

Raport stiintific

privind implementarea proiectului in anul 2012

Rezumat:

Distributiile de tarie si tariile acumulate Gamow-Teller pentru dezintegrarea β a nucleului ^{102}Tc in ^{102}Ru si a izotopului ^{104}Tc in ^{104}Ru sunt self-consistent investigate pentru prima data in cadrul modelului variational *complex* Excited Vampir utilizand un spatiu larg de model si o interactie efectiva realista. Amestecul de forme este descris consistent atat pentru starile din nucleele parinte impar-impare, cat si pentru starile populate in nucleele fiica par-pare. Se prezinta influenta amestecului de forme asupra proprietatilor dezintegrarii β , precum si comparatia cu datele experimentale obtinute utilizand Total Absorption Gamma Spectrometer (TAGS).

Introducere:

Dezintegrarea β Gamow-Teller a nucleelelor bogate in neutroni din zona de masa $A \sim 100$ este relevanta nu numai pentru structura nucleara, ci si pentru astrofizica nucleara, avand implicatii directe in procesul numit *r-process*. De asemenea, cu aplicatii directe in tehnologia nucleara, tariile β Gamow-Teller sunt importante pentru evaluarea caldurii de dezintegrare (*decay heat*) intr-un reactor nuclear in timpul functionarii si esentiale pentru a evalua cea mai mare parte a energiei emise dupa *shutdown*. In studiile efectuate in cadrul proiectului s-au investigat proprietatile de dezintegrare β Gamow-Teller pentru nucleele ^{102}Tc si ^{104}Tc .

Descrierea distributiilor de tarie Gamow-Teller pentru dezintegrarea β a nucleelelor bogate in neutroni in regiunea $A \sim 100$ se confrunta cu dificultatea tratarii self-consistente a coexistentei si amestecului de forme manifestate atat in structura nucleelelor par-pare, cat si in cea a nucleelelor impar-impare, precum si cu problema dificila a unei posibile aparitii bruste a deformatiei intre numerele de neutroni $N=58$ si $N=60$. Investigatiile efectuate in cadrul modelului *complex* Excited Vampir asupra starilor de paritate pozitiva de spin jos si inalt in izotopii ^{96}Sr si ^{98}Zr manifestand tripla coexistenta de forme la spinul 0^+ si evolutie a amestecului oblate-prolate cu cresterea spinului indica acord bun cu datele experimentale existente [1]. Prezentul studiu reprezinta prima abordare complet self-consistenta a proprietatilor de dezintegrare β Gamow-Teller a nucleelelor ^{102}Tc si ^{104}Tc in cadrul modelului *complex* Excited Vampir.

Modelul teoretic:

