

Raport stiintific sintetic

privind implementarea proiectului in perioada octombrie 2011- decembrie 2013

1. Analiza influentei clusterizarii alfa asupra tranzitiilor electromagnetice si alfa in ^{212}Po

Am analizat influenta componentei de cluster alfa din functia de unda uni-particula asupra tranzitiilor electromagnetice de tip E1 si E2 ca si asupra tranzitiilor alfa intre starile fundamentale din nucleul de ^{212}Po , unde au fost recent detectate tranzitii puternice de tip E1. Am propus descrierea microscopica a acestui tip de stari de forma 3p-1h (3 particule-1 gaura):

$$|^{212}\text{Po}(I^-)\rangle = |[^{210}\text{Pb}(J^+) \otimes ^{210}\text{Pb}(3^-)]_{I^-} \otimes ^{210}\text{Po}(gs)\rangle$$

unde starile J^+ sunt de paritate naturala, in timp ce excitatia colectiva 3^- este data de o excitatia standard de tip 1p-1h (particula-gaura). Starile uniparticula apartin paturilor majore $N=4, 5$ pentru protoni si $N=5, 6$ pentru neutroni. In acest scop s-a folosit un camp mediu Woods-Saxon cu parametrizare Walborn-Blomqvist. Am introdus, in plus fata de componenta standard de model in paturi (SM), o componenta de cluster in fiecare functie de unda uniparticula de moment unghiular l :

$$\psi_l(r) = \psi_l^{(SM)}(r) + \psi_l^{(clus)}(r)$$

In acest mod, tranzitiile electromagnetice sunt amplificate, intrucat sunt proportionale cu numarului cuantic principal N , care are o valoare mare. Considerand aceeasi amplitudine a componentei de uniparticula ca si in cazul tranzitiilor electromagnetice, $N_l^{(clus)}=0.3$, s-au obtinut valori ale tranzitiilor electromagnetice E1 si E2 ca si ale tranzitiilor alfa in concordanta cu valorile experimentale. *Aceste rezultate, relativ la descrierea corecta si simultana a tranzitiilor electromagnetice si alfa prin considerarea unui termen de clusterizare, sunt argumente puternice in favoarea existentei acestui termen pe suprafata nucleara in nucleul ^{212}Po .*

2. Descrierea proceselor de emisie ternara in cadrul dinamicii de 3 corpuri

Procesele de emisie ternara se refera la emisia simultana a trei fragmente, ca spre exemplu in fisiunea ternara sau dezintegrarea biprotonica. Scopul nostru este de a descrie emisia biprotonica in cadrul unui formalism diferit de metoda coordonatelor hipersferice. Problema are o importanta deosebita deoarece vom arata ca timpul de viata este foarte sensibil fata de taria interactiei intre cei doi protoni, deci emisia biprotonica se constituie in metoda de determinare a interactiei nucleare. Am considerat o interactie biprotonica nucleara de tip gaussian plus o una Culombiana repulsiva, care depind de raza interprotonica

$$v(r_{12}) = -v_0 e^{-(r_{12}/r_0)^2} + V_C(e^2, r_0, r_{12})$$

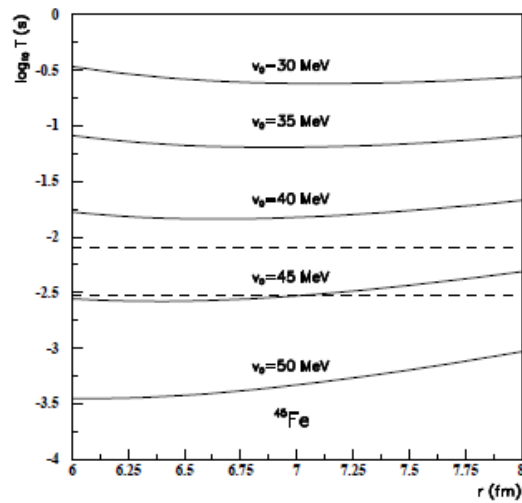
Prin introducerea coordonatelor polare (r, φ) , problema se poate rezolva prin impunerea unor conditii la limita pentru fiecare moment unghiular l , date de produsul a doua unde sferice Culombiene care descriu miscarea libera a celor doi protoni. Solutia radiala generala este data de superpozitia solutiilor care au drept asimptotica aceste produse care descriu miscarea libera a protonilor, functie de coeficientii N_l care se numesc amplitudini de imprastiere. Acestia definesc largimea partiala de dezintegrare conform relatiei

$$\Gamma(\varphi) = (\sin\varphi + \cos\varphi)\hbar v \sum_l |N_l|^2$$

Largimea totala de dezintegrare este data de integrarea dupa unghi

$$\Gamma = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/2} \Gamma(\varphi)$$

