

RAPORT INTERMEDIAR DE CERCETARE NR.3

Iunie 2023, pentru proiectul

DESCRIEREA PROPRIETĂȚILOR DE DEFORMARE ȘI DE DEZINTEGRARE A NUCLEELOR ATOMICE

Domeniul științific: *Investigarea fenomenologică și microscopică a structurilor atomice și nucleare* (Nr. 11 din secțiunea VI a pachetului de informații).

- **Obiectiv 1:** Descrierea deformării nucleelor în starea lor fundamentală cu ajutorul unui formalism microscopic-macroscopic, având ca ingredient energii uniparticulă determinate în cadrul unui grup al rotațiilor fracționale.

Activitate raportată: Investigarea proprietăților globale ale modelului fracțional.

În această etapă a proiectului au fost studiate calitățile modelului rotatorului fracțional ce îl recomandă ca fiind unul potrivit pentru descrierea mișcării nucleonilor într-un câmp mediu. Astfel, spectrul uniparticulă asociat modelului propus este parametrizat în acord cu datele experimentale corespunzătoare nivelelor uniparticulă protonice și neutronice din câteva nuclee sferice. Procedura de fitare a produs un ordin invariabil al derivatei fracționale și un parametru de constrângere ce depinde într-un remarcabil mod regulat de numerele nucleonice. Acest lucru poate fi observat în Fig.1. Se constată astfel că parametrul de constrângere controlează poziția orbitalelor uniparticulă de tip *intruder* relativ la păturile de paritate inversă și în consecință simulează efectul interacției spin-orbită din modelul în pături. Acest efect este vizualizat în Fig.2(b) pentru deformarea sferică. Efectul este similar pentru închiderile de pături la superdeformarea $\omega_{\perp} : \omega_z = 1 : 2$ de tip oblate. Când $B = 0$, energia dintre pături este bisectionată de către orbitalul *intruder*. Valorile negative ale lui B , aduc orbitalul *intruder* în pătura sa originală de aceeași paritate, iar pentru valori pozitive, orbitalul *intruder* se întrepătrunde în următoarea pătură de paritate inversă. Fig.2 mai arată că separarea dintre păturile sferice persistă chiar și la numere nucleonice mari atunci când B crește. Degradarea separării energetice între pături este mai rapidă pentru cazul superdeformării, închiderea de pături la $\omega_{\perp} : \omega_z = 2 : 3$ fiind cea mai efemeră.

Combinând observațiile din Fig.1 și Fig.2, am ajuns la concluzia că datorită creșterii valorilor $B_{n(p)}$ odată cu numerele nucleonice, efectele de pături sunt atenuate și ulterior dispar, după cum este de așteptat în nucleele supergrele. În afară de închiderile de pături sferice, doar cele superdeformate prolate par să mai supraviețuiască la numerele nucleonice relativ mari. Acest aspect este consistent cu evoluția fisiunii nucleare urmată de obicei de nucleele supergrele. Pe de altă parte, valorile $B_{n(p)}$ mici asociate cu nuclee ușoare facilitează închideri de pături superdeformate stabile cu o predilecție pentru forme oblate. Acest aspect este important din punct de vedere al clusterizării și al emergenței formelor exotice în nuclee ușoare [2, 3].

Efectele de pături ale nivelelor uninucleonice oferite de modelul propus sunt investigate prin intermediul contribuției lor microscopice la energia de legătură din modelul picăturii de lichid. Pentru a judeca performanța modelului propus

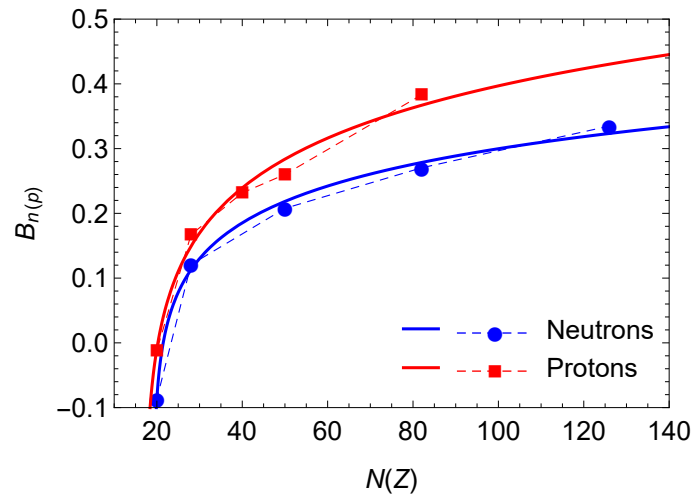


FIG. 1. Valorile parametrului $B_{n(p)}$ determinate din procedura de fitare referitoare la numere nucleonice $N(Z)$ specifice. Liniile solide reprezintă funcțiile de interpolare $B_n = 0.0845 \log(N - 19.1621) - 0.0711$ și $B_p = 0.1228 \log(Z - 16.9513) - 0.1459$.