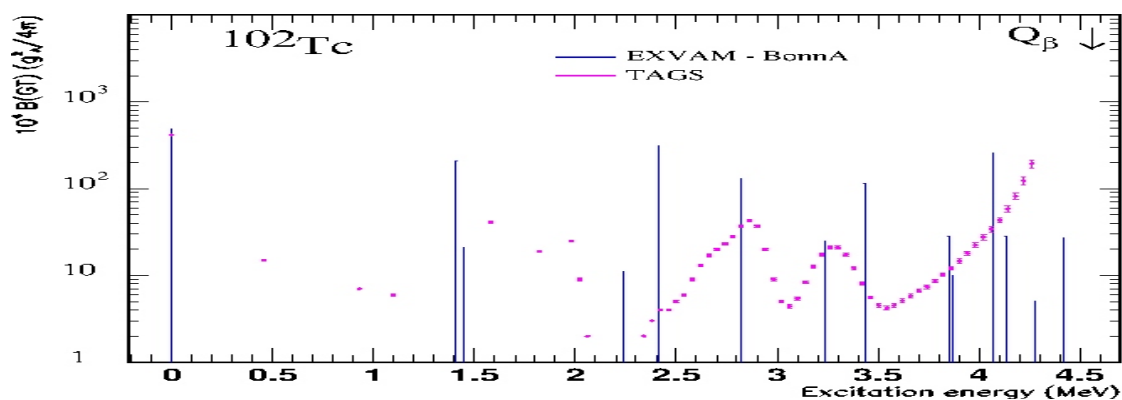
Pentru nucleele bogate in neutroni din zona de masa $A \sim 100$ s-a considerat un miez de ^{40}Ca si s-a utilizat un spatiu de model construit din orbitalii de oscilator $1p_{1/2}$, $1p_{3/2}$, $0f_{5/2}$, $0f_{7/2}$, $2s_{1/2}$, $1d_{3/2}$, $1d_{5/2}$, $0g_{7/2}$, $0g_{9/2}$ si $0h_{11/2}$ atat pentru protonii cat si pentru neutronii din spatiul de valenta. Acesta reprezinta cel mai mare spatiu de model utilizat intr-un model self-consistent mergand dincolo de aproximatia de camp mediu si nu este fezabil pentru *large scale shell model calculations* intr-un viitor prea apropiat. 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 pentru a intari corelatiile de imperechere atat pentru nucleonide acelasi fel (pp si nn) cat si pentru corelatiile de pairing neutron-proton in ambele canale,

$T=0$ si $T=1$. De asemenea interactia izoscalara a fost modificata prin contributiile monopolare la toate elementele de matrice cu $T=0$ de forma: $\langle 0g_{9/2}0f_{7/2};IT=0 | \hat{G} | 0g_{9/2}0f_{7/2};IT=0 \rangle$ incluzand neutronii si protonii ce ocupa orbitalii sferici $0f_{5/2}$ si $0f_{7/2}$, importante pentru aparitia deformatiei in regiune.

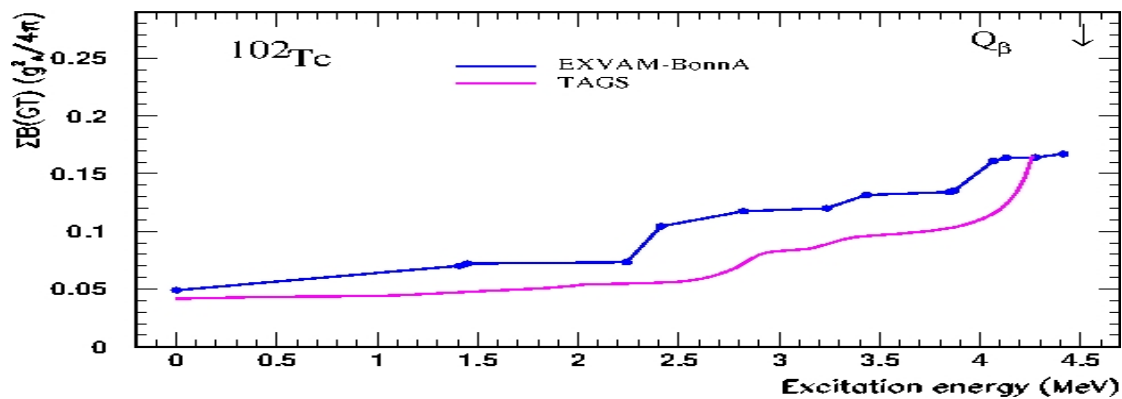
Pentru evaluarea tariilor Gamow-Teller au fost calculate cele mai joase stari 1^+ in ^{102}Tc , 3^+ in ^{104}Tc si stările de paritate pozitiva pana la spinul 4^+ in ^{102}Ru si ^{104}Ru . Pentru descrierea stărilor relevante in ^{102}Ru si ^{104}Ru au fost incluse in baza *many-nucleons* de tip Excited Vampir pana la 26 de configuratii proiectate pe simetrii, iar pentru nucleele impar-impare dimensiunea bazei a fost 7.

