

**Raport științific**

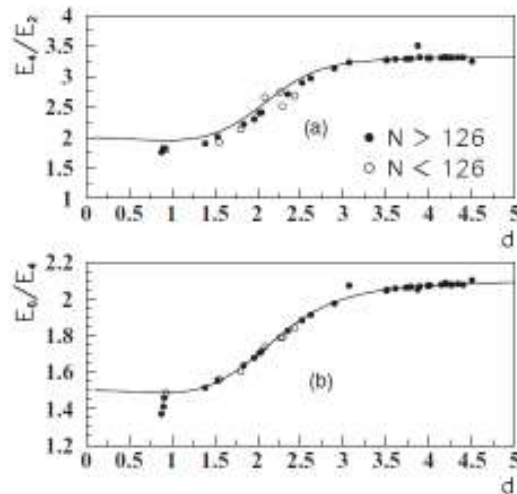
privind implementarea proiectului în perioada decembrie 2012 – decembrie 2013

**1. Investigarea proprietăților de clusterizare alfa în nuclee grele și supragrele**

Primul obiectiv al acestei faze este studiul gradului de de clusterizare alfa, adică a probabilității de formare a particulelor alfa pe suprafața nucleului. Am corelat această analiză cu structura nucleelor implicate, investigând nivelele de joasă energie în nuclee par-pare în cadrul modelului stărilor coerente (CSM). Banda fundamentală este descrisă de o stare coerentă proiectată la moment cinetic  $J$

$$\varphi_J^{(g)} = \mathcal{N}_J^{(g)} P_{M0}^J \psi_g \quad |\psi_g\rangle = e^{d(b_{20}^\dagger - b_{20})} |0\rangle \quad (1.1)$$

unde  $b_{2\mu}$  este operatorul care descrie vibrațiile de suprafață cuadupolare, iar  $d$  este parametrul modelului, proporțional cu deformarea cuadupolară standard  $\beta_2$ , care a fost determinat prin potrivirea cu spectrul experimental al benzii rotaționale descris de un Hamiltonian armonic. Rezultatele pentru rapoartele între energii ale nucleelor grele și supragrele par-pare care emit particule alfa pe stări excitate sunt date în graficul de mai jos [2,4,6].



Următorul pas a constat în descrierea tranzițiilor alfa pe stările descrise mai sus, utilizând pentru sistemul alfa-miez un Hamiltonian care cuprinde un termen sferic având minimumul pe suprafața nucleară  $R_{min}$  [1] și unul de tip cuadropol-cuadropol (QQ)

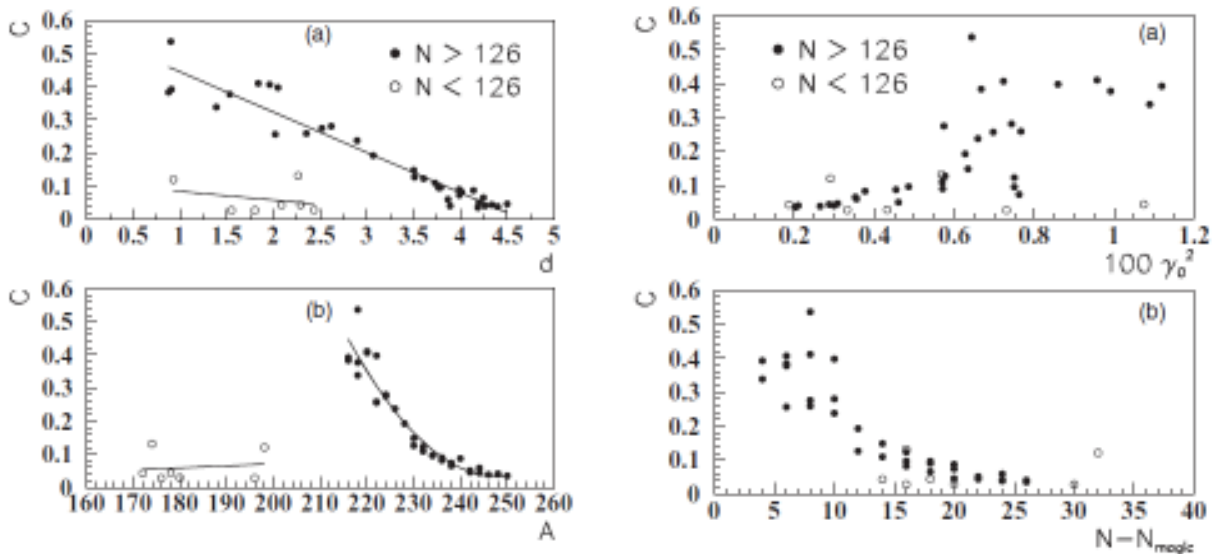
$$V(b_2, \mathbf{R}) = V_0(R) + V_2(b_2, \mathbf{R}) \quad (1.2), \text{ unde interacția QQ este}$$

