

RAPORT STIINTIFIC

Proiect PCE_2011-3-0049 Contract 42/05.10.2011

privind implementarea proiectului in perioada ianuarie – decembrie 2015

Sectiuni eficace in fuziunea sub-barierica pentru nuclee supragrele

Influenta interactiei de imperechere asupra coeficientului de transmisie al sectiunii eficace de fuziune

Activitati 1.1. Calculul corectiei de imperechere BCS folosind modelul cu doua centre asimetrice. 1.2. Calculul parametrilor de masa cranking in sisteme nucleare binare. 1.3. Calculul coeficientului de transmisie al sectiunii eficace de fuziune. Influenta imperecherii asupra energiei de deformare si parametrilor de masa. 1.4. Calculul tensorului de inertie cranking in lungul unei cai arbitrare de fuziune specificata printr-o relatie intre R si eta

Interactia de imperechere si influenta ei asupra energiei de deformare

Studiul sistemelor nucleare binare are ca scop final prezicerea celor mai favorabile perechi de tinta-proiectil, pentru fuziunea sub-barierica, sau nucleu flica-nucleu emis, pentru fisiunea spontana. Calculul se efectueaza in cadrul abordarii macroscopic-microscopice binare. Energia de deformare

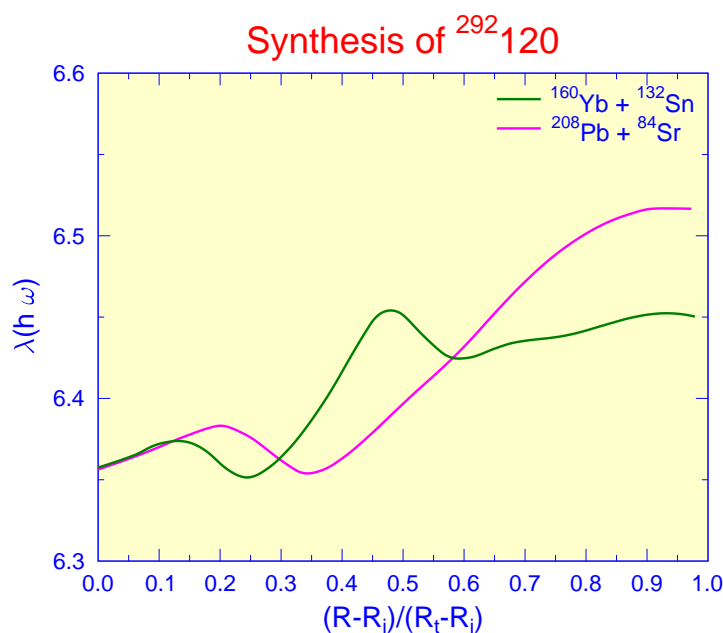


Figura 1: Variatia nivelului Fermi dupa introducerea interactiei de imperechere pentru reactiile: ¹⁶⁰Yb+¹³²Sn si ²⁰⁸Pb+⁸⁴Sr, in sinteza nucleului supragreu ²⁹²120.

specifica proceselor duale mentionate se obtine ca suma a doua marimi: energia macroscopica a picaturii de lichid incarcate electric si energia microscopica datorata schimbarilor cuantice. Aceasta din urma este cruciala in formarea vailor deformate in spatiul potentialului binar. Aceste vai devin caile favorabile de fuziune sau fisiune, datorita valorilor mari ale penetrabilitatii prin bariera de potential. Energia totala este:

$$E_{def} = E_{LDM} + E_{shell} + \delta P \quad (1)$$

unde E_{LDM} este partea macroscopica calculata cu potential de tip Yukawa-plus-exponentiala. Ultimii doi termeni reprezinta energia microscopica datorata schimbarilor la nivel cuantic: *Eshell*