Drept conditie initiala pe suprafata nucleara am folosit functia de unda biprotonica calculata in cadrul aproximatiei interactiei reziduale de imperechere a protonilor, data de metoda BCS. In calitate de camp mediu s-a utilizat potentialul Wood-Saxon plus cel Culombian. Calculele au fost efectuate pentru nucleul ^{45}Fe care a fost identificat drept emitator biprotonic. S-a folosit pentru parametrul de gap valoarea data de relatia empirica generala $\Delta=12A^{-1/2}$ intrucat in acest caz nu se cunoaste energia de legatura.



Timpul de viata experimental a fost reprodus pentru o tarie a interactiei biprotonice din intervalul [42,45] MeV, folosind pentru parametrul radial valoarea standard $r_0=2$ fm. Acest rezultat demonstreaza faptul ca timpul de viata fata de emisia biprotonica este un instrument pretios de determinare a parametrilor interactiei nucleare.

3. Studiul corelațiilor nucleare în nuclee exotice cu ajutorul emisiei bi-protonice

Alt obiectiv a constat în investigarea modului în care parametrii interacției nucleare dintre doi protoni se modifică în interiorul nucleului datorită corelațiilor de împerechere. Am considerat în exterior o interacție nucleară de tip gaussian plus una Culombiană repulsivă, care depind de raza interprotonica r_{12}

$$v(r_{12}) = -v_0 e^{-(r_{12}/r_0)^2} + V_C(e^2, r_0, r_{12})$$

unde V_C este potentialul Culombian, iar valorile parametrilor in spațiul liber sunt: $v_0=35$ MeV, $r_0=2$ fm. Corelațiile induse de interacția de împerechere sunt definite de lărgimea de coerență

$$\xi(R) = \frac{\left(\int r^4 |\kappa(R, r)|^2 dr \right)^{1/2}}{\left(\int r^2 |\kappa(R, r)|^2 dr \right)^{1/2}}$$

unde κ este densitatea de împerechere, care este definită de produsul funcțiilor de undă a protonilor înmulțit cu amplitudinile BCS, uv , care depinde de raza centrului de masă R a sistemului de doi protoni [7]. Am investigat această cantitate pentru emiterul bi-protonic ^{45}Fe . In interiorul nucleului funcția de integrat este centrată în jurul valorii de 7 fm, în timp ce în exterior în jurul valorii de 2 fm, care corespunde razei interacției gaussiene (2.1) r_0 din spațiul liber. În acest mod, corelațiile nucleare de împerechere în interiorul materiei nucleare conduc la o creștere a lungimii de coerență a interacției bi-protonice, deci a parametrului r_0 care definește interacția bi-protonică. Impunând condiția de self-consistență a ecuațiilor BCS și anume ca valoarea medie a lărgimii de coerență să fie egală cu parametrul de interacție în materia nucleară

$$\langle \xi \rangle = r_0^{(\text{int})}$$

se obțin valorile: $r_0^{(int)} \approx 3r_0$, $v_0^{(int)} \approx v_0/4$. Calculul emisiei de doi protoni indică faptul că valoarea experimentală a timpului de viață este într-adevăr reprodusă de valorile experimentale ale interacției bi-protonice $v_0=35$ MeV, $r_0=2$ fm.

4. Generalizarea metodei matricii G in calculul interacției de imperechere in sisteme deformate si hiperdeformate

Condiția necesară pentru a face predicții relevante în cazul sistemelor nucleare exotice constă în utilizarea unui potențial de interacție efectiv dedus în mod consistent din potențialele realiste „bare” existente. În cazul de față, utilizăm potențialul nucleon-nucleon Paris, în forma separabilă. Potențialul efectiv de imperechere la energii joase, scris tot în forma separabilă, a fost determinat rezolvând ecuația Bethe-Goldstone de renormalizare, în baza de unde plane. Am suprapus interacția reziduală efectivă de imperechere astfel obținută peste un potențial Woods-Saxon deformat, scris în sistemul de coordonate intrinseci. Lucrând în cadrul aproximației BCS, se obțin ecuațiile pentru gap și pentru numărul mediu de particule. Pentru a lua în considerare contribuțiile stărilor din continuum, rescriem dezvoltarea, înlocuind suma după stări discrete cu o sumă după stările legate și o integrală peste stările cu energii pozitive, ponderată cu densitatea de stări totală pe fiecare canal c:

