

Raport stiintific faza IDEI-42/05.10.2012

privind implementarea proiectului in perioada ianuarie – decembrie 2012

Influenta interactiei de imperechere in sisteme nucleare binare

Am aplicat metoda macroscopica-microscopica pentru a calcula energia de deformare si penetrabilitatea pentru configuratii nucleare binare tipice pentru procesele de fuziune. Am considerat forme elipsoidale ale partenerilor de reactie si ciocniri tip-to-tip. Spatiul de deformare este format din patru variabile independente: raportul semiaxelor nucleului tinta, raportul semiaxelor nucleului proiectil, semiaxa mica a proiectilului si distanta intre centrele celor doua nuclee. In acest spatiu am calculat corectiile de paturi, corectiile de imperechere (subiectul fazei) si partea de picatura de lichid incarcata (macroscopica). Configuratia este de doi elipsoizi intersectati, cu simetrie cilindrica.

Partea microscopica a energiei totale de deformare are ca punct de pornire hamiltonianul de doua centre potrivit sistemelor binare:

$$H = -(\hbar/2m)\Delta + V(\rho, z) + V(l_s) + V(l^*)$$

unde potentialele sunt binare si dependente de deformare:

$$V_T(\rho, z) = (1/2)m\omega_{\rho T}^2\rho^2 + (1/2)m\omega_{z T}^2(z+z_T)^2 \quad \text{tinta}$$
$$V_P(\rho, z) = (1/2)m\omega_{\rho P}^2\rho^2 + (1/2)m\omega_{z P}^2(z-z_P)^2, \quad \text{proiectil}$$

Fiecare din cele doua potentiale este centrat in mijlocul nucleului tinta, respectiv proiectil. Potentialele corespunzatoare interactiei spin-orbita depind de asemenea de deformatiile din regiunile celor doi parteneri de reactie. In urma diagonalizarii hamiltonianului am obtinut schemele de nivele corespunzatoare configuratiei de elipsoizi intersectati pentru diferite distante intre centre si toate deformatiile posibile ale celor doua fragmente. Secventa de nivele uniparticulare astfel obtinuta acopera regiunea incepand cu punctul de tangenta pana la suprapunerea totala a celor doi parteneri si obtinerea nucleului sintetizat. Nivelele uniparticulare sunt folosite apoi ca date de intrare pentru calculul corectiilor de paturi si imperechere. Algoritmul se repeta pentru protoni si neutroni separat si rezultatele se aduna. Corectiile de paturi au fost calculate prin metoda Strutinsky. Valoarea finala a acestei energii se obtine ca diferenta intre suma nivelelor uniparticulare obtinute in urma diagonalizarii hamiltonianului de doua centre deformat si energia corespunzatoare unei distributii uniforme:

$$\delta E_{\text{shell}} = \sum E_i - U$$

unde U este partea de energie corespunzatoare distributiei uniforme de nivele.

Pentru energia de imperechere am folosit metoda bazata pe rezolvarea ecuatiilor BCS, care se refera la conservarea numarului de particule si la ecuatia parametrului de gap. Parametrul de gap

Δ precum și nivelul Fermi corespunzător distribuției de energie cu interacția de imperechere introdusă în calcul, sunt obținute numeric din sistemul:

$$n' - n = \sum (\epsilon_k - \lambda) / [(\epsilon_k - \lambda)^2 + \Delta^2]^{1/2}$$

$$2/G = \sum 1 / [(\epsilon_k - \lambda)^2 + \Delta^2]^{1/2}$$

Ca o consecință a corelației de imperechere nivelele situate sub nivelul Fermi sunt doar parțial ocupate, iar cele situate deasupra nivelului Fermi sunt parțial goale. Probabilitatea de ocupare a fiecărui nivel cu particule supuse imperecherei este dată de:

$$v_k^2 = (1/2) [1 - (\epsilon_k - \lambda) / [(\epsilon_k - \lambda)^2 + \Delta^2]^{1/2}]$$

Doar nivelele din vecinătatea energiei Fermi (de ordinul câțiva MeV) sunt influențate de interacția de imperechere. Din acest motiv se alege un parametru de tăiere energetic de ordinul energiei gap-ului. Este de menționat caracterul binar al abordării prin introducerea nivelelor uniparticulare obținute cu modelul cu două centre. Acestea la rândul lor sunt date de intrare în calculul probabilității de ocupare a nivelelor cu interacția de imperechere considerată.

