

ACADEMIA OAMENILOR DE ȘTIINȚĂ
DIN ROMÂNIA

– Secția de științe fizice –

CS III Dr. Alexandru DUMITRESCU

PROBLEMA INVERSĂ ÎN DEZINTEGRAREA α : STĂRI
CUASIMOLECULARE ȘI ALTE APLICAȚII

– Aproximări și alte aplicații ale matematicii în fizică și inginerie –

– raport final –

Director de proiect
CS I Dr. Doru Sabin DELION

București, 2018

În cadrul acestui proiect de cercetare au fost investigate teoretic stările cuasi-moleculare de tip α din nuclee grele. Astfel de stări au fost evidențiate sub forma unor benzi rotaționale fundamentale în nuclee ușoare acum multă vreme, dar în cazul nucleelor grele au rămas neobservate din cauza barierelor Coulomb mari. Pentru a căuta structuri rotaționale de acest tip construite pe stări excitate în cazul nucleelor grele, am investigat forma unui potențial cuasimolecular α -nucleu potrivit cu o interacție externă realistă dintre fragmente, folosind lărgimile de dezintegrare α ca date de intrare. Parametrul gaussian de lungime se află într-un interval îngust pentru nuclee par-pare, $b_0 \in [0.6, 0.8]$ fm, iar raza de echilibru este puțin mai mare ca punctul Mott de tranziție, prezis pentru trecerea de la materie nucleonică la faza de clusteri α în materie nucleară. Acest lucru confirmă faptul că particulele α se formează pe suprafața nucleară, la densități joase. Este remarcabil că emiterii α aflați deasupra nucleelor magice au cei mai mari factori spectroscopici $S_\alpha \approx 10\%$. Pentru nucleele cu $b_0 > 0.75$ fm, am arătat că prima rezonanță vibrațională excitată din potențialul cuasimolecular este aproape de bariera Coulomb, iar astfel banda rotațională construită pe aceasta poate fi evidențiată în structura secțiunii eficace de împrăștiere α versus energie. Mai mult, detectarea acestei benzi cu un fascicul γ foarte sensibil produs la o facilitare laser ar constitui o dovadă suplimentară a existenței moleculelor α în nuclee grele.

Dezintegrarea α între stări fundamentale nu e permisă în nuclee ușoare, dar au fost măsurate multe tranziții din stări excitate. Ca o particularitate interesantă a regiunii ușoare a hărții nucleare, notăm că în cadrul ei au fost observate stări de tip α cu factori spectroscopici mari [1, 2]. Existența benzilor rotaționale cuasimoleculare α -nucleu fiică este un fapt bine confirmat [3]. De regulă, ele sunt legate de fenomenul de împrăștiere anomală la unghiuri mari (ALAS), unde secțiunea eficace diferențială a particulelor α este mare față de valorile Rutherford pentru aceleași nuclee [4]. Emisia spontană de particule α din nuclee cu $Z \geq 50$ a fost interpretată ca o penetrare a particulelor preformate prin bariera Coulomb aproape de regiunea interacției nucleare [5, 6]. În teoria matricei R , lărgimea de dezintegrare este exprimată ca un produs dintre lărgimea redusă de clusterizare și penetrabilitatea prin bariera Coulomb [7]. Importanța clusterizării α în structura nucleară deasupra nucleelor dublu magice a fost subliniată nu numai pentru nuclee ușoare, dar și pentru sisteme grele [8, 9, 10]. Totodată, este cunoscut faptul că valoarea absolută a lărgimii de dezintegrare nu se poate reproduce fără o importantă componentă de clustering amestecată cu orbitalii standard ai modelului în pături [11]. O sondă utilă în investigarea fenomenelor de clustering α în nuclee grele și supragrele este dată de spectrul de emisie pe stări excitate. Un rezultat important legat de interpretarea cuasimoleculară a configurațiilor rotative finale α -nucleu fiică este dat în referința [12]. Acolo este arătat că tăria interacției cuadrupol-cuadrupol α -nucleu ce reproduce lărgimile experimentale de dezintegrare pe stări 2^+ în nuclee par-pare are valori semnificativ mai mari deasupra nucleelor magice și descrește rapid pe măsură ce sunt adăugate configurații α . Pentru aceste nuclee, factorul spectroscopic are valori mai mari, astfel încât configurațiile moleculare α -nucleu fiică de tip rotațional $[L^+ \otimes L^+]_0$ sunt prezente cu o probabilitate ridicată. Aceste configurații ar trebui să existe la densități mici dincolo de suprafața nucleară, datorită faptului că principiul lui Pauli interzice existența structurilor α în interiorul nucleelor [13, 14].