$$\sum_a \rightarrow \sum_{b < 0} + \sum_c \int d\epsilon g(\epsilon, c)$$

Contribuțiile principale la elementele de matrice sferice provin din intervalele energetice unde funcțiile de undă au localizare mare în zona nucleară, ceea ce se întâmplă în apropiere de rezonanțele înguste. Folosind aproximația separabilă a potențialului Paris, după fit-ul funcțiilor de undă sferice cu funcții de oscilator armonic, recuplarea de la reprezentarea jj la LS, și trecerea de la coordonate absolute la cele relative și ale centrului de masă obținem pentru elementele de matrice pe stări sferice expresia:

$$\langle \phi_{am} \phi_{b-m} | V_{pair} | \phi_{a'm'} \phi_{b'-m'} \rangle = \sum_{ij} \Lambda_{ij} \sum_A \mathcal{G}_i(a, b; A) \mathcal{G}_j(a', b'; A)$$

unde $A=(N, J)$, N fiind numărul cuantic radial asociat centrului de masă, iar J ia valori în intervalul comun de momente cinetice la care se pot cupla cele două stări din fiecare pereche. Coeficienții separabili sunt funcție de coeficienții Clebsch-Gordan, coeficienții de recuplare LS-JJ, coeficienții Talmi-Moshinsky, coeficienții fit-ului cu funcții de oscilator armonic și factorii de forma dați de integralele factorilor de forma ai potențialului Paris cu funcțiile de oscilator armonic. Considerăm ca exemplu de lucru nucleul ^{108}Ru . Variația în structura de nivele se reflectă în dependența gap-ului neutronic ca funcție de parametrul de deformare. În acest caz, valorile experimentale sunt $\beta=0.28$, $\Delta_n=1.23$ MeV. Se obține astfel o concordanță cu valorile experimentale. Contribuțiile relevante provin de la factorii cu $J=0$ și 2, ca urmare considerăm doar elementele de matrice între stări sferice cu aceleași momente cinetice l, j .

5. Investigarea proprietăților de clusterizare alfa în nuclee grele și supragrele

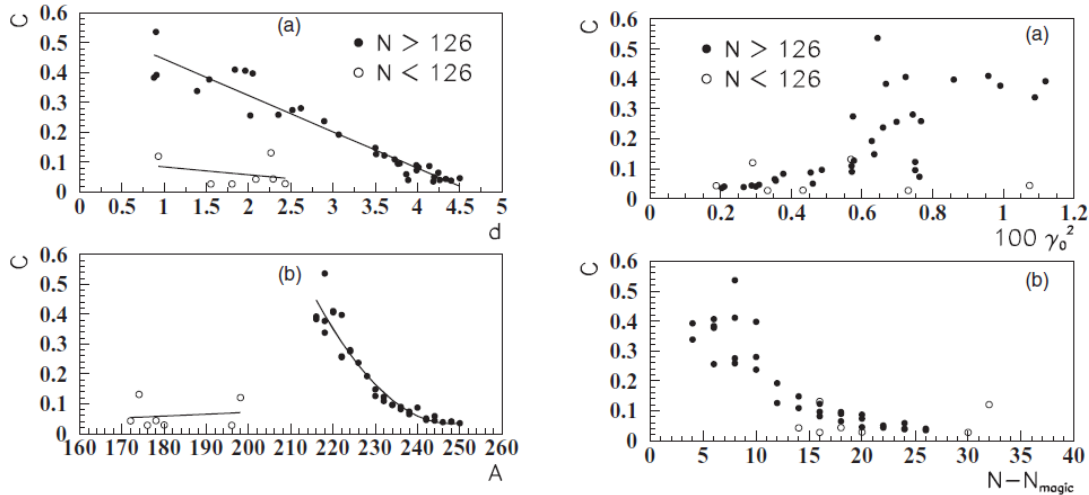
Alt obiectiv a constat în studiul gradului de clusterizare alfa, adică a probabilității de formare a particulelor alfa pe suprafața nucleului. Am corelat această analiză cu structura nucleelor implicate, investigând nivelele de joasă energie în nuclee par-pare în cadrul modelului stărilor coerente (CSM). Banda fundamentală este descrisă de o stare coerentă proiectată la moment cinetic J . Următorul pas a constat în descrierea tranzițiilor alfa pe stările descrise mai sus, utilizând pentru sistemul alfa-miez un Hamiltonian care cuprinde un termen sferic având minimumul pe suprafața nucleară R_{min} și unul de tip cuadrupol-cuadrupol

