

# RAPORT STIINTIFIC

privind implementarea proiectului 42/05.10.2011 in perioada ianuarie – decembrie 2013

## Sisteme nucleare binare

Obiectivul etapei: *Corectii de imperechere si tensori de inertie in sisteme nucleare binare*

Obiectivul principal al proiectului este calculul perechilor optime tinta-proiectil pentru fuziunea sub-barierica. Aceste reactii urmeaza a fi utilizate in sinteza nucleelor supragrele. Reactia de fuziune sub-barierica, desi este produsa cu o sectiune eficace mai mica, are avantajul de a obtine un nucleu compus intr-o stare apropiata de starea fundamentala. In aceasta situatie se spera ca timpul de viata al nucleului sa fie mult mai mare decat cel obtinut in prezent prin reactii la energii mai inalte.

Nucleele supragrele pot fi stabile numai datorita corectiilor de paturi si imperechere. Energia macroscopica produce o bariera practic nula datorita repulsiei coulombiene puternice. In aceasta etapa a proiectului am calculat in prima parte corectiile de imperechere in cadrul unui model specializat pentru a trata microscopic procesele binare, modelul cu doua centre deformate. Corectiile de imperechere au fost obtinute prin rezolvarea sistemului Bardee-Cooper-Schrieffer (BCS) tipic pentru aflarea parametrilor caracteristici fenomenului de imperechere: nivelul de energie Fermi pentru o schema de nivele cu nucleoni imperecheati, si gap-ul de energie care apare cand protonii si neutronii sunt supusi acestei interactii reziduale. Corectia totala microscopica  $\delta E$  este suma corectiilor de paturi  $E_{shell}$  si imperechere  $\delta P$ :

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

unde corectia datorata imperecherii nucleonilor se calculeaza prin diferenta dintre suma nivelelor uniparticula cu interactia de imperechere introdusa si suma nivelelor uniparticula cu nucleoni liberi de aceasta interactie, din care se extrage o parte considerata ca energia de imperechere a distributiei uniforme de nivele  $\tilde{p}$ :

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

Energia datorata imperecherii nucleonilor,  $\delta p$  pentru nivele discrete de energie este:

$$p = \sum_{k=k_i}^{k_f} 2v_k^2 \epsilon_k - 2 \sum_{k=k_i}^{Z/2} \epsilon_k - \frac{\Delta^2}{G} \quad (3)$$

iar partea datorata distributiei continue de nivele  $\tilde{p}$ :

$$\tilde{p} = -(\tilde{g}\tilde{\Delta}^2)/2 = -(\tilde{g}_s\tilde{\Delta}^2)/4 \quad (4)$$

In comparatie cu corectia de paturi  $E_{shell}$ , corectia de imperechere este in antifaza si mai mica in valoare absoluta. In situatia in care nucleonii sunt imperecheati, acestia au o probabilitate de ocupare  $v_k^2$  si automat de neocupare  $u_k^2$  diferita de 1 pe fiecare nivel uniparticula. Aceste probabilitati depind de gap-ul de energie datorat imperecherii  $\Delta$  precum si de noul nivel Fermi  $\lambda$ :

$$v_k^2 = [1 - (\epsilon_k - \lambda)/E_k]/2 \quad (5)$$

$$u_k^2 = 1 - v_k^2 \quad (6)$$

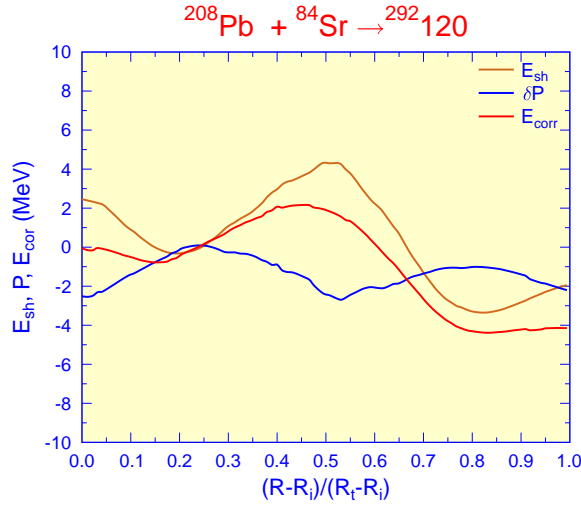


Figura 1: Corectiile de paturi si imperechere in sinteza nucleului supragreu  $^{292}120$  prin reactia de fuziune sub-barierica  $^{208}Pb + ^{84}Sr$ . Se observa antifaza intre corectia de paturi si imperechere.