$$V_2(b_2, \mathbf{R}) = -C_0(R - R_{\min}) \frac{dV_0(R)}{dR} \times \hat{2}[Q_2 \otimes Y_2(\Omega)]_0. \quad (1.3)$$

Drept funcție de undă s-a utilizat cuplajul dintre funcția CSM (1.1), care descrie miezul, cu armonica sferică  $Y_{lm}$ , care descrie particula alfa, la moment cinetic nul, corespunzând nucleului părinte. CSM prezice următoarea comportare a parametrului efectiv de cuplaj alfa-miez, funcție de parametrul de deformare  $d$

$$C(d) = C_0 \left( 1 - \sqrt{\frac{2}{7}} a_\alpha d \right) \quad (1.4)$$

Utilizând valorile parametrului de deformare  $d$  prezise de analiza structurii nucleelor fiică, s-a obținut într-adevăr o comportare apropiată de cea prezisă de (1.4), după cum se poate vedea din graficul de mai jos, panelul din stânga (a). Parametrul de cuplaj  $C_0$  a fost determinat prin reproducerea lărgimii de dezintegrare pe nivelul  $J=2$ . În panelul din stanga (b) s-a reprezentat dependența parametrului de cuplaj  $C(d)$  funcție de numărul de masă.



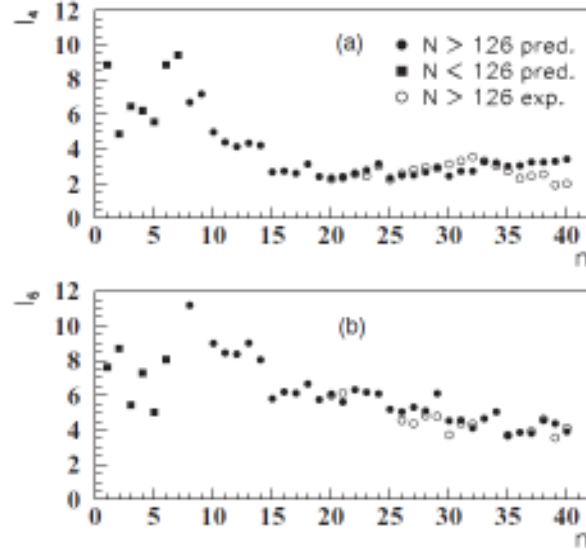
Interesant este faptul că acest cuplaj este direct proporțional cu lărgimea redusă de dezintegrare alfa pe starea fundamentală cu  $J=0$ , definită de raportul dintre lărgimea de dezintegrare și penetrabilitate

$$\gamma_J^2 = \frac{\Gamma_J}{2P_J} \quad (1.5)$$

Aceasta este proporțională cu probabilitatea de formare a particulei alfa pe suprafața nucleului, după cum se poate vedea din graficul de mai sus dreapta (a). **În acest mod, am arătat că tăria interacției dintre miez și particula alfa este proporțională cu gradul de clusterizare alfa, care descrește o dată cu depărtarea de numărul neutronic magic**, cum se observă în panelul din partea dreaptă (b). Utilizând aceste valori ale parametrului de cuplaj am calculat intensitățile de dezintegrare alfa pe nivelele superioare definite astfel

$$I_J \equiv \log_{10} \frac{\Gamma_0}{\Gamma_J} \quad (1.6)$$

Din graficul de mai jos, în care am reprezentat valorile acestei funcții versus numărul de ordine al emiterului  $n$ , se observă o bună concordanță a calculului (cercuri umplute) cu datele experimentale (cercuri goale) pentru  $J=4$  (a) și  $J=6$  (b).