Corecțiile de paturi și imperechere se calculează separat pentru protoni și neutroni. Rezultatele se adună și am obținut astfel efectele microscopice ale procesului de fuziune pentru configurații nucleare binare specifice reacțiilor de sinteză.

Energia totală a fost calculată prin metoda Yukawa-plus-exponentială, specializată la procese binare. Partea coulombiană și cea de tensiune nucleară de suprafață sunt obținute în ipoteza unei picături de lichid deformate în geometria binară de doi elipsoizi intersectați. Energia totală este suma corecțiilor de paturi și imperechere și a energiei macroscopice. Suprafețele de potențial au fost obținute prin variația tuturor parametrilor de deformare cu condiția respectării deformărilor inițiale ale nucleelor tinta și proiectil, precum și a deformării finale a nucleului sintetizat.

Am aplicat metoda dezvoltată în această fază la sinteza nucleelor supragrele $^{294}_{118}$ și $^{290}_{118}$. Rezultatele sunt prezentate în cele două figuri de mai jos. Prin minimizarea integralei acțiunii am obținut canale de fuziune care urmează valea corespunzătoare minimei acțiunii. De menționat că energia de imperechere este în antifază cu corecțiile de paturi, deci un maxim al corecțiilor de paturi corespunde la un minim al imperecherei. Datorită acestui fapt efectele magicității protonice și/sau neutronice sunt diminuate de imperechere. Se observă în figura 1 două canale de fuziune favorizate de vâi de energie pe suprafața formată de parametrii de deformare binari. În sinteza nucleului supragreu $^{294}_{118}$ am obținut canalul staniului, care profita de magicitatea protonică $Z=50$, dar și canalul quasi-simetric al Ce. Barierele de fuziune au fost obținute în urma minimizării integralei acțiunii în spațiul multidimensional al deformărilor binare. Penetrabilitățile au fost calculate prin tunelare WKB. Am obținut astfel valori ale logaritmului penetrabilității de ordinul -7.5. Valorile energiei de imperechere pentru procesele binare studiate au fost de maxim 6 MeV în valoare absolută pe parcursul traseului de fuziune. Este totuși de menționat că vâile de energie obținute sunt și rezultatul comportării părții macroscopice, care favorizează (la valori minime) configurațiile simetrice. Acest fapt se datorează energiei coulombiene care crește foarte mult odată cu asimetria de masă și cu deformarea de la formele sferice. Este important de menționat că scopul principal al proiectului constă în a obține posibile reacții de sinteză sub-barierice. Aceste reacții scad foarte mult secțiunea eficace de sinteză față de cele cu energie mai mare, peste bariera coulombiană. Cu toate acestea reacțiile sub-barierice prezintă avantajul de a obține

nucleul final sintetizat intr-o stare mult mai stabila, aproape de starea fundamentala. In acest fel se spera la un timp de viata mai lung al nucleului final fata de dezintegrarea alfa.

