

RAPORT STIINTIFIC SINTETIC

privind implementarea proiectului in perioada octombrie 2011 - decembrie 2013

Moduri de dezintegrare ale nucleelor supragrele

Nucleele supragrele (SG) produse pana in prezent prin reactii de fuziune se dezintegreaza prin emisie de particule α ($D\alpha$) si fisiune spontana (FS). Pentru numere atomice mai mari de $Z = 121$ radioactivitatea cluster (DC) are o buna sansa de a intra in competitie. In timp ce majoritatea perioadelor de injumatatire calculate pentru $D\alpha$ si DC sunt in acord cu datele experimentale (cu erori de cel mult 1-2 ordine de marime), discrepanta dintre teorie si experiment poate ajunge pana la 10 ordine in cazul FS.

In regiunea de nuclee grele cu $Z = 87 - 96$, experientele privind DC de tipul ^{14}C , ^{20}O , ^{23}F , $^{22,24-26}\text{Ne}$, $^{28,30}\text{Mg}$ si $^{32,34}\text{Si}$ au confirmat previziunile noastre din 1980; DC este un fenomen rar intr-un fond imens de particule α .

Calcululele noastre indica o tendinta catre un raport de ramificare $b = T_\alpha/T_c > 1$ pentru nuclee SG cu $Z > 121$. In ciuda acordului dintre teorie si experiment pentru $D\alpha$ si DC, in regiunile hartii nucleelor la care experimentul inca nu a ajuns exista o incertitudine mare a calcululelor timpilor de viata ca o consecinta a diferentelor dintre masele atomice calculate de diferite modele.

Noi ne continuam studiul sistematic folosind 2 tabele de masa: experimental AME12 [1] disponibil pentru SG neutrondeficiente cu $Z < 119$ si teoretic WS-10 [2] extins pana la "neutron drip line".

In cele trei moduri de dezintegrare mentionate mai sus, dintr-un nucleu parinte AZ rezulta o particula emisa (sau un fragment usor) $^{A_2}Z_2$ si o fiica (fragment greu) $^{A_1}Z_1$. Consideram competitia FS efectuand calculule cu aproximarea Werner-Wheeler a inertiei nucleare si modelul in paturi cu doua centre pentru a obtine datele de intrare pentru corectiile microscopice de paturi si imperechere tip Strutinsky la energia de deformare macroscopica. Mai incercam si cateva legi simple de variatie a inertiei nucleare care permit obtinerea acordului cu experienta.

Modurile de dezintegrare nucleare studiate sunt explicate prin tunelare cuantica a barierei de potential. Constanta de dezintegrare

$$\lambda = \ln 2/T = \nu SP_s \quad (1)$$

este exprimata ca un produs de trei marimi dependente de model ν , S si P_s , unde ν este frecventa

Tabelul 1: Deviatii rms standard ale timpilor de injumatatire calculati ($\log_{10} T_\alpha$) fata de experiment, inainte si dupa optimizarea ASAF. Sunt incluse si calcululele cu modelele UNIV si semFIS.

Grup	n	σ_{ASAF}	σ_{ASAF}^{opt}	σ_{UNIV}	h_{UNIV}	σ_{semFIS}
e-e	188	0.420	0.415	0.354	0.025	0.221
e-o	147	0.720	0.713	0.640	0.574	0.527
o-e	131	0.651	0.637	0.562	0.437	0.441
o-o	114	0.869	0.876	0.810	0.954	0.605

asalturilor asupra barierei, S este probabilitatea preformarii si P_s este penetrabilitatea barierei externe. In eq. de mai sus $T = T_\alpha$ sau $T = T_c$ sau $T = T_f$.

Pentru $D\alpha$ si DC folosim modelele noastre ASAF (analytical superasymmetric fission) si UNIV (curba universala). Pentru $D\alpha$ mai avem si semFIS (modelul semiempiric bazat pe teoria fisiunii). Spre deosebire de majoritatea celorlalte modele care dau devieri mari de la valorile experimentale in vecinatatea numerelor magice de neutroni (de exemplu $N = 126$) modelul semFIS se comporta

bine si acolo; acesta este unul din motivele pentru care $\sigma_{semFIS} = 0.221$ comparativ cu 0.415 dat de ASAF la nuclee par-pare. Pentru 147 nuclee par-impare, 131 impar-pare si 114 impar-impare deviatii standard sunt date in tabelul 1. Optimizarea modelului ASAF consta in alegerea celor mai bune valori ale parametrilor. Pentru modelul UNIV valorile din tabel sunt usor diferite fata de publicatiile anterioare deoarece am inclus *mai multe date experimentale pentru $D\alpha$ (580 fata de 534) si noi valori ale $Q-$ calculate cu AME12*. Avem cel mai complet set de date din lume. h_{UNIV} este factorul de interdictie potrivit cu datele experimentale. Pentru 16 emittori DC par-pari am obinut $\sigma_{ASAF}^{opt} = 0.681$ comparativ cu $\sigma_{ASAF} = 0.975$ inainte de optimizare.