Rezultate si discutii:

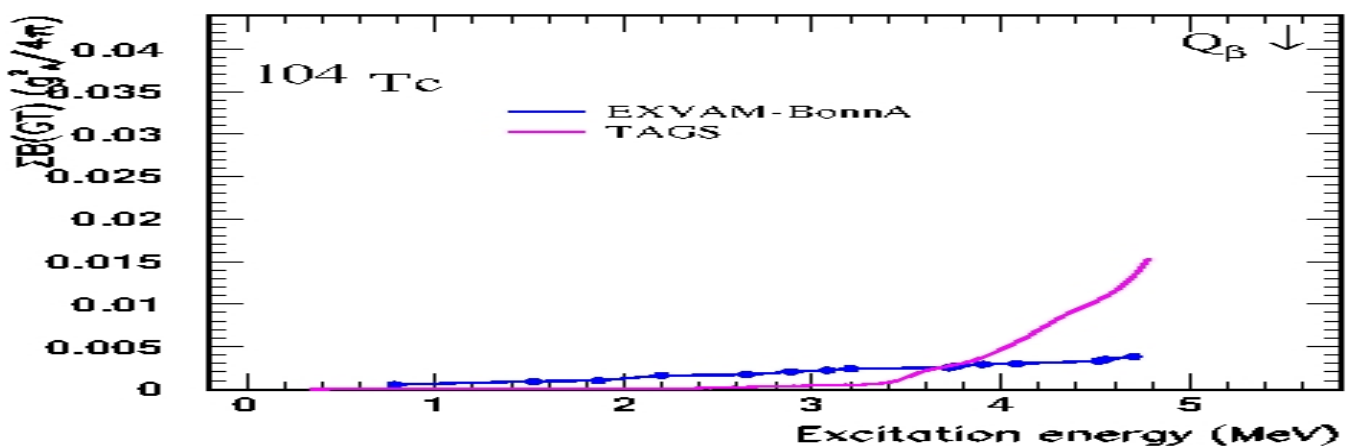
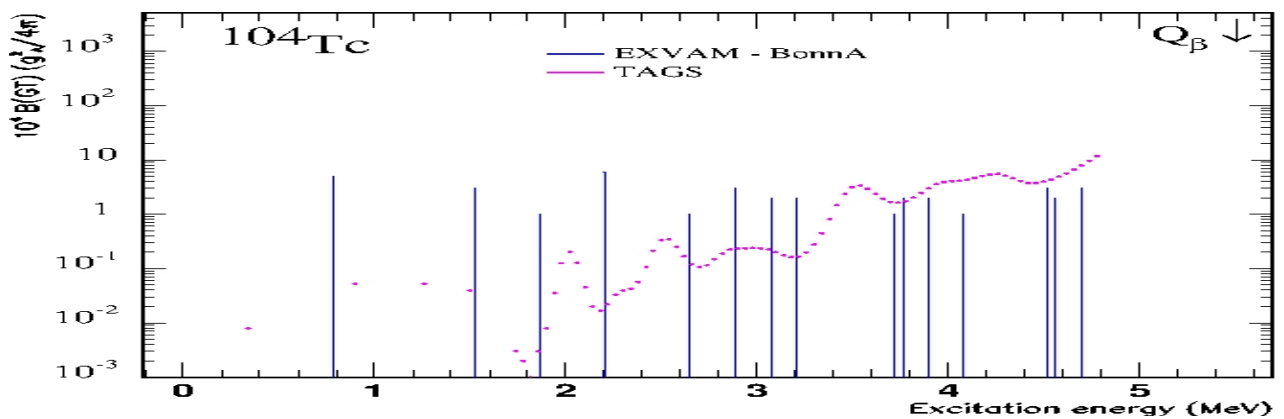
Rezultatele obtinute indica pentru functia de unda a stării celei mai joase 1^+ in ^{102}Tc un amestec puternic de configuratii oblate si prolata de diferite deformatii in sistemul intrinsec. Insumate, componentele prolata reprezinta 53% din amplitudinea totala, iar cele oblate reprezinta 47% in structura functiei de unda. Functiile de unda pentru stările fiica cu tarii Gamow-Teller semnificative manifesta de asemenea puternic amestec oblate-prolate. Componentele prolata pentru stările 0^+ in ^{102}Ru variaza intre 85% si 26%, iar pentru stările 2^+ implicate acest continut variaza intre 78% si 26% din amplitudinea totala. In ^{104}Tc rezultatele indica o structura complet diferita, asa cum ar fi de asteptat pentru a explica 3 ordine de marime diferenta in timpul de viata masurat pentru cele doua nuclee de Tc vecine. Starea parinte 3^+ in ^{104}Tc este dominata (99%) de o componenta prolata, in timp ce stările fiica din nucleul ^{104}Ru manifesta amestec oblate-prolate variabil. Pentru stările cu tarie Gamow-Teller semnificativa contributia configuratiilor prolata in structura stărilor 2^+ variaza intre 82% si 9%, in timp ce amestecul prolata pentru stările 4^+ variaza de la 96% la 8%. Defromatia stărilor este mai mare in ^{104}Ru in raport cu ^{102}Ru asa cum este reflectat de momentele quadrupolare spectroscopice. Stările 2^+ cu tarii Gamow-Teller semnificative prezinta momente quadrupolare ce variaza in ^{102}Ru de la -36.66 efm^2 la 30.07 efm^2 , in timp ce in ^{104}Ru variaza de la -43.99 efm^2 la 54.44 efm^2 .