Am arătat în decursul acestui proiect că este posibilă determinarea unui potențial

cuasimolecular α -nucleu fică folosind lărgimile de dezintegrare și o interacție α -nucleu fică realistă, dată de măsurători independente de împrăștiere. Parametrii acestui potențial permit precizarea poziției rezonanțelor excitate, ce pot fi în principiu detectate în funcția de răspuns a sistemului, astfel încât să confirme existența moleculelor α în nuclee grele. Raportul preliminar al acestui proiect a prezentat baza teoretică a studiului, iar raportul intermediar a expus o sistematică a datelor calculate cu ajutorul teoriei pentru nuclee par-pare.

În raportul final sunt sumarizate câteva rezultate de perspectivă privind aplicarea metodei în cazul nucleelor cu numărul de masă impar și compararea rezultatelor cu situația nucleelor par-pare. Astfel, Figura 1 prezintă un rezumat al sistematicii nucleelor par-pare. În panoul (a) sunt redată raza nucleară R_n , raza de minim a potențialului R_0 și raza de potrivire R_m versus numărul de neutroni. Se observă o creștere liniară a celor trei parametri funcție de numărul neutronic. Panoul (b) conține dependența parametrului de oscilator armonic monopolar b_0 funcție de numărul de neutroni. Se observă maxime distincte în dreptul numerelor magice. Panoul (c) prezintă valorile potențialului de fragmentare funcție de numărul de neutroni. Acesta expune intervale de depreciere în vecinătatea numerelor magice, urmate de o creștere monotonă. În mod similar, Figura 2 prezintă aceleași cantități funcție de numărul de neutroni pentru cazul sistemelor cu numărul de masă impar. În această situație, date experimentale relevante există numai pentru regiunea actinidelor. Sunt însă suficiente pentru a pune în evidență evoluția într-un mod similar cu cele din cazul nucleelor par-pare. Figura 3 prezintă parametrul b_0 funcție de numărul de neutroni (panoul (a)), în cazul tranzițiilor favorizate (cercuri pline), respectiv defavorizate (cercuri albe). Se observă o dispersie de aproximativ 0.4 fm a parametrului, mai mare decât cea raportată anterior pentru nuclee par-pare, după cum se observă în panoul (a) al Figurii 4. În aceeași figură, panoul (b) prezintă regresia liniară a parametrului de oscilator armonic monopolar versus energia relativă a primelor două rezonanțe raportate la potențialul de fragmentare, pentru emiteri par-pari. Similar, panoul (b) al Figurii 3 prezintă raportul energiei relative dintre primele două rezonanțe și potențialul de fragmentare, versus numărul de neutroni pentru emiteri cu numărul de masă impar. Observăm că, în majoritatea cazurilor, a doua rezonanță este foarte aproape de vârful barierei Coulomb. Figurile 5 și 6 prezintă factorii spectroscopici S_α ai emiterilor par-pari, respectiv cu numărul de masă impar, funcție de potențialul de fragmentare. În primul caz, datele se grupează pe patru regiuni separate de numerele magice pentru protoni și neutroni și tind să scadă cu creșterea barierei Coulomb. În al doilea caz, atât datele pentru tranziții favorizate cât și cele defavorizate se înscriu în același interval de valori și prezintă o evoluție similară.

