

## **Raport stiintific**

### *privind implementarea proiectului PN-II-ID-PCE-2011-3 intitulat Potentiale de Model Optic pentru Nuclee Exotice in Reactii Nucleare Astrofizice in perioada octombrie - decembrie 2011*

Titlul Raportului : **Descriere Consistenta a Fuziunii sub Bariera Coulomb**

Conducator de proiect si raportor : Dr.habil.-ing. Ş. Mişicu

#### 1. Consideratii introductive

Scopul principal al proiectului consta in obtinerea Potentialului de Model Optic (OMP) pentru diferite sisteme nucleare care interactioneaza la energii joase, specifice reactiilor astrofizice din stele. Printre reactiile pe care urmeaza sa le studiem se disting reactiile de captura alfa, reactii de fuziune la energii sub bariera Coulomb sau reactii de inlocuire a unui proton. In acest raport prezint rezultatele pentru fuziunea sub-bariera Coulomb pentru cateva sisteme de masa intermediara.

In perioada 2009-2011 au fost facute cunoscute date experimentale noi de fuziune la energii mult sub bariera Coulombiana de catre grupul de la Padova. In mod concret au fost re-masurate sectiunile de excitatie ale sistemelor  $^{48}\text{Ca} + ^{48}\text{Ca}$ ,  $^{48}\text{Ca} + ^{36}\text{S}$  si ulterior  $^{40}\text{Ca} + ^{40}\text{Ca}$ ,  $^{40}\text{Ca} + ^{48}\text{Ca}$ .

#### 2. Descriere Consistenta a Fuziunii sub Bariera Coulomb

Intr-o serie de lucrari precedente [1,2,3,4,5,6] impreuna cu colaboratori din S.U.A. am propus explicarea fenomenului de impiedicare (hindrance) in fuziune pentru mai multe sisteme nucleare mediu-usoare si mediu-grele. Ingredientul de baza in metoda adoptata consta in modificarea potentialului de ioni grei astfel incat, inainte de absorbtia reciproca a celor doua nucleee sa nu poata fi permisa o suprapunere masiva a distributilor de materie a tinteii si proiectilului.

In consecinta partea interna a barierei este modificata astfel incat in afara de componentele standard direct si de schimb ale potentialului optic real (in aproximatia cea mai simpla Feshbach), sa contina si o componenta de tip pseudo-potential puternic repulsiva.

Pentru calcularea functiilor de excitatie am folosit metoda canalelor cuplate (CC) cu conditii la frontiera specifice precum si structura nucleara (stari excitate vibrationale) a tinteii si proiectilului. Potentialul de ioni grei folosit in cadrul metodei CC a rezultat din calculul integralei de dublu folding, in forma noua pe care am propus-o in cadrul proiectului IDEI anterior (ID-696). Astfel termenul de schimb, in varianta knock-on, a fost estimat considerand aproximatia Perrey-Saxon pentru a localiza astfel miezul nelocal, iar contributiile de recul au fost incluse. Ca forte efective nucleon-nucleon am utilizat traditionala forta Michigan-3-Yukawa (M3Y) in cele doua parametrizari Paris si Reid, dar si interactia dependenta de densitate Gogny in trei parametrizari \\\

(D1,D1S,D1N), folosita in proiectul IDEI precedent pentru analiza reactiilor de interes astrofizic  $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ ,  $^{12}\text{C}+^{16}\text{O}$  and  $^{12}\text{C}+^{16}\text{O}$  [7]. Densitatile uni-particula, folosite ulterior in metoda de dublu-folding sunt obtinute in cadrul modelului de camp mediu Hartree-Fock-Bogoliubov sau din metoda Dezvoltarii Matricii Densitate (Density Matrix Expansion) a lui Negele.

In vara anului 2011, am publicat o analiza a reactiilor  $^{48}\text{Ca}+^{36}\text{S}$ ,  $^{48}\text{Ca}$ ,  $^{96}\text{Zr}$  [8] si am obtinut un acord foarte bun cu experimentul [9,10,11] pe baza modelului de canale cuplate.