Distributia de taria Gamow-Teller pentru dezintegrarea starii parinte 1^+ in ^{102}Tc catre starile fiica calculate 0^+ si 2^+ in ^{102}Ru este prezentata in figura de mai sus impreuna cu datele experimentale obtinute cu TAGS. Tariile Gamow-Teller catre starile 1^+ sunt neglijabile. Mai jos se prezinta comparatia intre teorie (EXVAM) si experiment (TAGS) pentru tariile acumulate Gamow-Teller.



Distributia si taria acumulata Gamow-Teller pentru dezintegrarea starii parinte 3^+ in ^{104}Tc catre starile fiica calculate 2^+ si 4^+ in ^{104}Ru (starile 3^+ nu au contributie semnificativa) sunt prezentate in figurile de mai jos comparat cu rezultatele TAGS.



Ramurile tari ale dezintegrării β Gamow-Teller indica contribuție esențială de la elementele de matrice $g_{9/2} \pi g_{7/2}^{\nu}$, $d_{5/2} \pi d_{3/2}^{\nu}$, și $d_{5/2} \pi d_{5/2}^{\nu}$. Contribuții mai mici sunt obținute de la elementele de matrice $p_{1/2} \pi p_{3/2}^{\nu}$ și $p_{3/2} \pi p_{1/2}^{\nu}$. În dezintegrarea nucleului ^{102}Tc către ^{102}Ru contribuția $g_{9/2} \pi g_{7/2}^{\nu}$ este mare și cea de tip $d_{5/2} \pi d_{3/2}^{\nu}$ este semnificativă dar mică. De la elementele de matrice $d_{5/2} \pi d_{5/2}^{\nu}$, $p_{1/2} \pi p_{3/2}^{\nu}$ și $p_{3/2} \pi p_{1/2}^{\nu}$ apar cancelări însă aceste contribuții sunt semnificativ mai reduse. În cazul dezintegrării ^{104}Tc către ^{104}Ru aceleași elemente de matrice sunt relevante, dar toate sunt relativ mici și cancelările produc în final țării Gamow-Teller slabe în acord cu datele experimentale obținute cu TAGS. Amestecul puternic de configurații proiectate pe simetrii oblate și prolate în sistemul intrinsec pentru starea părinte, precum și pentru stările fiica este responsabil pentru diferența semnificativă între dezintegrarea β Gamow-Teller a nucleelor ^{102}Tc și ^{104}Tc . De asemenea deformarea configurațiilor principale din structura funcțiilor de undă este mai mică în primul caz, unde numărul de neutroni în nucleul fiica este cel critic, $N=58$, în timp ce în al doilea caz deformarea mai mare este determinată de $N=60$ al nucleului fiica ^{104}Ru .