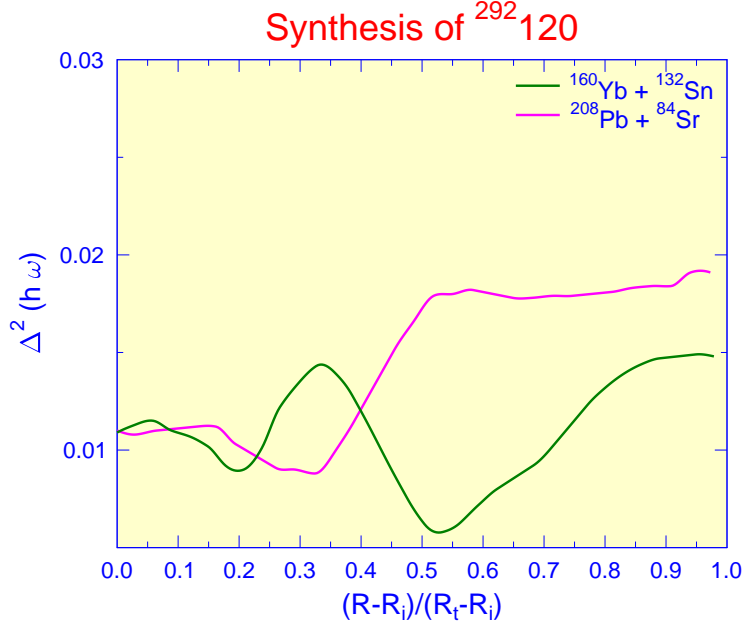


Figura 2: Variatia energiei gap-ului cu elongatia normata ($R_n=1$ corespunde configuratiei de tangenta), pentru reactiile: $^{160}\text{Yb}+^{132}\text{Sn}$ si $^{208}\text{Pb}+^{84}\text{Sr}$ in sinteza nucleului supragreu $^{292}\text{120}$.

este corectia de paturi, iar δP corectia de imperechere. Aceasta din urma se datoreaza interactiei dintre protoni doi cate doi, respectiv neutroni, care formeaza perechi. Formalismul prin care am obtinut corectia de imperechere porneste de la modelul Bardeen-Cooper-Schrieffer, si a fost adaptat in acest proiect la sisteme binare. Metodologia de calcul este urmatoarea: se obtine o energie corespunzatoare unei distributii fictive presupuse uniforme, continue, care este extrasa din suma totala a energiilor tuturor perechilor de nucleoni:

$$\delta p = p - \tilde{p} \quad (2)$$

In calculul celor doi termeni sunt necesare: gap-ul de energie care caracterizeaza partea de interactie intre doi nucleoni de acelasi tip Δ , si nivelul Fermi λ , modificat de la distributia particulelor independente datorita existentei interactiei de imperechere. Aceste marimi se obtin prin rezolvarea sistemelor de ecuatii de tip BCS.

$$n' - n = \sum_{k=k_i}^{k_f} \frac{\epsilon_k - \lambda}{\sqrt{(\epsilon_k - \lambda)^2 + \Delta^2}} \quad (3)$$

$$\frac{2}{G} = \sum_{k=k_i}^{k_f} \frac{1}{\sqrt{(\epsilon_k - \lambda)^2 + \Delta^2}} \quad (4)$$

Acest sistem a fost particularizat in prezentul proiect pentru sisteme binare: au fost rezolvate doua sisteme similare, dar cu intensitatea interactiei de imperechere G diferita, specifica odata nucleului greu (tinta sau fiica) si apoi cu intensitatea specifica nucleului usor (proiectilul sau emis). Cele doua marimi sunt puternic dependente de asimetria de masa, dupa cum se observa in graficele de mai jos, unde sunt prezentate calcule pentru o pereche de nuclee cuasi-simetrice si o alta asimetrice:

$^{160}\text{Yb}+^{132}\text{Sn}$ Se observa cum nivelul Fermi este puternic influentat de asimetrie, valoarea acestuia fiind mult ridicata in configuratia de tangenta pentru reactia asimetrica (Pb), datorita diferentei mari de energie intre paturi.