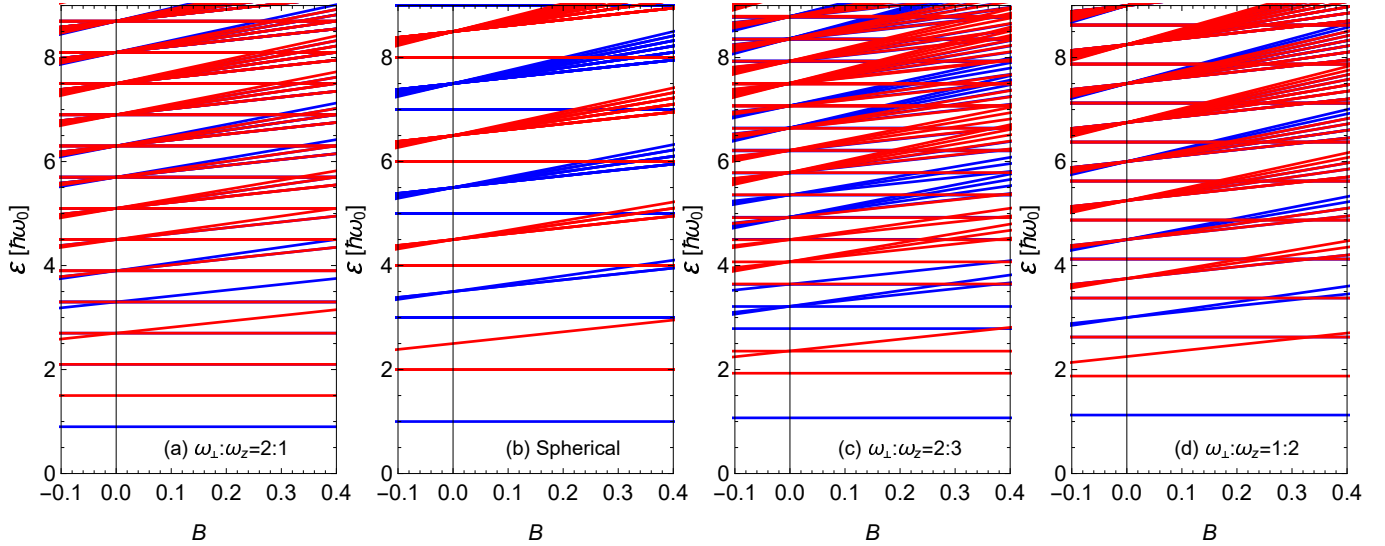


FIG. 2. Evoluția închiderilor de pături ca funcție de parametrul B pentru superdeformarea prolate $\omega_{\perp} : \omega_z = 2 : 1$ (a), cazul sferic $\omega_{\perp} = \omega_z$ (b), și superdeformările oblate $\omega_{\perp} : \omega_z = 2 : 3$ (c) și $\omega_{\perp} : \omega_z = 1 : 2$ (d). Nivelele energetice corespund la $\alpha = 0.5$.

TABLE I. Interpolarea liniară pentru valorile parametrilor $B_{n(p)}$ raportate în Fig.1.

Z Interval	B_p	N Interval	B_n
≤ 28	$-0.457721 + 0.0223121Z$	≤ 28	$-0.604994 + 0.0259243N$
28-40	$0.0161633 + 0.00538767Z$	28-50	$0.0103926 + 0.00394623N$
40-50	$0.117894 + 0.0028444Z$	50-82	$0.109882 + 0.00195644N$
≥ 50	$0.068114 + 0.00384Z$	≥ 82	$0.150007 + 0.00146711N$