$$V(b_2, \mathbf{R}) = V_0(R) + V_2(b_2, \mathbf{R})$$

Drept funcție de undă s-a utilizat cuplajul dintre funcția CSM, care descrie miezul, cu armonica sferică Y_{lm} , care descrie particula alfa, la moment cinetic nul, corespunzând nucleului părinte. CSM prezice următoarea comportare a parametrului efectiv de cuplaj alfa-miez, funcție de parametrul de deformare d

$$C(d) = C_0 \left(1 - \sqrt{\frac{2}{7}} a_\alpha d \right)$$

Utilizând valorile parametrului de deformare d prezise de analiza structurii nucleelor fiică, s-a obținut într-adevăr o comportare apropiată de cea prezisă, după cum se poate vedea din graficul de mai jos, panelul din stânga (a). Parametrul de cuplaj C_0 a fost determinat prin reproducerea lărgimii de dezintegrare pe nivelul $J=2$. In panelul din stanga (b) s-a reprezentat dependența parametrului de cuplaj $C(d)$ funcție de numărul de masă.

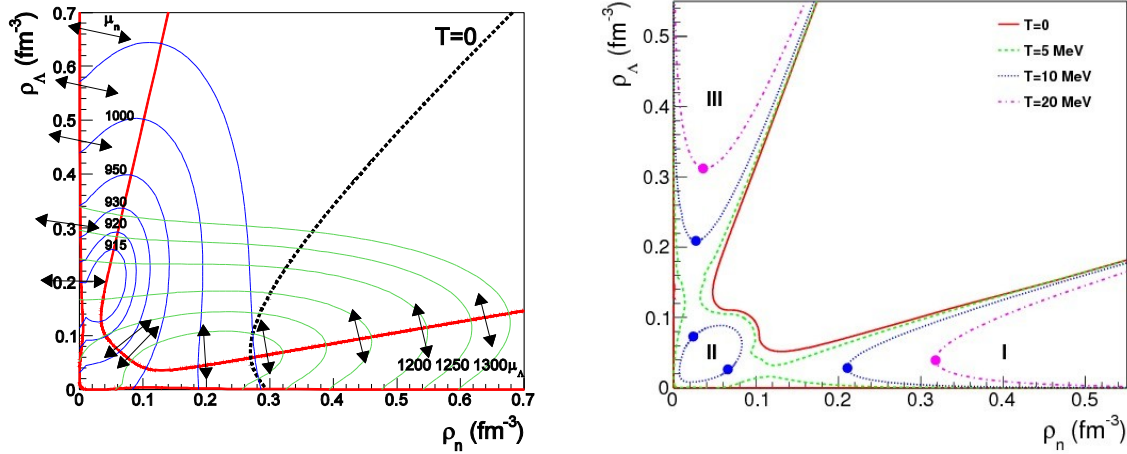


Interesant este faptul că acest cuplaj este direct proporțional cu lărgimea redusă de dezintegrare alfa pe starea fundamentală cu $J=0$, definită de raportul dintre lărgimea de dezintegrare și penetrabilitate. Aceasta este proporțională cu probabilitatea de formare a particulei alfa pe suprafața nucleului, după cum se poate vedea din graficul de mai sus dreapta (a). *În acest mod, am arătat că tăria interacției dintre miez și particula alfa este proporțională cu gradul de clusterizare alfa, care descrește o dată cu depărtarea de numărul neutronic magic, cum se observă în panelul din partea dreaptă (b).*