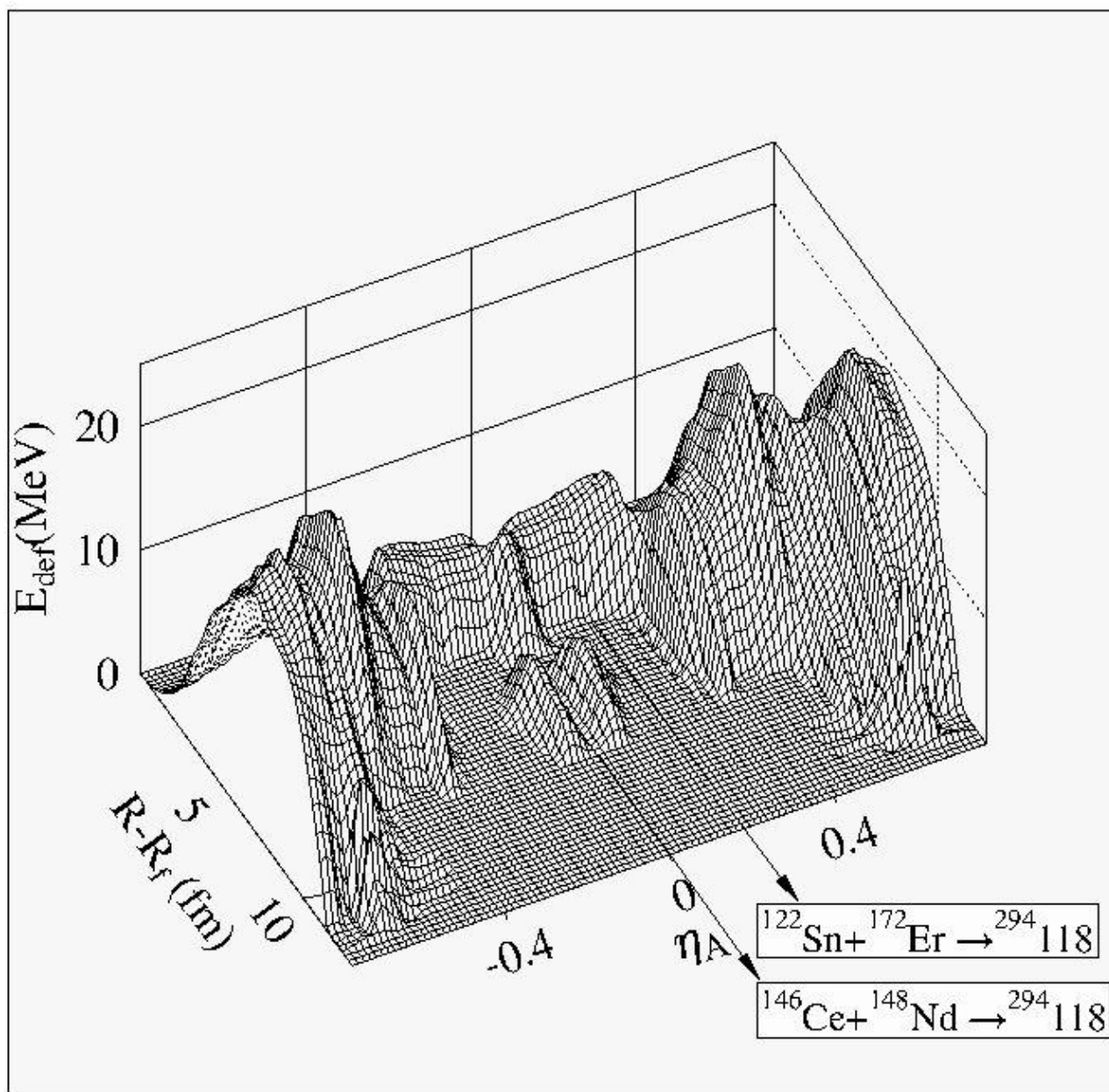


Figura 1

Al doilea nucleu supragreu studiat este $^{290}_{118}$. Suprafata de potential obtinuta cu introducerea corectiilor de paturi si imperechere este prezentata in figura 2. Au fost obtinute, ca urmare a minimizarii integralei actiunii doua canale energetic favorabile: al $^{120}_{50}\text{Cd}$ si $^{140}_{60}\text{Nd}$. Penetrabilitatile in acest caz sunt mai mari, barierele de fuziune fiind coborate. Valorile obtinute sunt in jur de -5.5, in scara logaritmica. De mentionat si in acest caz influenta efectelor de paturi, in cazul Cd, Z=48, vecin al numarului magic 50.

In paralel au fost facute calcule de dezintegrare alfa, tot cu metoda WKB, folosind un model analitic de calcul al timpului de viata. Rezultatele obtinute in aceasta faza a proiectului au fost publicate in reviste cu factor ISI. Lista lor este atasata mai jos.