Pentru izotopii neutrondeficitari exista o limita tehnica: $D\alpha$ sau DC cu durate de viata sub $1 \mu s$ nu pot fi detectate datorita timpului de zbor prin separatorul produsilor de recul. Modelele noastre ASAF si UNIV pot reproduce $D\alpha$ si DC cu abateri mai mici de doua ordine de marime, cu exceptia $D\alpha$ a ^{228}Ac si emisiile $^{24,25}Ne$ din ^{235}U . Pentru ASAF, UNIV si semFIS abaterile in cazul a 512 (88%), 527 (91%) si 555 (96%) emittori α din totalul de 580, sunt sub un ordin de marime. ASAF si UNIV pot reproduce 23 (85%) si 24 (89%) date experimentale din totalul de 27 de DC cu devieri sub un ordin de marime.

Inertia nucleara poate fi calculata clasic folosind aproximarea Werner-Wheeler sau cu formula cranking. Alegand distanta dintre fragmente, R , drept parametru de deformare, inertia la punctul de tangenta al celor doua fragmente este egala cu masa redusa $\mu = (A_1 A_2 / A) m$ intr-un sistem binar. Cand folosim o singura deformare, R , tensorul de inertie devine un scalar, B . Putem reproduce experimentul prin cresterea inertiei. Luam 4 legi de variatie descrescatoare pentru B : 3 functii parabolice si o exponentiala. Deoarece parametrul nostru de deformare este separarea fragmentelor, R , sau $\xi = (R - R_i) / (R_t - R_i)$ vom avea la tangenta $R = R_t = R_1 + R_2$ mereu $B_t = A_\mu = A_1 \cdot A_2 / A$.

Cateva canale de fisiune se pot utiliza pentru testarea metodelor de calcul privind perioada de injumatatire fata de FS a ^{284}Cn pentru care se stie valoarea experimentală, $\log_{10} T_f(s) = -0.98$. Exemplu $^{284}Cn \rightarrow ^{138}Ba + ^{146}Ba$. Barierele de potential sunt calculate cu metoda macroscopica-microscopica. Energia de deformare macroscopica este de tipul Yukawa-plus-exponentiala. Modelul cu doua centre a fost folosit pentru a obtine schema de nivele ce constituie date de intrare pentru corectiile de paturi si imperechere de tip BCS.

Noi extindem aceste calcule pentru o gama mai larga de numere de neutroni, folosind semFIS pentru $D\alpha$ si ASAF pentru DC cu ajutorul tabelului de masa teoretic [2]. Pentru izotopii par-pari neutrondeficitari ai elementelor 118 si 120 $D\alpha$ este modul dominant de dezintegrare (timp de injumatatire minim). Pentru cativa izotopi ai elementelor 118, 120, si 122 FS poate concura $D\alpha$. DC este dominant pentru $Z = 124$. Acest mod poate fi important si pentru unii izotopi bogati in neutroni ai elementelor 118, 120 si 122. Din acest punct de vedere elementul 122 este unul de tranzitie deoarece preponderenta DC poate alterna cu cea a $D\alpha$ cand numarul de neutroni este mare.

In concluzie subliniem necesitatea de a face calcule fiabile pentru perioade de injumatatire de FS ale nucleelor SG si necesitatea de a extinde aceste calcule pentru nuclee mai apropiate de linia de stabilitate β si neutronoexcedentare.

Bibliografie

- [1] Wang, M., Audi, G., Wapstra, A.H., Kondev, F., MacCormick, M., Xu, X., Pfeiffer, B. Chinese Physics, C **36**, 16032014 (2012)
- [2] Wang, N., Liu, M., Wu, X. Phys. Rev. C **81**, 044322 (2010)