6. In-echivalenta ansamblurilor statistice in cazul materiei barionice stelare

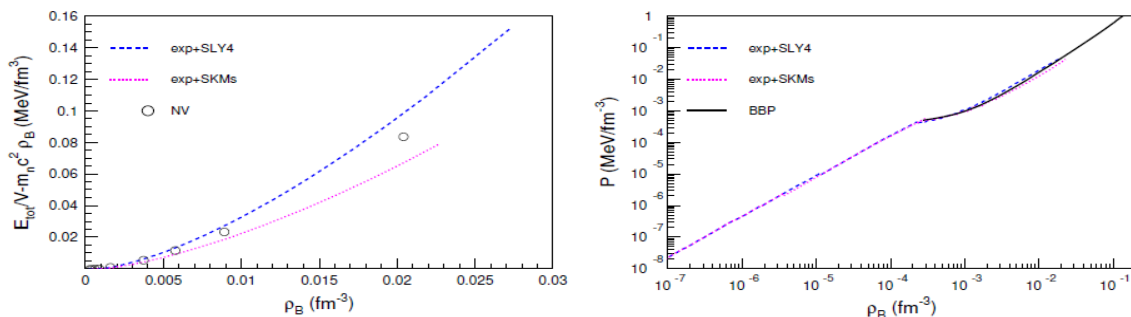
Daca indeobste se accepta faptul ca in interiorul stelelor neutronice poate exista materie stranie sau de cuarci, subiectul ramine, totusi, controversat. In ceea ce priveste hadronii, prezenta lor este in primul rind sustinuta de argumente energetice : principiul Pauli face sa fie mai convenabila popularea speciilor masive aflate in stari joase de impuls decit a speciilor usoare in stari de impuls inalt. Odata acceptata existenta hiperonilor, ne confruntam cu o modificarea a ecuatiei de stare in sensul unei evolutii mai lente a presiunii cu densitatea. Aceasta face ca masa maxima a unei stele neutronice obtinute rezolvind ecuatiea Tolman-Oppenheimer-Volkov cu luarea in considerare a gradelor de libertate stranii sa fie mai mica decit cea masurata astronomic, de aproape doua mase solare. Pentru a vedea daca si in ce conditii materia barionica comprimata prezinta o tranzitie de faza, eventual de alta natura decit cea lichid-gaz avind densitatea totala ca parametru de ordine, am studiat un sistem bi-component neutron + hiperon lambda in cadrul unui model de cimp mediu si interactii efective preluate din literatura (Balberg si Gal, Nuclear Physics A, 1995). Pentru inceput am identificat posibile domenii de instabilitate spinodala analizind spectrul de valori proprii ale matricii de curbura in domeniile de densitate neutronica si hiperonica cuprins intre 0 si 1 fm^{-3} . Au fost indentificate doua tipuri de domenii : a) in care ambele valori proprii sint pozitive, ceea ce inseamna ca sistemul este stabil, b) doar o valoare proprie este negativa, ceea ce inseamna sa sistemul este instabil la separarea de faze iar directia de separare este uni-dimensională. Figura alaturata ilustreaza domeniul de densitati uniparticula caracterizat de o valoare negativa a matricii de curbura impreuna cu directiile vectorilor proprii pentru temperatura nula. Sint de remarcate doua aspecte : a) domeniul este compact si nelimitat superior, b) pot fi identificate 3 zone distincte, in functie de directia de separare : la densitati inferioare celei de saturatie, vectorul conjugat valorii proprii negative este paralel cu densitatea totala, ceea ce inseamna ca ne confruntam cu o situatie similara tranzitiei lichid-gaz din materia nucleara

diluata. La densitati de supra-saturatie si excedent de neutroni, directia de separare e dominata de densitatea stranie, ceea ce ar corespunde unei noi tranzitii de faza avind stranietatea ca parametru de ordine. In domeniul simetric excedentar in hiperoni, separarea tinde sa se faca dupa densitatea non-stranie, ceea ce reprezinta, din nou, o situatie inedita. Ceea ce este inca si mai interesant este ca tranzitia stranie poate fi populata in materia stelara, dupa cum indica traiectoria de echilibru de stranietate figurata cu linie groasa punctata in figura de mai jos din stanga.