Aceste marimi sunt fundamentale in calculul tensorului de inertie. Tensorul de masa este necesar abordarii dinamice a procesului, in obtinerea integralei actiunii, si implicit a parcursului de fuziune in spatiul de deformare al sistemului tinta-proiectil. Pentru a obtine componentele tensorului de masa se porneste de la expresia energiei cinetice generale a miscarii colective:

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i,j} B_{ij}(\vec{q}) \dot{q}_i \dot{q}_j \quad (7)$$

unde parametrii depind de structura discreta si starile excitate  $|m\rangle$ :

$$B_{ij} = 2\hbar^2 \sum_m \frac{\langle 0 | \partial / \partial q_i | m \rangle \langle m | \partial / \partial q_j | 0 \rangle}{E_m + E_0} \quad (8)$$

Cu presupunerea ca starile excitate sunt suprapuneri de doua quasiparticule  $|kk'\rangle$ , se obtine:

$$B_{ij} = 2\hbar^2 \sum_{kk'} \frac{\langle k' | \partial H_{DTCSM} / \partial q_i | k \rangle \langle k | \partial H_{DTCSM} / \partial q_j | k' \rangle}{(E_k + E_{k'})^3} (u_k v_{k'} + u_{k'} v_k)^2 + P_{ij} \quad (9)$$

Aici intervine caracterul binar specific acestui proiect: hamiltonianul uniparticula folosit,  $H_{DTCSM}$  este cel de doua centre deformatate potrivit proceselor binare. Parametrii de deformare in aceste calcule sunt: rapoartele semiaxelor celor doi elipsoizi,  $\chi_1 = b_1/a_1$  si  $\chi_2 = b_2/a_2$ , si distanta intre centre  $R$ . Corespunzator, operatorii dependenti de aceste variabile de deformare din hamiltonian sunt:

$$\frac{\partial H}{\partial \chi_1} = \frac{\partial V_1}{\partial \chi_1} = \frac{70.786}{vol_1^{2/3}} \left[ -\frac{2}{3} \chi_1^{-5/3} \rho^2 + \frac{4}{3} \chi_1^{1/3} (z + z_1)^2 \right] \quad (10)$$

$$\frac{\partial H}{\partial \chi_2} = \frac{\partial V_2}{\partial \chi_2} = \frac{70.786}{vol_2^{2/3}} \left[ -\frac{2}{3} \chi_2^{-5/3} \rho^2 + \frac{4}{3} \chi_2^{1/3} (z + z_1 - R)^2 \right] \quad (11)$$

$$\frac{\partial H}{\partial R} = \frac{\partial V_2}{\partial R} = -\frac{141.57}{vol_2^{2/3}} \chi_2^{4/3} (z + z_1 - R) \quad (12)$$

In final se obtin elementele tensorului de inertie cranking specific sistemelor binare ce caracterizeaza procesele de fuziune sub-barierica:

$$B_{\chi_1\chi_1} = 2\hbar^2 \sum_{kk'} \frac{\langle k' | \partial V_1 / \partial \chi_1 | k \rangle \langle k | \partial V_1 / \partial \chi_1 | k' \rangle}{(E_k + E_{k'})^3} (u_k v_{k'} + u_{k'} v_k)^2 + P_{kk'} \quad (13)$$

$$(14)$$

$$B_{\chi_1\chi_2} = 2\hbar^2 \sum_{kk'} \frac{\langle k' | \partial V_1 / \partial \chi_1 | k \rangle \langle k | \partial V_2 / \partial \chi_2 | k' \rangle}{(E_k + E_{k'})^3} (u_k v_{k'} + u_{k'} v_k)^2 + P_{kk'} \quad (15)$$

$$(16)$$

$$B_{\chi_1R} = 2\hbar^2 \sum_{kk'} \frac{\langle k' | \partial V_1 / \partial \chi_1 | k \rangle \langle k | \partial V_2 / \partial R | k' \rangle}{(E_k + E_{k'})^3} (u_k v_{k'} + u_{k'} v_k)^2 + P_{kk'} \quad (17)$$