Gap-ul specific imperecherii urmeaza aproape acelasi comportament, pornind de la valoarea nucleului compus, aceeasi pentru cele doua reactii, pentru ca in final reactia asimetrica sa prezinte un Δ mult mai mare.

Aceste marimi vor influenta mai departe probabilitatile de ocupare ale cuasi-particulelor (particule care sunt supuse interactiei de imperechere), u_k^2 (probabilitatea de ocupare) si v_k^2 (probabilitatea de "gaura" pentru o cuasi-particula).

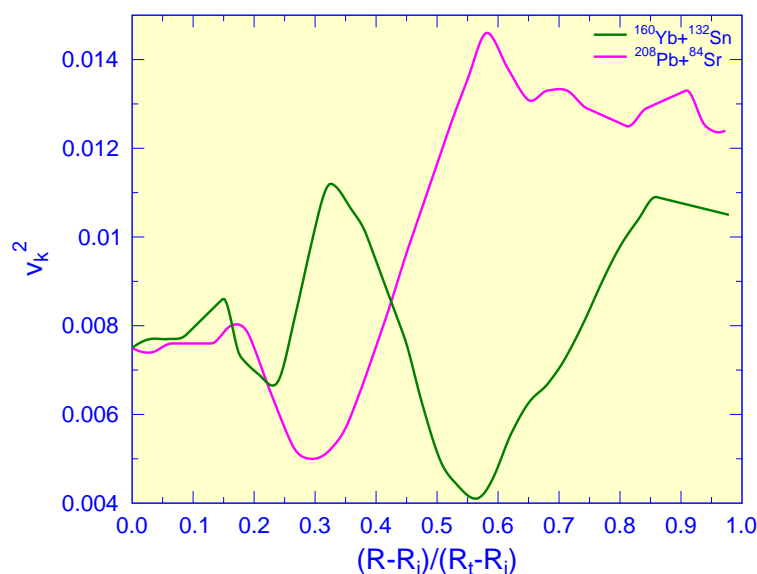


Figura 3: Probabilitati de ocupare a nivelelor de catre cvasiparticule pentru reactiile: $^{160}\text{Yb}+^{132}\text{Sn}$ si $^{208}\text{Pb}+^{84}\text{Sr}$ de sinteza a nucleului supragreu $^{292}120$.

Influenta interactiei de imperechere asupra tensorului de inertie

Pentru calculul final al factorului de transmisie am utilizat ideea reactiilor de fuziune sub-barierica pentru obtinerea nucleului compus in starea fundamentala. Acest concept are la baza algoritmului obtinerea unei stari finale cat mai stabila fata de dezintegrarea alfa, extrem de rapida la nuclee supragrele. Prin stabilirea starii finale la energia starii fundamentale, nucleul compus va fi minim excitat, astfel incat timpul de injumatatire va fi maxim. Se stie ca sectiune eficace pentru o astfel reactie este extrem de mica, de aceea este necesara o integrala a actiunii minime, ca masura a factorului de transmisie din sectiunea eficace. Integrala actiunii se calculeaza prin metoda Wentzel-Kramers-Brillouin de penetrabilitate prin bariera de potential. Penetrabilitatea P este astfel:

$$P = \exp(-K_{ov}) \quad (5)$$

unde integrala actiunii K_{ov} se calculeaza dupa formula:

$$K_{ov}(b_P, \kappa_T, \kappa_P; R) = \frac{2}{\hbar} \int_{(fus)} [2B(R)_{b_P, \kappa_T, \kappa_P} E_{def}(R)_{b_P, \kappa_T, \kappa_P}]^{1/2} dR \quad (6)$$

Tensorul de inertie B_{ij} a fost obtinut prin formula de cranking:

$$B_{ij} = 2\hbar^2 \sum_{kk'} \frac{\langle k' | \partial H_{DTCSM} / \partial q_i | k \rangle \langle k | \partial H_{DTCSM} / \partial q_j | k' \rangle}{(E_k + E_{k'})^3} (u_k v_{k'} + u_{k'} v_k)^2 + P_{ij} \quad (7)$$

unde se observa interventia probabilitatilor de ocupare si neocupare generate de interactia de imperechere.