7. Derivarea unei noi ecuatii de stare pentru materia stelara cu comportare neteda pentru tot domeniul de validitate

A fost dezvoltat un formalism ce permite descrierea unitara si coerenta a compozitiei si energeticii materiei nucleare cu densitati inferioare densitatii de saturatie la temperaturi nule si finite. Rezultatele acestui model original au fost comparate cu predictiile a mai multor modele celebre in literatura de specialitate. Pentru a testa sensibilitatea fata de proprietatile interactiei nucleon-nucleon, am considerat diverse potentiale efective. Ca in orice aplicatie de temperatura finita cu observabile extensive fixate, starea de echilibru se obtine prin minimizarea energiei libere. unde s-au introdus, in plus fata de ingredientele deja comentate, contributia energiei cinetice de translatie a clusterului si contributia energie de excitatie. Ca si in cazul temperaturii nule, valorile de echilibru ale tuturor observabilelor se obtin prin derivare partiala. Setul de ecuatii astfel obtinut este prezentat in raportul detaliat. Predictiile in ceea ce priveste compozitia crustei corespunzind temperaturilor de 500 keV si 1 MeV sint prezentate in raportul detaliat. O data determinata compozitia, calculul oricarei observabile termodinamice (energie barionica, energie totala, entropie, presiune, potential chimic de neutroni si protoni, etc.) este imediat. Figura de mai jos reprezinta doua astfel de exemple: al energiei totale si al presiunii totale. Aceasta alegere nu este intimplatoare ci datorata faptului ca acestea sint unicele marimi ce determina relatia dintre masa si raza unei stele neutronice si pot constitui, deci, constrangeri observationale. Rezultatele corespund temperaturii nule si cazului in care energiile experimentale de legatura ale nucleelor sint suplimentate cu predictiile modelului propus de Danielewicz si Lee. Ca si in cazul compozitiei, este de remarcat sensibilitatea fata de EOS nucleonica. Este de remarcat forma convexa a_{tot}/ρ_B pentru potential chimic leptonic nul, i.e. echilibru beta. Acest lucru denota stabilitate fata de separarea in faze si se deosebeste de comportamentul materiei nucleare diluate care, pe un domeniu larg de densitati, este instabila. Stabilizarea materiei stelare fata de cea a materiei nucleare este consecinta gazului, practic incompresibil, de electroni.



8. Calculul barierelor de fisiune in cadrul modelului in paturi cu doua centre prin utilizarea unei interactii de pairing realiste

Interactia de impechere (pairing) joaca un rol important in calculul barierei de fisiune. In acest raport am investigat o interactie de impechere realista de tip gaussian intre nucleoni

$$v(r_{12}) = v_0 \exp\left(-\frac{r_{12}}{r_0}\right)$$

unde $v_0 = 35$ MeV si $r_0 = 2$ fm sunt parametri determinati experimental in canalul de singlet de experimente de imprastiere, iar $r_{12}=r_1-r_2$ este distanta dintre punctele r_1 si r_2 . Parametrul de gap a fost calculat in aproximatia Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS) cu taria interactiei G_{ij} dependenta de starile i si j corelata cu conditia fixarii numarului de particule N_p . Probabilitatea de ocupare a starii i este data de relatia standard. Valoarea medie a energie de gap a intregului sistem este definita astfel

$$\bar{\Delta} = \frac{\sum_i u_i v_i \Delta_i}{\sum_i u_i v_i}$$

Am determinat modul in care se comporta gap-ul de impechere mediu si energia Fermi in cazul procesului de fisiune a ^{234}U . Pentru a obtine calea de dezintegrare optima, am utilizat principiul minimei actiuni in cadrul modelului cu doua centre. In urma minimizarii functionalei actiunii a fost obtinuta bariera de fisiune reprezentata functie de distanta dintre centrele fragmentelor R . Cu ajutorul modelului in paturi Woods-Saxon cu doua centre au fost calculate atat functiile de unda cat si energiile uniparticula de-a lungul traiectoriei de fisiune. Au fost rezolvate ecuatiile BCS, obtinandu-se gap-urile de impechere si energiile Fermi, atat pentru neutroni cat si pentru protoni. Energia Fermi este minima in zona starii fundamentale pentru $R=4.5$ fm si creste functie de distanta internuclear avand un maxim in zona celei de a doua bariere la $R=15$ fm. Se stie ca densitatea de nivele creste foarte mult in zona celei de a doua bariere, motiv pentru care efectele de paturi si impechere sunt foarte mici. Acest aspect reflecta faptul ca nucleul devine mai instabil in zona celei de a doua bariere. Crestera gap-urilor in zona de sciziune conduce la o stabilitate crescuta a nucleului parinte in zona celei de adoua bariere, avand un efect contrar celui dat de variatia energiei Fermi. Stabilitatea crescuta se datoreaza faptului ca un gap mare impiedica excitariile de cvaziparticula, deoarece energia cvaziparticulei este mai mare. Daca nu ar exista aceasta stabilizare data de impechere, nucleul ar trebui sa emita un numar foarte mare de neutroni de preciziune, avand in vedere ca energia Fermi se apropie de zero in zona celei de a doua bariere. Numarul mic de neutroni de preciziune obtinut experimental poate fi explicat si ca urmare a existentei interactiei de impechere realiste dependente de stare.