Publicatii in 2011-2013

1. D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, W. Greiner, Nuclear inertia and the decay modes of superheavy nuclei, *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, 40 (2013) 105105. ONE OF THE HIGHLIGHTS OF THE MONTH (October 2013) <http://iopscience.iop.org/0954-3899/labtalk-article/54572>. 1 citare.
2. R. A. Gherghescu, D. N. Poenaru, Shell and pairing influence on sub-barrier nuclear fusion, *Romanian Journal of Physics* 58 (2013) 1178-1187.
3. D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, W. Greiner, Alpha- cluster- and fission decay of superheavy nuclei, *Romanian Journal of Physics* 58 (2013) 1157-1166.
4. D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, W. Greiner, Cluster decay of superheavy nuclei, *Physical Review C* 85 (2012) 034615. 14 citari.
5. D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, W. Greiner, Simple relationships for alpha-decay half-lives, *Journal of Nuclear Physics G: Nuclear and Particle Physics* 39 (2012) 015105. HIGHLIGHT2012: freely available until 31st December 2013. 9 citari.
6. D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, W. Greiner, Competition of alpha decay and heavy particle decay in superheavy nuclei, *International Journal of Modern Physics E* 21 (2012) 1250022. 2 citari.
7. D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, W. Greiner, Metallic atomic clusters, *Romanian Journal of Physics* 57 (2012) 431441.
8. D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, C. Anghel, W. Greiner, Using Lipkin-Nogami and BCS pairing within macroscopic-microscopic method, *Romanian Reports in Physics* 64, Supplement (2012) 1329-1343.
9. D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, W. Greiner, Heavy-Particle Radioactivity of Superheavy Nuclei, *Physical Review Letters* 107 (2011) 062503. 29 citari.
10. D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, W. Greiner, Single universal curve for cluster radioactivities and alpha decay, *Physical Review C* 83 (2011) 014601. 20 citari.
11. D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, W. Greiner, Fissility of nuclear and atomic cluster systems, *Romanian Reports in Physics* 63, Supplement (2011) 1133-1146.

Conferences. Invited talks and one Oral Contribution.

12. D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, W. Greiner, Cluster decay of the heaviest superheavy nuclei. Invited talk, Proc. of the Fifth International Conference on Fission and Properties of Neutron Rich Nuclei, Sanibel Island, Florida, USA, 2012, Eds. J. H. Hamilton, A. V. Ramayya (World Scientific, Singapore, 2014) pp. 152-159. ISBN 978-981-4525-42-8.
13. D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, W. Greiner, How rare is cluster decay of superheavy nuclei. Invited talk, International Symposium on "Nuclear Physics: Presence and Future", Boppard, Germany, 2013. Proc. (Springer, Heidelberg, 2013) in print.
14. D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, W. Greiner, Main decay modes of superheavy nuclei. Invited talk, International Workshop Frontiers in Nuclear Physics, France, Guadeloupe, (Langley Resort Fort Royal Petit Bas Vent 97126 Deshaies) 2013. Not published.
15. D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, W. Greiner, Heavy-particle radioactivity, *Journal of Physics: Conference Series* 436 (2013) 012056.
16. D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, W. Greiner, Cluster radioactivity and alpha decay of superheavy nuclei. Invited talk, Proc. of the 4-th International Conference on Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy, Part I (Institute for Nuclear Research of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2013), Ed. I. M. Vyshnevskiy, pp. 57-61, ISBN 978-966-02-6751-0.
17. D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, W. Greiner, Unexpected strong decay mode of superheavy nuclei. Invited talk, in *Exciting Interdisciplinary Physics*, FIAS Interdisciplinary Science Series (Springer, Heidelberg, 2013), Ed. W. Greiner, pp. 91-101, ISBN 978-3-319-00046-6, 978-3-319-00047-3 (eBook).
18. R. A. Gherghescu, D. N. Poenaru, W. Greiner, Pairing influence in binary nuclear systems. Invited talk, in *Exciting Interdisciplinary Physics*, FIAS Interdisciplinary Science Series (Springer, Heidelberg, 2013), Ed. W. Greiner, pp. 129-137, ISBN 978-3-319-00046-6, 978-3-319-00047-3 (eBook)
19. D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, W. Greiner, Alpha- and cluster decays of superheavy nuclei, Oral contribution, 2nd European Nuclear Physics Conference - EuNPC 2012, Bucharest. Not published.
20. D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, W. Greiner, Extensions of fission theory of nuclear cluster decay. Invited talk, International Symposium Highlights in Heavy-Ion Physics, in honour of Nikola Cindro,

2011, Split, Croatia. Not published.

21. R. A. Gherghescu, D. N. Poenaru, W. Greiner, Pairing interaction in nuclear binary systems. Invited talk, International Symposium Highlights in Heavy-Ion Physics, in honour of Nikola Cindro, 2011, Split, Croatia. Not published.
22. D. N. Poenaru, A strong decay mode of superheavy nuclei. Invited Seminar talk, Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien, Strasbourg, France, 2011.

Popularization

23. D. N. Poenaru, G-factor and SPIRES Classification Scheme — complements to H-index (in Romanian), Revista de Politica Stiintei si Scientometrie Serie Noua, Vol. 1, nr. 3 (2012), 245-247.
24. D. N. Poenaru, "A declaration of excellence" translated in Romanian, Revista de Politica Stiintei si Scientometrie Serie Noua, Vol. 1, nr. 4 (2012), 363-364.

