^{\pi}g_{7/2}^{\nu}$, $d_{5/2}^{\pi}d_{3/2}^{\nu}$ si $d_{5/2}^{\pi}d_{5/2}^{\nu}$. Contributii mai mici sunt obtinute de la elementele de matrice $p_{1/2}^{\pi}p_{3/2}^{\nu}$ and $p_{3/2}^{\pi}p_{1/2}^{\nu}$. De asemenea apar cancelari intre elementele de matrice de tip $d_{5/2}^{\pi}d_{5/2}^{\nu}$, $p_{1/2}^{\pi}p_{3/2}^{\nu}$, si $p_{3/2}^{\pi}p_{1/2}^{\nu}$.

Este de mentionat ca cele mai bune rezultate teoretice existente pana la abordarea noastra sunt cu un ordin de marime in afara rezultatelor experimentale privind tariile Gamow-Teller (distributii si acumulate). Evident tratarea self-consistenta a structurii starilor parinte si ficia implicate in dezintegrarea β , ca si utilizarea unui spatiu larg de model pentru reducerea erorilor legate de problema importanta a quenching-ului devin fezabile utilizand

TABLE III: Momente quadrupolare (in efm^2) la stari in ^{102}Ru si ^{104}Ru .

^{102}Ru	^{104}Ru	
2 ⁺ -states	2 ⁺ -states	4 ⁺ -states
-19.2	-28.0	34.3
23.7	42.0	-17.0
-14.7	54.4	71.1
30.1	-44.0	-82.9
3.9	50.1	-7.6
	16.2	
	26.7	
	42.0	

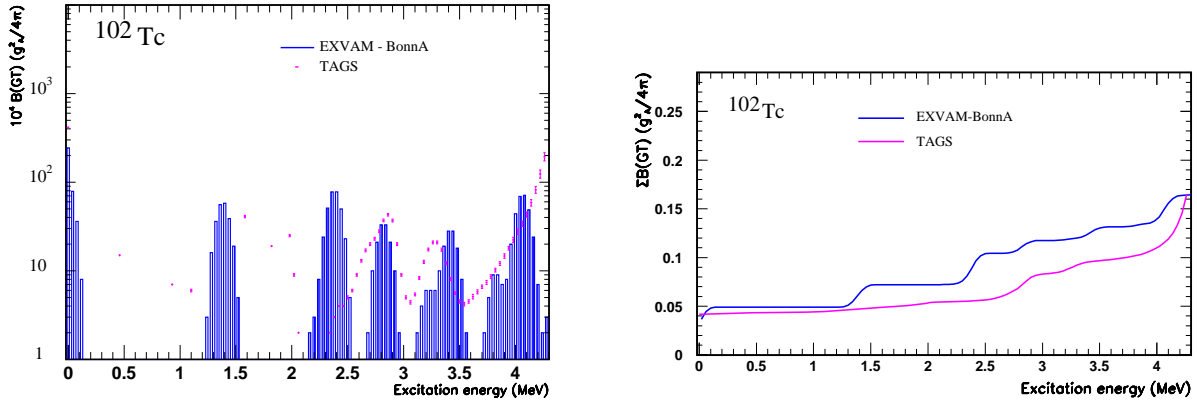


FIG. 1: Distributia de tarie si taria acumulata β Gamow-Teller pentru ^{102}Tc obtinute cu modelul *complex* Excited Vampir comparate cu datele experimentale TAGS [1, 2].

procedee variationale ce merg dincolo de aproximatia de camp mediu (*complex* Excited Vampir). Amestecul variabil de configuratii oblate si prolate in sistemul intrinsec pentru starea parinte, precum si pentru starile fiica este responsabil pentru diferenta semnificativa intre dezintegrarea β Gamow-Teller a nucleelor ^{102}Tc si ^{104}Tc . Deformatia configuratiilor principale din structura functiilor de unda este mai mica in primul caz, unde numarul de neutroni in nucleul fiica este cel critic, $N=58$, in timp ce in al doilea caz deformatia mai mare este determinata de $N=60$ al nucleului fiica ^{104}Ru . Aceste rezultate dau suport predicțiilor noastre privind rolul numarului critic de neutroni $N=58$ pentru structura si dinamica nucleelor bogate in neutroni in zona $A\sim 100$ exemplificat detaliat pentru izotopii ^{96}Sr si ^{98}Zr