9. Sistemica lungimii de coerenta de pairing în nuclee

Am investigat lungimea de coerenta a interatiei de impechere în nuclee. Acest parametru caracterizeaza distanța de corelatie în nucleul atomic datorata unui anumit tip de interactie biparticula. Aceasta mărime este definita de relația următoare

$$\xi(R) = \sqrt{\int_0^\infty dr r^2 w(r, R)}$$

unde integrandul $w(r,R)$ este densitatea functiei de unda biparticula dependentă de raza relativa r și a centrului de masa R a sistemului, integrata fata de unghiul relativ. Functia biparticula a fost considerată în canalul dominant de singlet al interactiei de impechere tratata în aproximatia BCS incluzand atât starile discrete cât și rezonantele inguste din continuum.

În analiza noastră am considerat interactia nucleară biparticula de tip gaussian data în capitolul precedent, corespunzand mai multor valori ale parametrului radial r_0 :

- (a) parametrul standard de singlet (2 fm),
- (b) valoarea razei nucleare geometrice și
- (c) valoarea selfconsistenta.

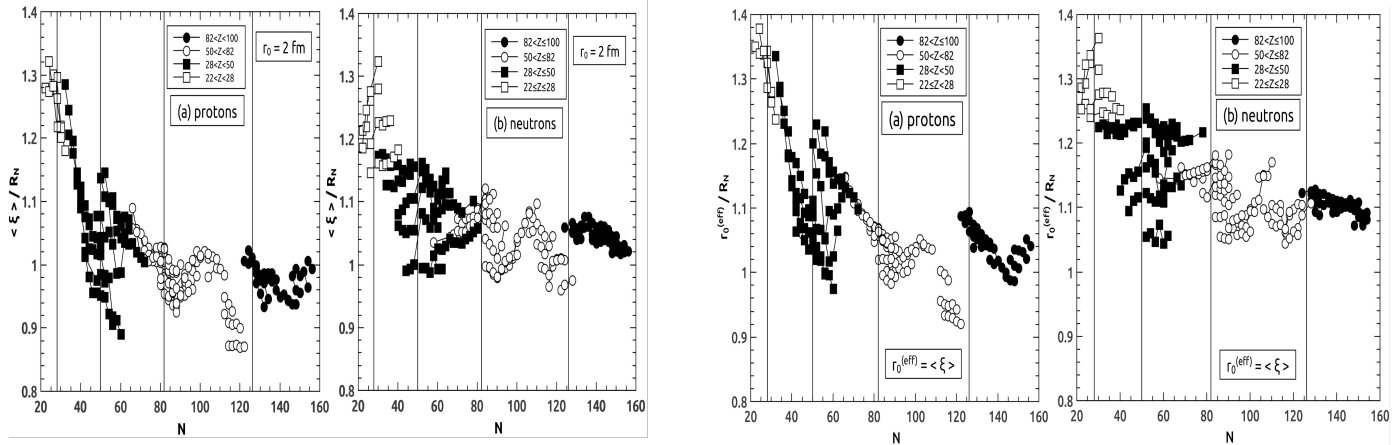
În aceasta ultima varianta am rezolvat ecuatiile BCS cu o conditie suplimentara în care am identificat lungimea de coerenta cu parametrul radial al interactiei gausiene. Aceasta presupunere este bazata pe

faptul ca valoarea lungimii de coerență în afara nucleului tinde la valoarea standard de singlet (a) iar în interiorul sau crește din cauza principiului de excluziune Pauli.

În analiza noastră am considerat lungimea de coerență data de densitatea anomala de imperechere.

În cazul (a) am obținut un rezultat remarcabil și anume ca pentru nucleele ușoare valoarea tarii interacției care reproduce valoarea experimentală a parametrului de gap este apropiată de valoarea din vacuum.

O altă concluzie importantă este data de sistematica corelației funcției de numărul de neutroni. Din figura de mai jos (stânga) rezulta ca pentru nucleele ușoare lungimea de corelație depășește raza geometrică a nucleului în timp ce pentru nucleele grele aceasta tinde la valoarea razei geometrice. Acest fapt este în concordanță cu ipoteza (b). O concluzie similară este data de procedura selfconsistentă (c), după cum se vede din figura din dreapta.