Rezultatele științifice aferente acestui proiect au fost publicate în referința [15] și expuse comunității internaționale în cadrul conferinței [16].

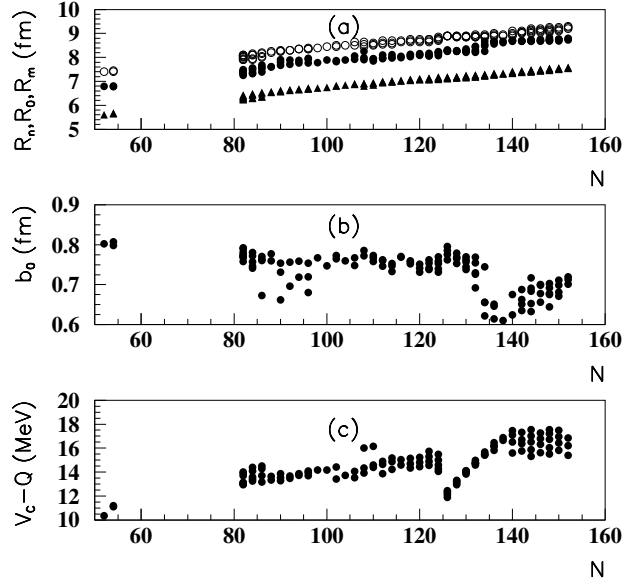


Figura 1: Raza nucleară (triunghiuri negre), raza de minim (cercuri pline), raza de potrivire (cercuri goale) (panoul (a)), parametrul de oscilator armonic monopolar (panoul (b)), potențialul de fragmentare (panoul (c)) versus numărul de neutroni pentru emiteri par-pari.

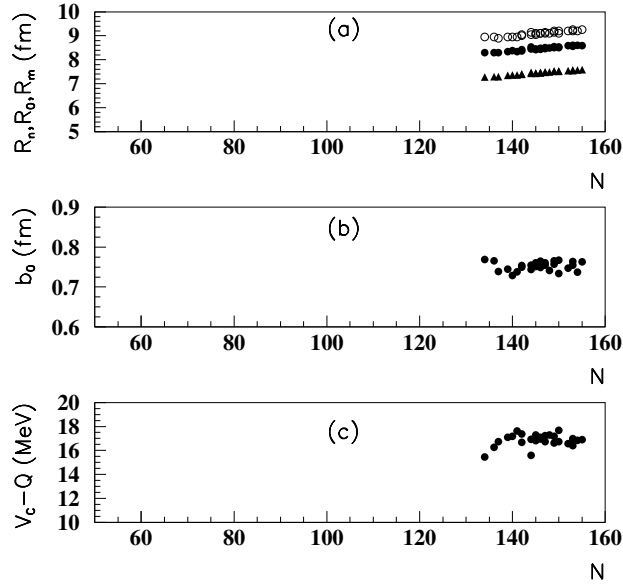


Figura 2: Raza nucleară (triunghiuri negre), raza de minim (cercuri pline), raza de potrivire (cercuri goale) (panoul (a)), parametrul de oscilator armonic monopolar (panoul (b)), potențialul de fragmentare (panoul (c)) versus numărul de neutroni pentru emiteri cu numărul de masă impar.