$$(18)$$

$$B_{\chi_2\chi_2} = 2\hbar^2 \sum_{kk'} \frac{\langle k' | \partial V_2 / \partial \chi_2 | k \rangle \langle k | \partial V_2 / \partial \chi_2 | k' \rangle}{(E_k + E_{k'})^3} (u_k v_{k'} + u_{k'} v_k)^2 + P_{kk'} \quad (19)$$

$$(20)$$

$$B_{\chi_2R} = 2\hbar^2 \sum_{kk'} \frac{\langle k' | \partial V_2 / \partial \chi_2 | k \rangle \langle k | \partial V_2 / \partial R | k' \rangle}{(E_k + E_{k'})^3} (u_k v_{k'} + u_{k'} v_k)^2 + P_{kk'} \quad (21)$$

$$(22)$$

$$B_{RR} = 2\hbar^2 \sum_{kk'} \frac{\langle k' | \partial V_2 / \partial R | k \rangle \langle k | \partial V_2 / \partial R | k' \rangle}{(E_k + E_{k'})^3} (u_k v_{k'} + u_{k'} v_k)^2 + P_{kk'} \quad (23)$$

Tensorul de inertie se contracta acum pe directia variabilei distanta intre centre, si se obtine astfel masa inertiala totala  $B(R)$ :

$$B(R) = B_{\chi_1\chi_1} \left( \frac{\chi_1}{dR} \right)^2 + 2B_{\chi_1\chi_2} \frac{d\chi_1}{dR} \frac{d\chi_2}{dR} + 2B_{\chi_1R} \frac{d\chi_1}{dR} \quad (24)$$

$$B_{\chi_2\chi_2} \left( \frac{\chi_2}{dR} \right)^2 + 2B_{\chi_2R} \frac{d\chi_2}{dR} + B_{RR} \quad (25)$$

Aceasta valoare intra in formula finala a integralei actiunii:

$$K_{ov}(b_P, \kappa_T, \kappa_P; R) = \frac{2}{\hbar} \int_{(fus)} [2B(R)_{b_P, \kappa_T, \kappa_P} E_{def}(R)_{b_P, \kappa_T, \kappa_P}]^{1/2} dR \quad (26)$$

Penetrabilitatea totala in procesul de fuziune sub-bariarica este:

$$P = \exp(-K_{ov}) \quad (27)$$

In figura urmatoare este prezentata variatia tensorului total de inertie pentru canalul de fuziune sub-bariarica  $^{160}Yb + ^{132}Sn \rightarrow ^{292}120$ .

Calcululele vor continua cu extinderea asimetriei de masa in reactiile de fuziune analizate, precum si cu calculul sectiunii eficace de reactie.

## Publicatii in 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.
2. R. A. Gherghescu, D. N. Poenaru, Shell and pairing influence on sub-barrier nuclear fusion, Romanian Journal of Physics 58 (2013), 1178-1188.

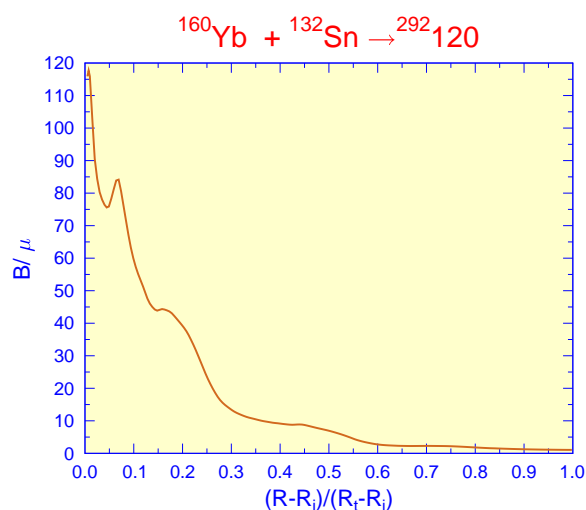


Figura 2: Tensorul de inertie total in functie de distanta normata dintre centre. Valoarea unui a distantei corespunde configuratiei de doi elipsoizi tangenti. Calculul s-a facut pentru sinteza nucleului supragreu  $^{292}\text{120}$  prin reactia de fuziune sub-barierica  $^{160}\text{Yb} + ^{132}\text{Sn}$ .

3. 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)

Director proiect: Dr. Radu A. Poenariu-Gherghescu