10. Sistematica proprietatilor de pairing in nuclee prin utilizarea matricii G

Au fost investigate proprietatile nucleare de imperechere pornind de la potențialul de interacție realist de tip Paris descris în referințele J. Haidenbauer, W. Plessas, Phys. Rev. C 30 (1984) 1822; J. Haidenbauer, W. Plessas, Phys. Rev. C 32 (1985) 1424. Renormalizarea potențialului se efectuează pornind de la ecuația de gap pentru materia nucleară. În vederea obținerii potențialului efectiv la energii joase, cerem ca la restrângerea spațiului de stări, având acum ca limita superioară cutoff-ul k_c , să obținem aceeași soluție a ecuației de gap. Potențialul renormalizat se găsește proiectând ecuația pe două subspații $k > k_c$ și $k < k_c$, și eliminând componentele de energii mari. Întrucât componentele funcției de gap pe subspațiul de energii înalte sunt neglijabile, ecuația Bethe-Goldstone de renormalizare se reduce la o formulă matriceală pentru noii coeficienți de expansiune

$$\Lambda = (\lambda^{-1} + \Gamma)^{-1}$$

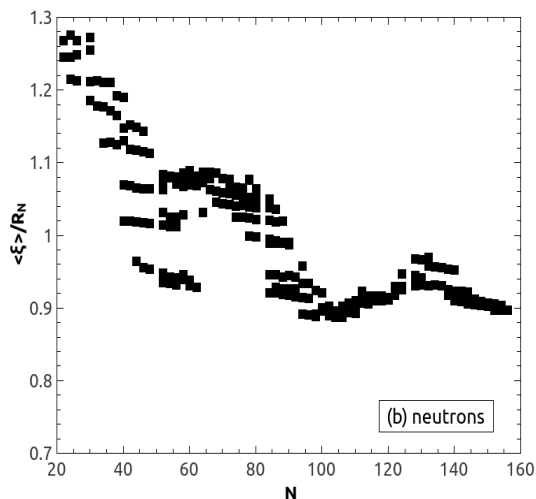
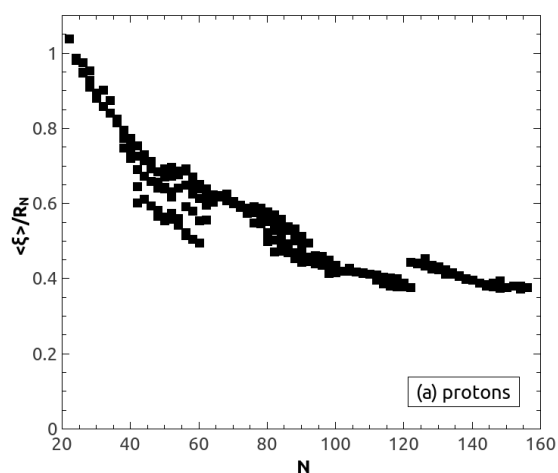
Potențialul astfel calculat este folosit în rezolvarea ecuațiilor BCS pentru funcția de gap și a numărului de particule, unde am luat în considerare largimea finită a rezonanțelor prin densitatea de stări din continuum data de derivata phase-shift-ului. Elementele de matrice ale potențialului sunt calculate conform cu referința D.S. Delion, M. Baldo, U. Lombardo, Nuc. Phys. A 593 (1995) 151-161. Funcția de gap rezulta a avea puternice influențe de la efectele de paturi. Dreptele de fit pentru raportul dintre valorile teoretice și cele experimentale sunt:

$$\frac{\Delta_{th,p}}{\Delta_{exp,p}} = 0.0088N + 0.062$$

$$\frac{\Delta_{th,n}}{\Delta_{exp,n}} = 0.0143N + 0.051$$

A fost de asemenea estimată lărgimea de coerență CARE prezintă o tendință sistematică de scădere odată cu creșterea numărului de masă, mai pronunțată pentru protoni decât pentru neutroni. Calitativ, rezultatele

prezentate în graficele alaturate sunt similare cu cele obținute în cazul unei interacții schematice de tip Gaussian.



Rezultatele prezentate mai sus au fost publicate sub forma a 29 lucrări științifice în reviste de mare impact și au fost comunicate în cadrul a 19 conferințe internaționale, confirmând îndeplinirea în totalitate a obiectivelor acestui proiect de cercetare.

Director proiect,
Dr. Doru S. Delion