## 2. Studiul corelațiilor nucleare în nuclee exotice cu ajutorul emisiei bi-protonice

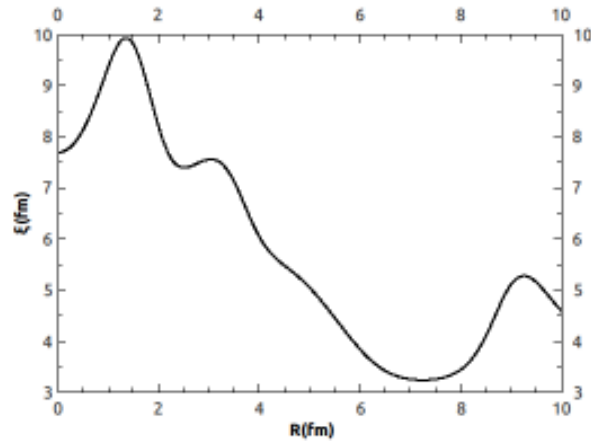
Al doilea obiectiv al acestei faze constă în investigarea modului în care parametrii interacției nucleare dintre doi protoni se modifică în interiorul nucleului datorită corelațiilor de împerechere. Am considerat în exterior o interacție nucleară de tip gaussian plus una Culombiană repulsivă, care depinde de raza interprotonică  $r_{12}$

$$v(r_{12}) = -v_0 e^{-(r_{12}/r_0)^2} + V_C(e^2, r_0, r_{12}) \quad (2.1)$$

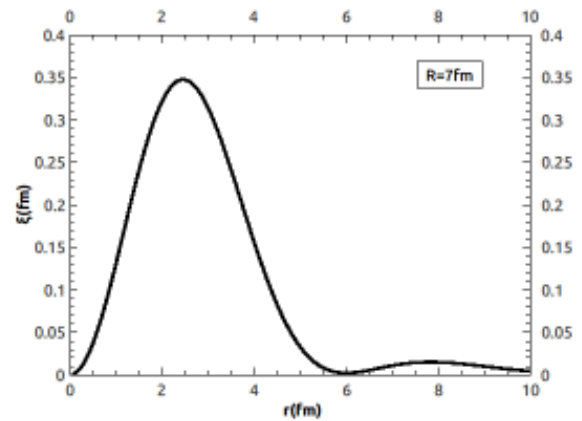
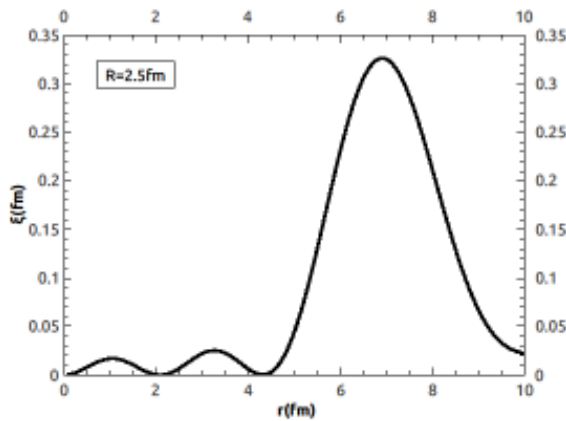
unde  $V_C$  este potențialul Culombian, iar valorile parametrilor în spațiul liber sunt:  $v_0=35 \text{ MeV}$ ,  $r_0=2 \text{ fm}$ . Corelațiile induse de interacția de împerechere sunt definite de lărgimea de coerență

$$\xi(R) = \frac{\left( \int r^4 |\kappa(R, r)|^2 dr \right)^{1/2}}{\left( \int r^2 |\kappa(R, r)|^2 dr \right)^{1/2}} \quad (2.2)$$

unde  $\kappa$  este densitatea de împerechere, care este definită de produsul funcțiilor de undă a protonilor înmulțit cu amplitudinile BCS,  $uv$ , care depinde de raza centrului de masă  $R$  a sistemului de doi protoni [7]. Am investigat această cantitate pentru emiterul bi-protonic  $^{45}\text{Fe}$ , rezultatele fiind reprezentate în figura de mai jos.



În cazul în care se omite integrarea după raza relativă  $r$  de la numărător, se obțin pentru  $\xi(R,r)$  dependențele de mai jos pentru două valori diferite ale razei centrului de masă  $R$ .