au fost comparate corecțiile sale microscopice cu cele obținute în cadrul unor formalisme tradiționale de câmp mediu. În prima fază, o astfel de comparație poate fi realizată doar pentru nuclee sferice. În acest scop am selectat nuclee par-pare consecutive din lanțurile izotopice ale nucleelor Ca, Ni, Sn, și Pb ce sunt considerate aproximativ sferice conform Ref.[1]. De notat este faptul că unele din nucleele selectate pot fi în realitate destul de deformate, după cum sugerează și alte modele alternative. Spectrele uniparticulă pentru nucleele selectate sunt calculate cu ajutorul celor trei parametri comuni $\hbar\omega_0 = 37.847 \cdot A^{-1/3}$, $\alpha_n = 0.4948$, $\alpha_p = 0.5144$, și al valorilor variabile ale parametrilor $B_{n(p)}$ determinate de interpolările liniare listate în tabelul I. Pentru calculul de împerechere s-au considerat următoarele valori medii [4]

$$\bar{\Delta}_n = (-42I^2 + 6.7) A^{-1/3}, \quad (1)$$

$$\bar{\Delta}_p = (-27I^2 + 6.9) A^{-1/3}, \quad (2)$$

ca funcție de izospinul $I = (N - Z)/A$. Metoda Strutinsky necesită un parametru de mediere $\gamma_s = 1.1 \hbar\omega_0$, iar un ordin de trunchiere $p = 4$ pentru dezvoltarea în funcții Hermite asigură satisfacerea condiției de platou. Rezultatele acestui calcul al contribuției microscopice pentru nucleele selectate sunt afișate în Fig.3, unde sunt de asemenea comparate cu mărimi similare determinate în modelul microscopic-macroscopic (FRLDM) din Ref.[1]. Este remarcabil faptul că modelul propus are o evoluție similară ca funcție de numerele de nucleoni cu rezultatele FRLDM în toate lanțurile izotopice considerate. Chiar dacă există diferențe evidente, minimele de la închideri de pături precum și evoluția parabolică între acestea sunt consistente între cele două modele comparate. Se observă că calculele prezente oferă în general o corecție microscopică mai mică. Această subestimare este mai accentuată la nucleele cu izospin mai mic. Lanțul izotopic al Pb este cel mai bun exemplu pentru acest efect, precum și cel al Ca, unde modelul prezent chiar supraestimează corecția microscopică din modelul FRLDM pentru izotopii foarte bogați în neutroni. Aceste aspecte sugerează că diferențele observate între cele două modele comparate pot fi într-o oarecare măsură minimizează printr-o redefinire a părții macroscopice și considerând un factor de atenuare pentru corecția microscopică.