Reactia  $^{40}\text{Ca}+^{40}\text{Ca}$  a fost recent reinvestigata la Legnaro, reusindu-se masurarea unor sectiuni de reactie foarte joase, de ordinul microbarnilor. In lucrarea [12], recent publicata (28 Noiembrie 2011), am analizat aceasta reactie in formalismul canalelelor cuplate prin includerea a starilor de doi fononi pentru starile cuadrupolara  $2+$  si octupolara  $3-$  si respectiv de un fonon pentru starea  $5-$ . Folosind aproximatia referentialului in rotatie am inclus 17 canale in schema de canale cuplate. Ca forte efective nucleon-nucleon in procedura de dublu-folding am utilizat forta M3Y-Paris si Gogny-D1N. Parametrii de deformare au fost extrasi din compilatiile din literatura pentru probabilitatile de tranzitie  $B(E\lambda)$  pentru cele trei multipolaritati  $\lambda=2,3,5$ . In Fig.1 comparam sectiunile calculate in analiza noastra cu datele experimentale din ref.[13]

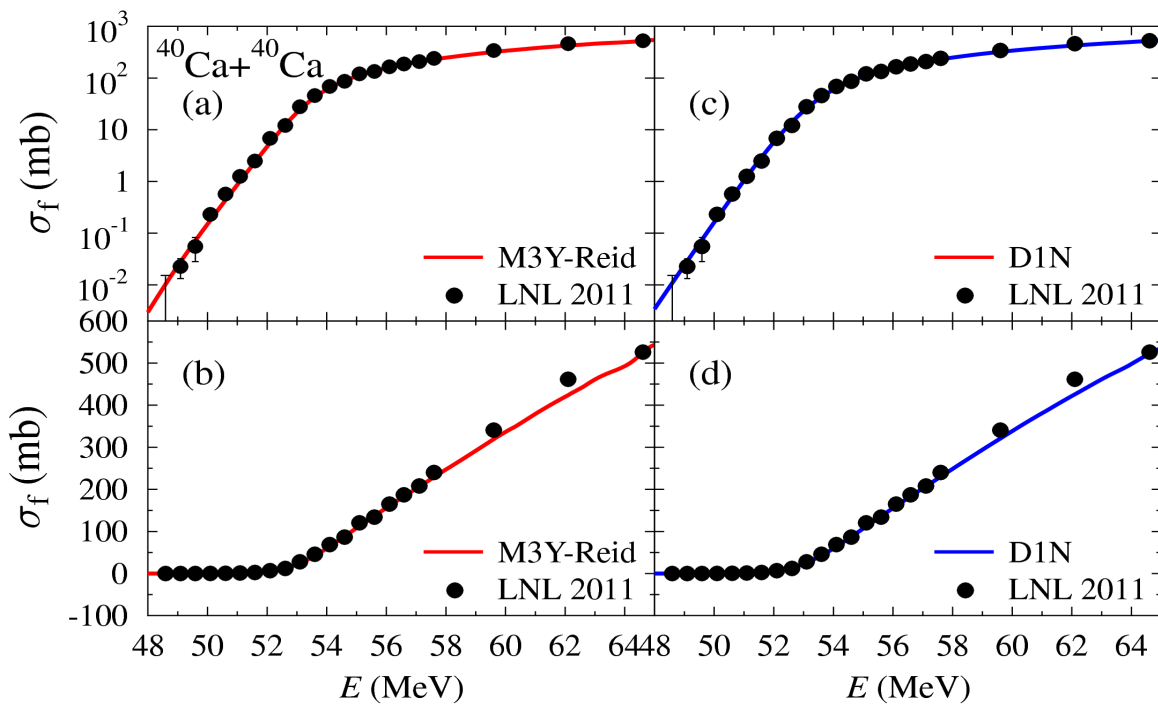
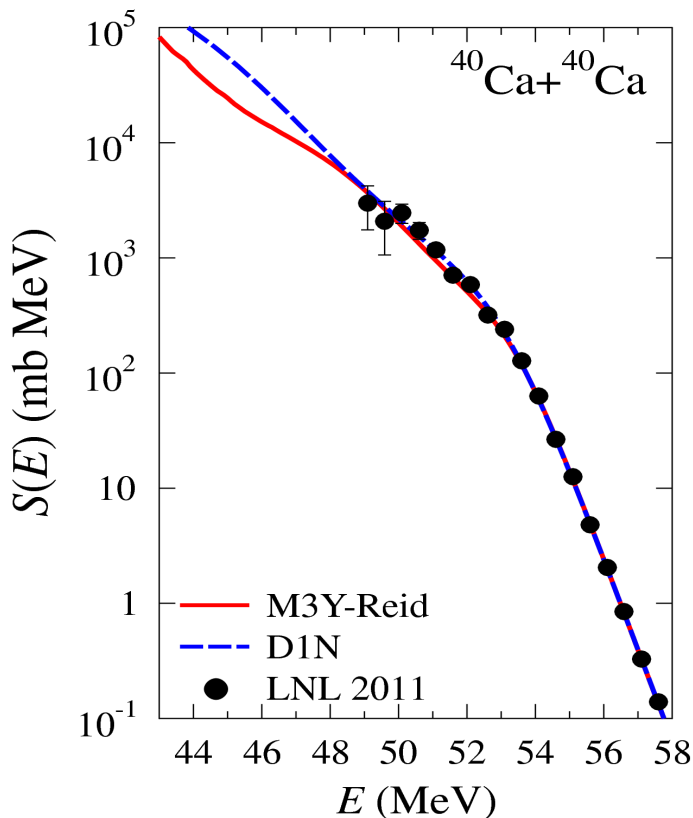