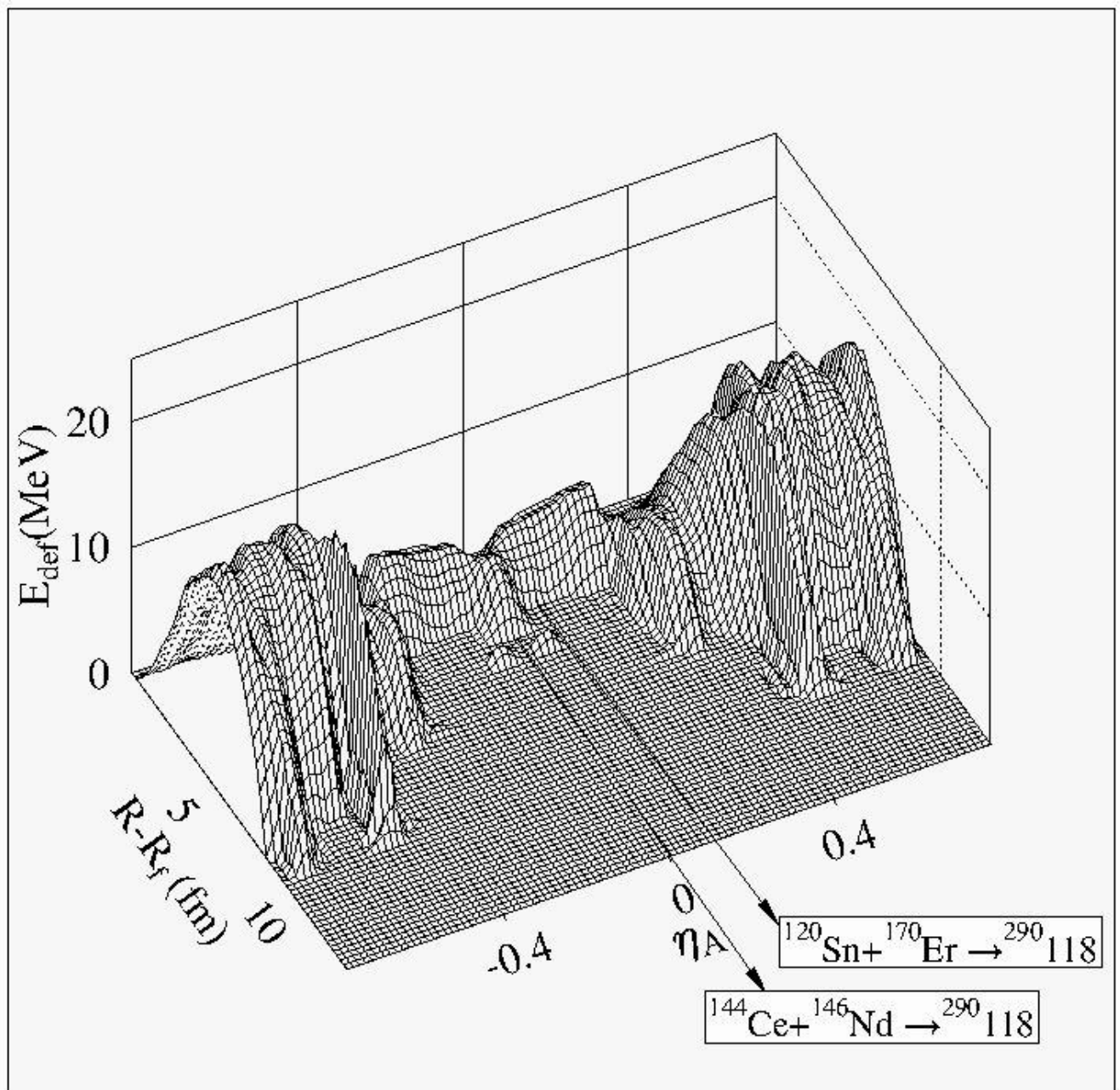


Figura 2

Referinte

1. D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, W. Greiner, Journal of Physics G 39, 015105 (2012).
2. D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, W. Greiner, Physical Review C 85: 034615 (2012).
3. D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, W. Greiner, International Journal of Modern Physics E, 21: 1250022 (2012).