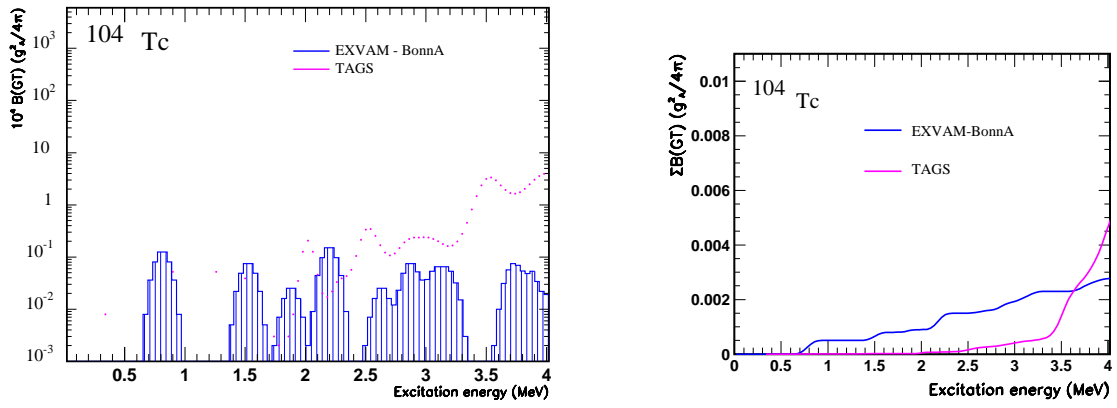


FIG. 2: Distributia de tarie si taria acumulata β Gamow-Teller pentru ^{104}Tc obtinute cu modelul *complex* Excited Vampir comparate cu datele experimentale TAGS [1, 2].

[2–5]. Rezultatele noastre se constituie in predictii relevante pentru experimentele viitoare de la marile facilitati de accelerare de la FAIR, Germania, RIKEN, Japonia si MSU, SUA.

II. CORELATII DE DOI NUCLEONI RELEVANTE PENTRU STRUCTURA SI DINAMICA NUCLEELOR DE MASA MEDIE BOGATE IN PROTONI

Proprietatile nucleelor bogate in protoni din zona $A \sim 70$ sunt relevante nu numai pentru structura nucleara, ci sunt de un interes particular constituind microlaboratoare pentru teste de inalta precizie pentru Modelul Standard. Coexistenta si amestecul de forma, amestecul de izospin, competitia dintre corelatiile de pairing neutron-proton si cele intre nucleoni de acelasi fel sunt trasaturi caracteristice ale nucleelor din apropierea liniei $N=Z$ in zona de masa $A \sim 70$. In cadrul modelului *complex* Excited Vampir, intr-un spatiu de model relativ larg, utilizand o interactie efectiva de doua corpuri realista (pornind de la matricea G pentru materia nucleara obtinuta din potentialul Bonn A) s-au studiat: efectele coexistentei de forma asupra Coulomb Energy Differences (CED) la nuclee izobar analoage cu $A=66$ [6]; corelatiile de doi nucleoni in canalele $T=0$ si $T=1$ relevante pentru competitia dintre dezintegrarea β Fermi suprapermisa si cea Gamow-Teller in tripletul izovector $A=70$ [7, 8].

Au fost investigate posibilele fenomene de coexistenta de forma la stari de paritate pozitiva pana la spinul 8^+ in nucleele ^{66}As si ^{66}Ge studiind influenta unor corelatii particulare de doi nucleoni asupra spectrelor de joasa energie [6]. Rezultatele teoretice privind anomalii partiale in evolutia cu spinul a deplasarii CED sunt in bun acord cu datele experimen-

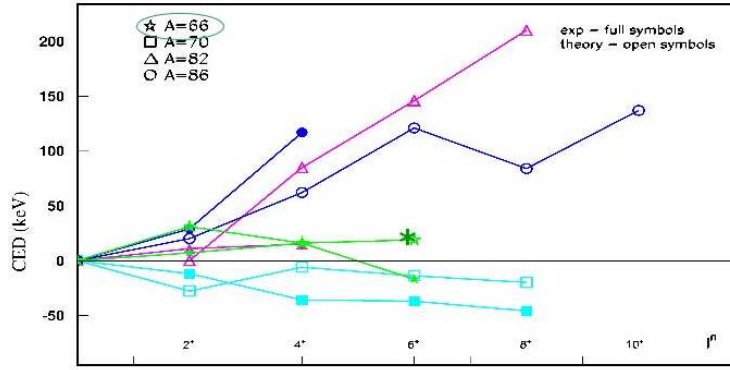


FIG. 3: CED obtinute in cadrul *complex* Excited Vampir comparat cu date experimentale [7].

tale. S-a relevat efectul esential al amestecului de configuratii de deformari diferite asupra comportarilor anormale ale deplasariilor CED in fiecare triplet isovector in regiunea de masa $A \sim 70$. Comparatia rezultatelor obtinute in cadrul modelului *complex* Excited Vampir cu rezultatele experimentale existente este prezentata in Figura 3 [7].