Fig.1

Un mod avantajos de a ilustra comportarea sectiunii de fuziune  $\sigma_f$  la energiile joase este reprezentat de graficul factorului astrofizic  $S(E)=E \sigma_f \exp(\eta-\eta_0)$  in scara logaritmica, unde  $\eta=Z_1Z_2e^2/\hbar v$  este parametru Sommerfeld iar  $\eta_0$  este valoarea lui  $\eta$  la o energie referinta fixata. Factorul astrofizic calculat cu cele doua interactii este prezentat in Fig.2. Așa cum se observa factorul astrofizic continua sa creasca sub energia ultimei sectiuni masurate si prin urmare nu se poate intrevadea un posibil maxim așa cum s-a speculat anterior in lucrarea grupului de la Legnaro [13].

Derivata logaritmică,  $L(E)=d \ln(E \sigma_f)/dE$ , așa cum se poate deduce din Fig.3 nu diverge în mod clar la cea mai de jos energie măsurată. Ultimele două puncte experimentale deviază de la comportarea netedă a lui  $L$  însă curbele teoretice, corespunzătoare celor două interacții, par să prezente un platou la energii joase. În acest context excludem posibilitatea ca intensitatea fononului octupolar să determine iregularitățile observate în dispunerea punctelor experimentale, așa cum s-a speculat recent în literatură. Am verificat această ipoteză și în consecință am efectuat un studiu cu scopul de a separa dependența lui  $L$  numai de intensitatea fononului octupolar. O valoare mare a lui  $\beta_3$  determină mai ales o creștere netedă a secțiunii fără a produce iregularități în regiunea extrem subbarierică.