Concluzii:

Rezultatele prezentate sunt în acord cu datele experimentale existente. Descrierea self-consistentă obținută este unică pentru nucleele neutro-excedentare din această zonă de masă și se bazează atât pe metode ce merg dincolo de aproximatia de câmp mediu, cât și pe o interacție efectivă nucleon-nucleon realistă într-un spațiu larg de model inaccesibil în prezent pentru alte modele teoretice sofisticate. Studiile vor fi continuate pentru finalizarea unei lucrări ce urmează a fi trimisă spre publicare, iar predicțiile ce vor rezulta pot ghida experimentele viitoare de la marile facilități de accelerare pentru nuclee radioactive din diverse centre din lume precum FAIR - Darmstadt, Germania, RIKEN - Tokyo, Japonia și MSU, Michigan, SUA. Rezultate self-consistente privind fenomene de coexistență în nuclee bogate în protoni în zona de masă $A \sim 70$ și nuclee bogate în neutroni în zona $A \sim 100$ au fost recent publicate [2,3,4] și prezentate la conferințe internaționale [5-8].

List of publications

1. Triple shape coexistence and shape evolution in the $N = 58$ Sr and Zr isotopes, **A. Petrovici**, *Phys. Rev. C* 85 (2012) 034337
2. Shape isomerism and shape coexistence effects on the Coulomb energy differences in the $N = Z$ nucleus ^{66}As and neighboring $T = 1$ multiplets, G. de Angelis, K.T. Wiedemann, T. Martinez, R. Orlandi, **A. Petrovici**, E. Sahin, J.J. Valiente-Dobon, D. Tonev, S. Lunardi, B. S. Nara Singh, R. Wadsworth, A. Gadea, K. Kaneko, P.G. Bizzeti, A. M. Bizetti-Sona, B. Blank, A. Bracco, M. P. Carpenter, C.J. Chiara, E. Farnea, A. Gottardo, J. P. Green, S. M. Lenzi, S. Leoni, C.J. Lister, D. Mengoni, D.R. Napoli, O.L. Pechenaya, F. Recchia, W. Reviol, D.G. Sarantites, D. Seweryniak, C.A. Ur, and S. Zhu, *Phys. Rev. C* 85 (2012) 034320
3. Shape coexistence, shape evolution and Gamow-Teller β -decay of neutron-rich $A \sim 100$ nuclei, **A. Petrovici**, K. W. Schmid, and A. Faessler, *AIP Conf. Proc.* 1498 (2012) 38

4. Exotic structure and decay of medium mass nuclei near the drip lines,
A. Petrovici, K. W. Schmid, and A. Faessler, *J. Phys.: Conf. Series*, submitted

List of talks

5. Nucleon-nucleon correlations in exotic nuclei,
A. Petrovici, invited talk at SARFEN Meeting, Trento, Italy, March 26-27, 2012
6. Shape coexistence, shape evolution and Gamow-Teller β -decay of neutron-rich $A \sim 100$ nuclei,
A. Petrovici, invited talk at CSSP-2012, Sinaia, Romania, July 2012
7. Exotic structure and decay of medium mass nuclei near the drip lines,
A. Petrovici, invited talk at the ISSP 'Dynamics of open systems', Predeal, Romania, July, 2012
8. Shape coexistence in neutron-rich $A \sim 100$ nuclei within beyond-mean-field approach,
A. Petrovici, overview talk at the European Nuclear Physics Conference 2012, Bucharest, Romania, September 17-21, 2012

Director proiect,

Alexandrina Petrovici