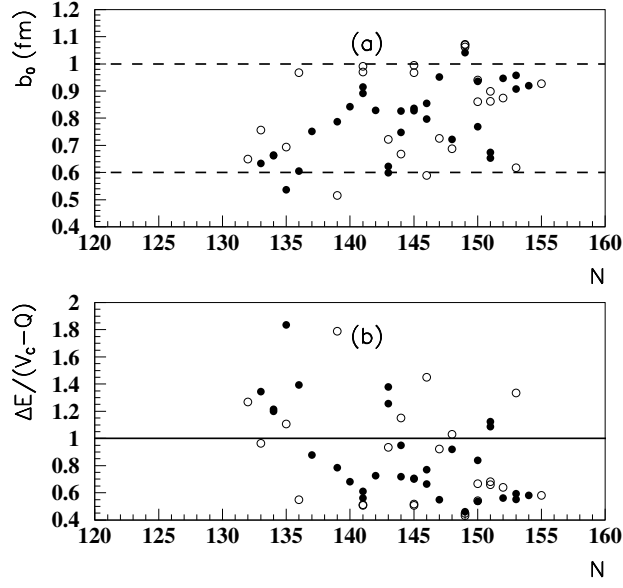


Figura 3: Parametrul de oscilator armonic monopolar (panoul (a)), raportul diferenței de energie dintre primele două rezonanțe ale potențialului cuasimolecular și potențialul de fragmentare (panoul (b)), pentru tranziții favorizate (cercuri pline), respectiv defavorizate (cercuri goale) versus numărul de neutroni.

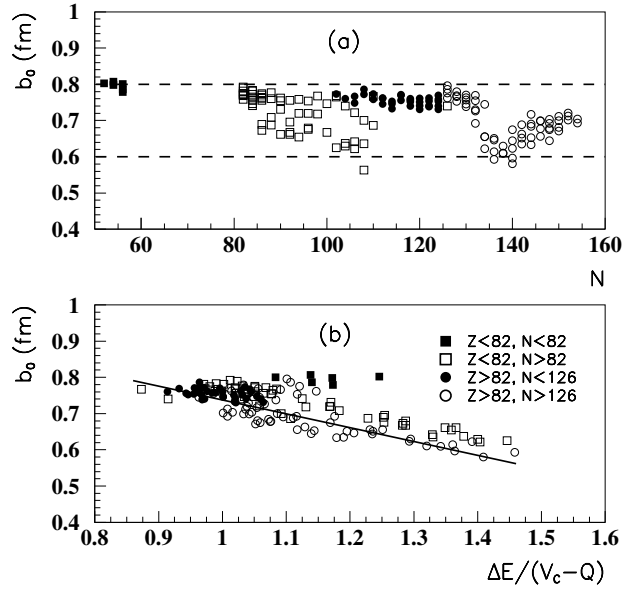


Figura 4: Parametrul de oscilator armonic monopolar versus numărul de neutroni (panoul (a)), respectiv raportul dintre energia relativă a primelor două rezonanțe din potențialul cuasimolecular și potențialul de fragmentare (panoul (b)), pentru emiteri par-pari.

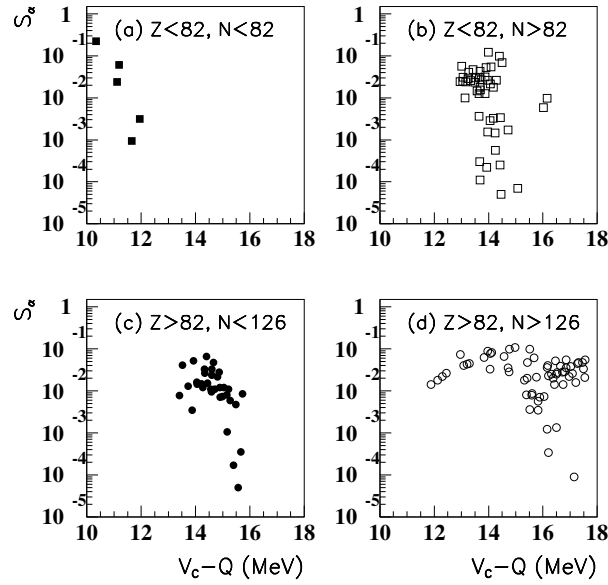


Figura 5: Factorii spectroscopici versus potențialul de fragmentare pentru emiteri par-pari, separați după cele patru regiuni încadrate de numere magice.