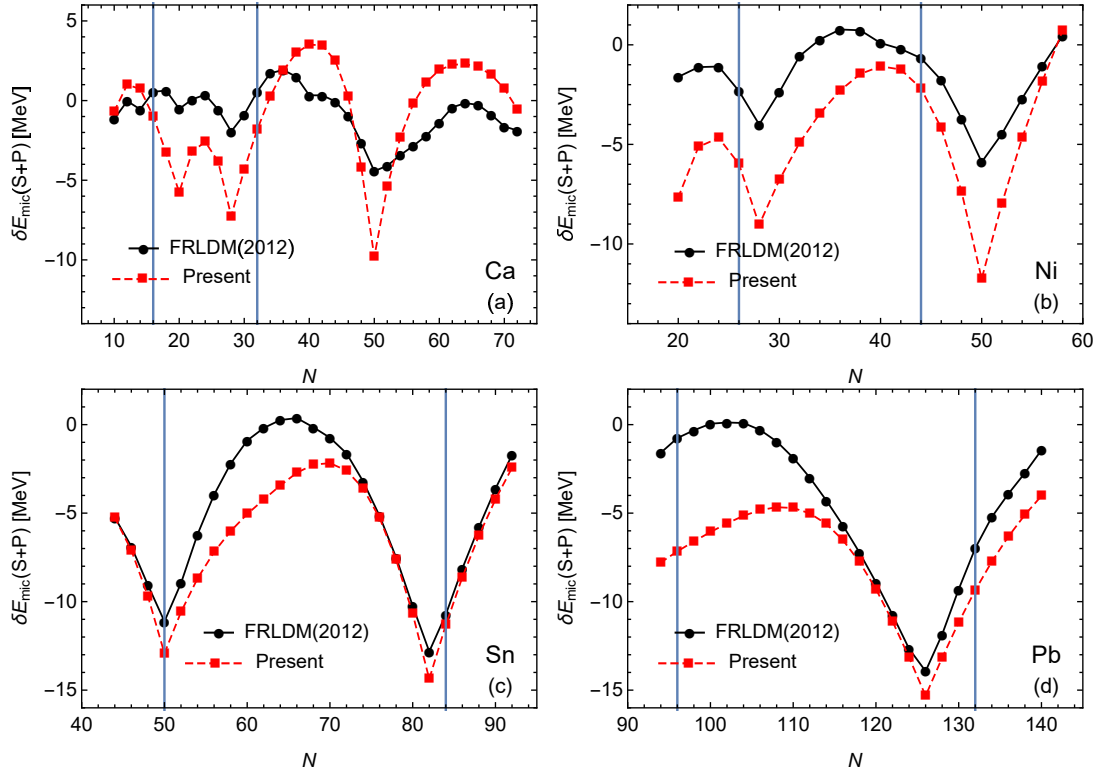


FIG. 3. Corecțiile microscopice datorate structurii de pături și interacției de împerechere, calculate cu formalismul dezvoltat, este comparat cu valorile raportate în Ref.[1] pentru nuclee considerate sferice din lanțurile izotopice de Ca (a), Ni (b), Sn (c), și Pb (d). Liniile verticale indică limitele izotopilor cu mase măsurate.

- **Obiectiv 2:** Descrierea microscopică a clusterizării alfa în nuclee.

Activitate raportată: Sistematica tranzițiilor α .

Lucrarea de cercetare ce însumează realizările complete referitoare la al doilea obiectiv a fost publicată în Physical Review C, volumul 107, numărul 2, seria paginii 024302.

În această etapă a proiectului a fost inițiată investigarea rolului jucat de către corecția de asociere a nucleonilor în particule α asupra energiei de legătură și proprietăților nucleare în starea fundamentală a nucleelor atomice. În acest sens, a fost implementată metoda Strutinski [5] de ajustare a energiei de legătură prin includerea corecțiilor de pături. Totodată, s-a realizat și un avans în implementarea calcului self-consistent de tip Hartree-Fock-Bogoliubov (HFB) prin separarea parametrilor care stabilesc tăria interacției de suprafață pentru protoni și neutroni, dezvoltând astfel metoda inițială ce conținea un singur parametru. Este important de menționat că cele două valori nu sunt independente, ele diferind prin energia Coulomb specifică interacției protonilor. Această separare este necesară pentru a permite efectuarea calcului de tip HFB.

Revista European Physical Journal A dedică o colecție memorială în onoarea contribuției științifice a profesorului Peter Schuck, trecut în eternitate la data de 10 septembrie 2022. Cu această ocazie, a fost realizată o contribuție pentru această colecție prin lucrarea de sinteză *Alpha-clustering and related phenomena in medium and heavy nuclei* ce a fost trimisă spre publicare.

- [1] P. Möller, A. J. Sierk, T. Ichikawa, and H. Sagawa, At. Data Nucl. Data Tables **109-110**, 1 (2016).
- [2] M. Freer, R. R. Betts, and A. H. Wuosmaa, Nucl. Phys. A **587**, 36 (1995).
- [3] M. Freer, T. Marsh, and J. Souter, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. **49**, 055105 (2022).
- [4] D. Hove, A. S. Jensen, and K. Riisager, Phys. Rev. C **88**, 064329 (2013).
- [5] V. M. Strutinsky and F. A. Ivanjuk, Nucl. Phys. A **255**, 405 (1975).

Lucrări publicate sau în trimise spre publicare cu afilierea AOȘR:

1. R. Budaca, C. M. Petrache, *Beyond the harmonic approximation description of wobbling excitations in even-even nuclei with frozen alignments*, Physical Review C **106**, 014313 (2022).
2. R. Budaca, P. Baganu, A. I. Budaca, *Nuclear collective motion of heavy nuclei with axial quadrupole and octupole deformation*, Physical Review C **106**, 014311 (2022).
3. A. Dumitrescu, D. S. Delion, *Cluster Mean Field Description of α Emission*, Physical Review C **107**, 024302 (2023).
4. R. Budaca, *Properties of the single-particle spectrum generated by the mixed fractional rotation group*, trimisă la The European Physical Journal Plus (2023).
5. D. S. Delion, A. Dumitrescu, *Alpha-clustering and related phenomena in medium and heavy nuclei*, trimisă la The European Physical Journal A (2023).

Director de proiect
Radu Budaca