În concluzie la energii foarte joase reacția de fuziune  $^{40}\text{Ca}+^{40}\text{Ca}$  are o descreștere mai rapidă decât cea care s-ar fi putut deduce din extrapolarea datelor experimentale mai vechi și prin urmare modelul dinamic folosit în această etapă confirmă această comportare așa cum anterior s-a stabilit pentru sistemele simetrice  $^{58}\text{Ni}+^{58}\text{Ni}$  și  $^{64}\text{Ni}+^{64}\text{Ni}$  [1] și mai târziu pentru sistemele asimetrice  $^{28}\text{Si}+^{64}\text{Ni}$  [4],  $^{100}\text{Mo}+^{64}\text{Ni}$  [2],  $^{16}\text{O}+^{208}\text{Pb}$  [3],  $^{28}\text{Si}+^{30}\text{Si}$  [5],  $^{48}\text{Ca}+^{36}\text{S}$ ,  $^{48}\text{Ca}+^{96}\text{Zr}$  [8]. Analiza pe care am efectuat-o în [8,9] exclude apariția unui maximum al funcției  $S$  în imediata vecinătate a ultimului punct experimental.

Fig.2

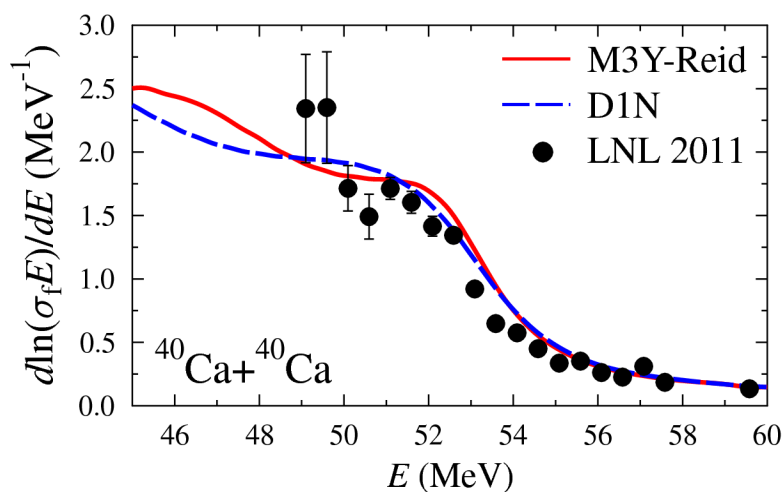


Fig.3

### 3. Bibliografie

- [1] Ş. Mişicu and H. Esbensen, Phys.Rev.Lett. 96, 112701 (2006).
- [2] Ş. Mişicu and H. Esbensen, Phys.Rev. C 75, 034606 (2006).
- [3] H. Esbensen and Ş. Mişicu, Phys.Rev. C 76, 054609 (2007).
- [4] C. L. Jiang et. al., Phys.Lett.B 640, 18 (2006).
- [5] C. L. Jiang et. al., Phys.Rev. C 78 (2008) 017601.
- [6] C. L. Jiang et. al., Phys.Rev.Lett. 89 (2002) 05270.
- [7] Ş. Mişicu and F. Carstoiu, Nucl.Phys.A 834 (2010) 180c.
- [8] Ş. Mişicu and F. Carstoiu, [Consistent description of hindrance in sub-barrier fusion of  \$^{48}\text{Ca}\$  with  \$^{36}\text{S}\$ ,  \$^{48}\text{Ca}\$ , and  \$^{96}\text{Zr}\$](#) , Phys.Rev.C 83, 054622 (2011).
- [9] A. M. Stefanini et al., Phys.Rev. C 78, 044607 (2008).
- [10] A. M. Stefanini et al., Phys.Lett.B 679, 95 (2009).
- [11] A. M. Stefanini et al., Phys.Rev. C 73, 034606 (2006).
- [12] Ş. Mişicu and F. Carstoiu, [Absence of a maximum in the S factor at deep sub-barrier energies in the fusion reaction  \$^{40}\text{Ca}+^{40}\text{Ca}\$](#) , Phys.Rev.C 84, 051601(R) (2011).
- [13] G. Montagnoli and A. M. Stefanini, EPJ Web.Conf. 17, 05001 (2011).

Director proiect,

\_\_\_\_\_