S-a analizat structura de perechi pentru ^{70}Kr si ^{70}Br , membri ai tripletului izovector $A=70$ ce manifesta anomalii in Coulomb Energy Differences [7]. Motivatia este legata de posibila competitie dintre dezintegrarea β Fermi suprapermisa si cea Gamow-Teller a nucleului ^{70}Kr catre nucleul ^{70}Br , ca signatura a corelatiilor de pairing neutron-proton. S-a sugerat in literatura de specialitate ca in nucleele de masa medie o crestere a tarii dezintegrarii Gamow-Teller a starii fundamentale a unui nucleu par-par cu $Z=N+2$ catre cea mai joasa stare 1^+ in nucleul fiica impar-impar cu $N=Z$ ar fi de asteptat, ca o manifestare a condensarii neutron-proton in canalul $T=0$ in sistemul impar-impar.

Hamiltonianul utilizat pentru investigarea anomaliilor in CED [6] a fost folosit pentru descrierea structurii celor mai joase maxim 14 stari 0^+ in ^{70}Kr si 0^+ si 1^+ in ^{70}Br [7]. Starile 1^+ au o structura complet diferita de cele 0^+ in termeni de amestec oblate-prolate. Rezultatele EXVAM pentru dezintegrarea β Gamow-Teller a starii fundamentale a nucleului ^{70}Kr indica o fragmentare a tarii $B(\text{GT})$ peste multe stari, taria ramurii catre prima stare 1^+ in ^{70}Br fiind foarte slaba, iar taria catre a doua si a treia stare 1^+ fiind semnificativa.

Analiza structurii de perechi pentru cele mai joase trei stari 0^+ in nucleul parinte ^{70}Kr si cel fiica ^{70}Br , implicate in dezintegrarea suprapermisa Fermi, ca si a celor mai joase trei stari 1^+ in ^{70}Br manifestand ramuri cu tarii $B(\text{GT})$ semnificativ diferite este prezentata in Figurile 4 si 5. Contrar scenariului propus, numarul maxim de perechi a fost relevat in structura

starii yrast 1^+ , stare caracterizata de tarie B(GT) negijabila. Trebuie mentionat ca dintr-un studiu experimental efectuat la GSI-Darmstadt asupra dezintegrarii β Gamow-Teller a starii fundamentale a nucleului ^{62}Ge catre starile excitate ale nucleului impar-impar $N = Z$ ^{62}Ga a rezultat absenta condensarii neutron-proton in canalul $T=0$, taria tranzitiei catre prima stare 1^+ fiind foarte slaba.

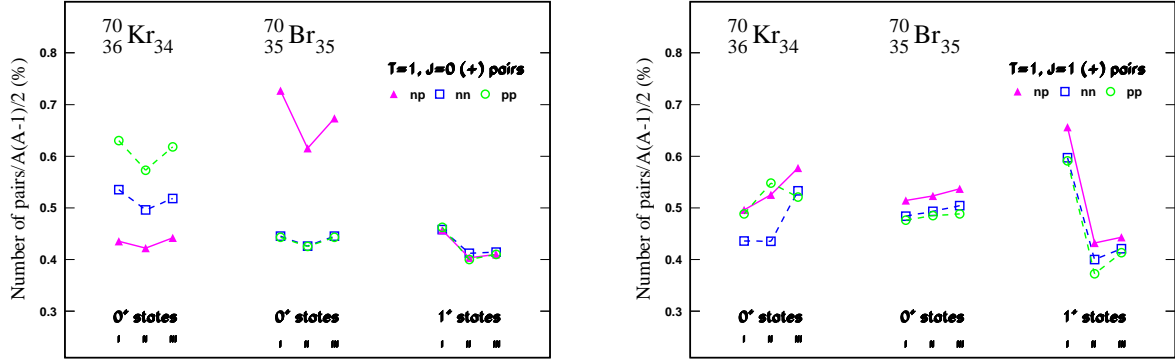


FIG. 4: Numarul de perechi nn, pp si np cu $T=1, J^\pi = 0^+$ si $J^\pi = 1^+$ pentru cele mai joase stari 0^+ in ^{70}Kr si cele mai joase stari 0^+ si 1^+ in ^{70}Br in procent din regula de suma [7].