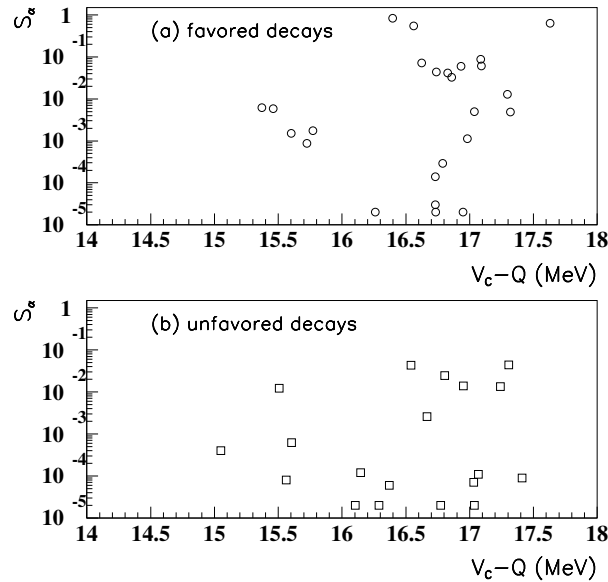


Figura 6: Factorii spectroscopici versus potențialul de fragmentare pentru emiteri cu numărul de masă impar, separat pentru tranziții favorizate (panoul (a)), respectiv defavorizate (panoul (b)).

Bibliografie

- [1] P. Schuck, Y. Funaki, H. Horiuchi, G. Röpke, A. Tohsaki, și T. Yamada, Phys. Scr. **91**, 123001 (2016).
- [2] A. Tohsaki, H. Horiuchi, P. Schuck, și G. Röpke, Rev. Mod. Phys. **89**, 011002 (2017).
- [3] W. von Oertzen, M. Freer, Yoshiko Kanada-Enyo, Phys. Rep. **432**, 43 (2006).
- [4] H. Abele și G. Staudt, Phys. Rev. C **47**, 742 (1993).
- [5] G. Gamow, Z. Phys. **51**, 204 (1928).
- [6] E.U. Condon, R.W. Gurney, Nature **122**, 439 (1928).
- [7] A.M. Lane și R.G. Thomas, Rev. Mod. Phys. **30**, 257 (1958).
- [8] Y.K. Gambhir, P. Ring, și P. Schuck, Phys. Rev. Lett. **51**, 1235 (1983).
- [9] B. Buck, A.C. Merchant, și S.M. Perez, Phys. Rev. C **51**, 559 (1995).
- [10] D.S. Delion și J. Suhonen, Phys. Rev. C **61**, 024304 (2000).
- [11] K. Varga, R.G. Lovas, și R.J. Liotta, Phys. Rev. Lett. **69**, 37 (1992); Nucl. Phys. A **550**, 421 (1992).
- [12] D.S. Delion și A. Dumitrescu, At. Data Nucl. Data Tab. **101**, 1 (2015).
- [13] G. Röpke, A. Schnell, P. Schuck, și P. Nozieres, Phys. Rev. Lett. **80**, 3177 (1998).
- [14] G. Röpke, P. Schuck, Y. Funaki, H. Horiuchi, Zhongzhou Ren, A. Tohsaki, Chang Xu, T. Yamada, și Bo Zhou, Phys. Rev. C **90**, 034304 (2014).
- [15] D.S. Delion, A. Dumitrescu și V.V. Baran, Phys Rev. C **97**, 6, 064303 (2018).
- [16] *Theoretical investigation of alpha-like quasimolecules in heavy nuclei*, A. Dumitrescu și D.S. Delion, CARPATHIAN SUMMER SCHOOL OF PHYSICS 2018: Exotic Nuclei and Nuclear/Particle Astrophysics (VII). Physics with small accelerators, iulie 01 - 14, 2018, Sinaia, România.