Citari

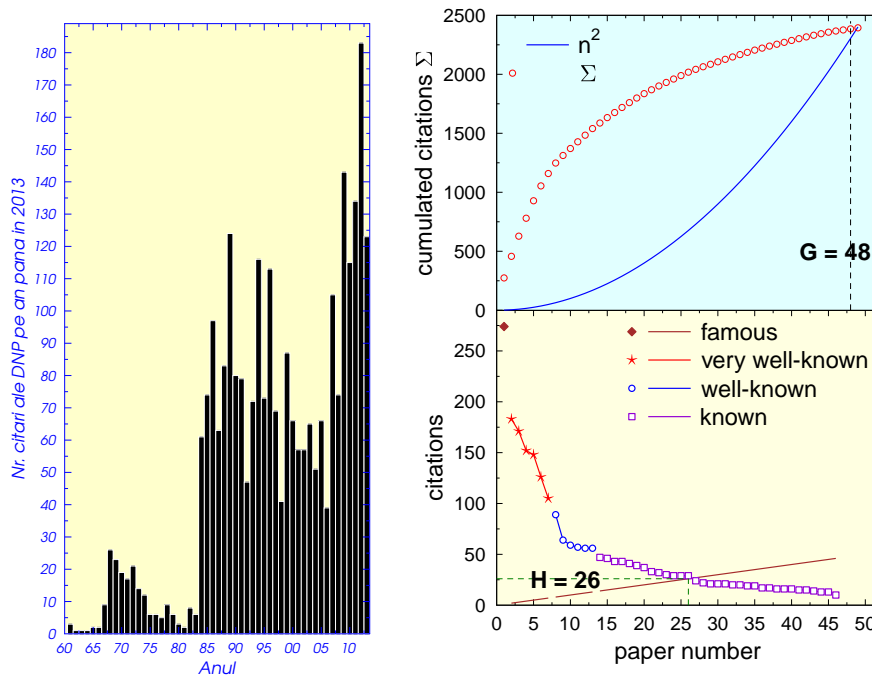


Figura 1: Stanga Citari anuale. Dreapta: indicele Hirsch=26 si factorul G=48.

Numarul total de citari 2720 din care in 2011-2013: 422. Factorul Hirsch=26, Factorul G=48. Dupa criteriile "SPIRES (Stanford Linear Accelerator Center Database)": o publicatie faimoasa (250-499 citari), 6 publicatii foarte bine cunoscute (100-249 citari), 6 publicatii bine-cunoscute (50-99 citari). 2013

Onoruri

Diploma de onoare si medalia IFA — 2012 (figura 2).

Certificate Of Excellence in Reviewing — 2012 (figura 3).

Referent stiintific 2011-2013

Referent stiintific (48 evaluari) la 10 reviste ISI: Annalen der Physik; Canadian Journal of Physics; European Physical Journal A; International Journal of Modern Physics E; Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics; Modern Physics Letters A; Nuclear Physics A; Physica Scripta; Physical Review C; Physical Review Letters.



Figura 2: Diploma de onoare si medalia IFA — 2012.

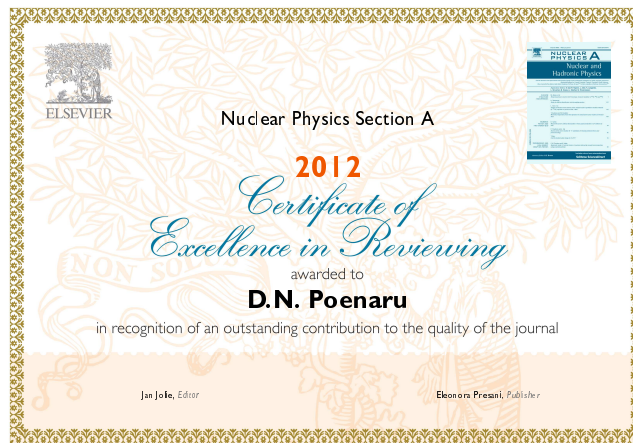


Figura 3: Certificate Of Excellence in Reviewing — 2012.

Chairman de sesiuni si member of International Advisory Committee

Member of the International Advisory Committee, Fifth International Conference on Fission and Properties of Neutron Rich Nuclei, Sanibel Island, Florida, USA, 2012.

Chairman of a parallel session of 4-th International Conference on Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy, 3-7 Sept., Kyiv, Ukraine, 2012.

Chairman of a parallel session of 10th International Conference on Clustering Aspects of Nuclear Structure and Dynamics, Debrecen, Hungary, 24-28 September, 2012.

Member of the Editorial Advisory Board of International Journals

The International Review of PHYSICS (IREPHY) http://www.praiseworthyprize.com/irephy_editorial_board.htm

Journal of Nuclear and Particle Physics <http://www.sapub.org/journal/editorialboard.aspx?journalid=1029>

Journal of Nuclear Physics, Material Sciences, Radiation and Applications (JNPMSRA) <http://jnp.chitkara.edu.in>

Dorin Poenaru

Director proiect: Dr. Dorin N. Poenaru