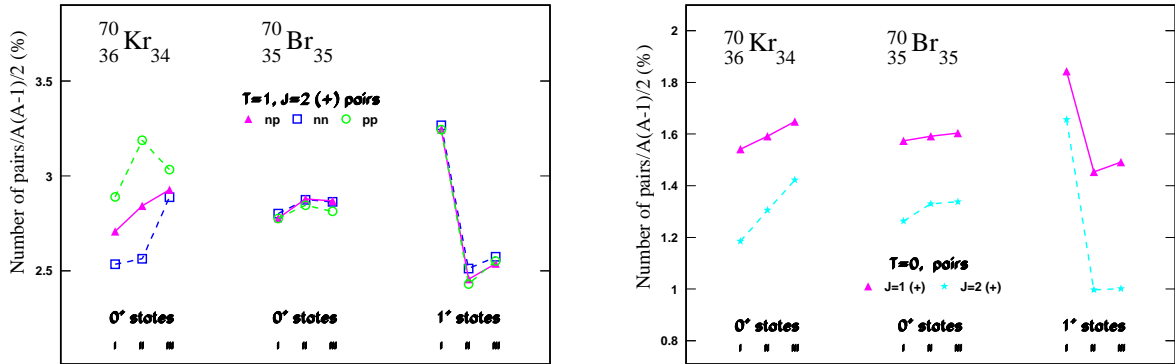


FIG. 5: Aceiasi ca in Fig. 5 dar pentru $T = 1, J^\pi = 2^+$, respectiv $T=0, J^\pi = 1^+$ si $J^\pi = 2^+$ [7].

Modelul *complex* Excited Vampir descrie self-consistent anomaliiile identificate in comportarea Coulomb Energy Differences pentru nuclee cu $A=70$ bazat pe un amestec puternic de configuratii proiectate pe simetrii de tip oblate si prolate, specific pentru fiecare nucleu, iar rezultatele preliminarii obtinute privind corelatiile de doi nucleoni relevante nu suporta scenariul sugerat in literatura cu privire la intarirea tranzitiei Gamow-Teller ca suport pentru condensarea neutron-proton in canalul $T=0$. Este de mentionat faptul ca predictiile noastre teoretice privind efectele amestecului de izospin in cei doi izotripleti prezentati in acest ra-

port stau la baza a trei experimente acceptate de PAC pentru anul 2014 la GSI-Darmstadt, Germania si RIKEN-Tokyo, Japonia [8].

- [1] D. Jordan, A. Petrovici *et al*, Phys. Rev. C 87, 044318 (2013).
- [2] A. Petrovici, EPJ Web of Conf., accepted (2013).
- [3] A. Petrovici, K.W. Schmid, A. Faessler, J. Phys.: Conf. Ser. 413, 012007 (2013).
- [4] Shape coexistence and shape evolution in neutron-rich $A\sim 100$ nuclei,
A. Petrovici (in collaboration with O. Andrei), talk at *ISOLDE Workshop and Users meeting 2012*, CERN-Geneva, Switzerland, December 17-19, 2012
- [5] Shape evolution and Gamow-Teller β -decay of neutron-rich $A\sim 100$ nuclei within beyond-mean-field approach,
A. Petrovici (in collaboration with O. Andrei), talk at *Heavy Ion Accelerator Symposium on Fundamental and Applied Science (HIAS2013)*, Canberra, Australia, April 8-12, 2013
- [6] G. de Angelis, A. Petrovici *et al*, Phys. Rev. C 85, 034320 (2012).
- [7] A. Petrovici, Rom. J. Phys. 58, 1120 (2013).
- [8] Shape-coexistence effects on the structure and dynamics of $A\sim 70$ proton-rich nuclei within beyond-mean-field approach,
A. Petrovici (in collaboration with O. Andrei, K.W. Schmid),
invited talk at *From nuclear structure to particle-transfer reactions and back*, ECT*, Trento, Italy, November 4-8, 2013

Director proiect

Alexandrina Petrovici