Se observă că în interiorul nucleului funcția este centrată în jurul valorii de 7 fm, în timp ce în exterior în jurul valorii de 2 fm, care corespunde razei interacției gaussiene (2.1)  $r_0$  din spațiul liber. **În acest mod, corelațiile nucleare de împerechere în interiorul materiei nucleare conduc la o creștere a lungimii de coerență a interacției bi-protonice, deci a parametrului  $r_0$  care definește interacția bi-protonică.** Impunând condiția de self-consistență a ecuațiilor BCS și anume ca valoarea medie a lărgimii de coerență să fie egală cu parametrul de interacție în materia nucleară

$$\langle \xi \rangle = r_0^{(int)} \quad (2.3)$$

se obțin valorile:  $r_0^{(int)} \approx 3r_0$ ,  $v_0^{(int)} \approx v_0/4$  [7]. Calculul emisiei de doi protoni [5] indică faptul că valoarea experimentală a timpului de viață este într-adevăr reprodusă de valorile experimentale ale interacției bi-protonice  $v_0=35$  MeV,  $r_0=2$  fm.

**Concluzionăm că studiul emisiei bi-protonice este un instrument puternic de investigare a corelațiilor de împerechere.**

## Lucrări publicate

Prin aceste rezultate au fost indeplinite obiectivele fazei. A fost asumată în cadrul acestei faze publicarea a 3 lucrări științifice în reviste cotate ISI și au fost publicate 5 [1-5]. De asemenea 2 lucrări sunt în curs de publicare [6-7], iar 6 au fost prezentate la conferințe internaționale [C1-6].

[1] D.S. Delion and R.J. Liotta, *Shell-model representation to describe alpha emission*, Physical Review **C87**, 041302(R) (2013).

[2] D.S. Delion and A. Dumitrescu, *Unified description of electromagnetic and alpha transitions in even-even nuclei*, Physical Review **C87**, 044314 (2013).

[3] F. Gulminelli, Ad. R. Raduta, M. Oertel, and J. Margueron, *Strangeness-driven phase transition in (proto-)neutron star matter*, Phys. Rev. **C87**, 055809 (2013).

[4] D.S. Delion and A. Dumitrescu, *Coherent state description of alpha transitions to excited states in even-even nuclei*, Romanian Journal of Physics **58**, 1167 (2013).

[5] L. Ixaru and D.S. Delion, *Two proton emission: a numerical approach*, Romanian Journal of Physics **58**, 1396 (2013).

[6] D.S. Delion, A. Dumitrescu, *Alpha decay fine structure in even-even nuclei*, Atomic Data Nuclear Data Tables, in preparation

[7] D.S. Delion, V.V. Baran, *Selfconsistent description of the effective pairing interaction*, Physical Review **C**, in preparation

## Conferințe internaționale

[C1] D.S. Delion, *Clustering features in decay processes*, International Summer School for Advanced Studies "Dynamics of open nuclear Systems", Predeal, Romania, 9-20 July, 2012. Journal of Physics: Conference Series **413**, 012011 (2013).

[C2] D.S. Delion and A. Dumitrescu, *Nuclear structure versus alpha-clustering and alpha-decay*, International Conference "Clustering aspects in nuclei", Beijing, China, 1-26 April, 2013.  
<http://www.kitpc.ac.cn/?p=ProgDetail&id=PI20130401&i=main>

[C3] D.S. Delion and A. Dumitrescu, *Systematics of the alpha decay fine structure*, International workshop "Alpha decay as a probe of nuclear structure", Stockholm, Sweden, 12-13 September 2013, <http://www.nuclear.kth.se/alpha.presentation.htm>

[C4] Ad. R. Raduta, F. Gulminelli, M. Oertel, J. Margueron, *Strangeness-driven phase transition in stellar matter*, Nuclear Physocs in Astrophysics VI, Lisbon, Portugal, 19-25 May 2013.  
[http://npa6.cii.fc.ul.pt/NPA6\\_webpage/NPA6\\_detailed\\_timetable.html](http://npa6.cii.fc.ul.pt/NPA6_webpage/NPA6_detailed_timetable.html)

[C5] Ad. R. Raduta, F. Aymard, F. Gulminelli, *Clusterized nuclear matter in the (proto-)neutron star crust and the symmetry energy*, "Eurisol - User Group Topical Meeting", Krakow, Poland, 1-3 July 2013. <http://eurisol.ifj.edu.pl/>

[C6] Ad. R. Raduta, *Equation(s) of state and phase transitions in stellar matter*, "Seventh European summer school on experimental nuclear astrophysics", Santa Tecla, Italy, 15-27 September 2013.  
<http://agenda.infn.it/conferenceDisplay.py?confId=5302>

Director proiect,

Dr. Doru S. Delion