Sectiunea eficace

Sectiunea eficace de fuziune sub-barierica este calculata dupa formula:

$$\sigma(E) = \underbrace{\pi\lambda^2} \cdot \underbrace{T(E)} \quad (8)$$

unde $\pi\lambda^2$ este aria acoperita de lungimea de unda deBroglie, iar $T(E)$ este coeficientul de transmisie. Pentru reactii de fuziune sub-barierica am luat:

$$T(E) = P(E, E_{TP}) \quad (9)$$

unde P este penetrabilitatea WKB. Am introdus astfel influenta interactiei de imperechere in factorul de transmisie al sectiunii eficace de reactie prin doua marimi: partea microscopica a energiei de deformare si tensorul de inertie. Calculele au fost efectuate pentru sinteza nucleelor supragrele cu $Z=114, 120, 126$. Am obtinut pentru reactii de fuziune sub-barierica parteneri favorabili (penetrabilitati - factori de transmisie mari) reactiile insotite de unul din parteneri ca fiind proton si/sau neutron magic, cum ar fi Pb sau Sn ca nucleu tinta.

Scopul fazei a fost astfel indeplinit. Obiectivele au fost atinse si rezultatele au fost trimise si publicate in reviste ISI.

Publicatii si Presentari la Conferinte in 2015

Articole

1. R. A. Gherghescu, D. N. Poenaru, Spontaneous fission of superheavy nuclei, *Pramana Journal of Physics*, 85 (2015) 439-446.
2. D.N. Poenaru, R.A. Gherghescu, Fission approach to cluster radioactivity, *Pramana Journal of Physics*, 85 (2015) 415-421.
3. D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, W. Greiner, Anti-cluster Decay and Anti-alpha Decay of Antimatter nuclei, *Romanian Reports in Physics*, to be published.

Prezentari Invitate publicata in Proceedings Conferinte

4. D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, W. Greiner, N. S. Shakib, How rare is cluster decay of super-heavy nuclei, in *Nuclear Physics: Present and Future (FIAS Interdisciplinary Science Series)*, (Springer International Publishing Switzerland, 2015) Ed W. Greiner, pp. 131-140,
5. D.N. Poenaru, R.A. Gherghescu, Newest developments in Cluster Radioactivity, *Proc. of the International Workshop on "Collectivity in Relativistic Heavy Ion Collisions"*, held in Kolymbari, Crete, Greece, 2014 (Barcelona, 2015) Eds. L. Bravina, V.K. Magas, A. Feijoo, pp. 168-177.

Prezentari Invitate la Conferinte Internationale

6. R.A. Gherghescu, D.N. Poenaru, Influence of cranking inertia on binary nuclear processes, 34th Workshop on Nuclear Theory, Goverdatsi, Rila Mountain, Bulgaria, 2015.

7. D.N. Poenaru, R.A. Gherghescu, W. Greiner, Anti-cluster decay and anti-alpha decay of antimatter nuclei, 34th Workshop on Nuclear Theory, Goverdatsi, Rila Mountain, Bulgaria, 2015.

Referent la Reviste, 2015

1. Physical Review Letters (SRI=8.688) 1 referat
2. Journal of Physics G: Nucl Part Phys (SRI=1.849) 3 referate
3. Physical Review C (SRI=1.308) 3 referate
4. International J. Mod. Phys. E (SRI=0.301) 1 referat

Citari, indice Hirsch, indice i10

In Noiembrie 2015 aveam un total de 1059 citari, H=17, i10=27.

Profilul Google Scholar Gherghescu <http://scholar.google.ro/citations?user=4ckbd0gAAAAJ&hl=en>



Director proiect: Dr. Radu A. Poenariu-Gherghescu