

Sinteza lucrării

Din momentul introducerii modelului picăturii de lichid [1], coordonatele cvadrupolare referitoare la formă au fost folosite pe larg atât în formalisme fenomenologice cât și microscopice pentru descrierea proprietăților de bază ale sistemelor nucleare. Pornind de la aceste coordonate, se definesc operatori bosonici cu ajutorul cărora sunt construiți Hamiltonieni și operatori de tranziție. Din moment ce varianta inițială a modelului picăturii de lichid putea descrie doar o cantitate limitată de date experimentale referitoare doar la nuclee sferice, au fost natural solicitate câteva îmbunătățiri și extensii [2] care însă au și mărit numărul de parametri ai modelului. Pe de altă parte, modelul stărilor coerente (CSM) [3] folosește un număr mult mai mic de parametri, considerând un spațiu colectiv restrâns, generat prin proiectare după moment cinetic de către un set de trei stări deformate ortogonale de tip coerent. În acest fel, modelul este capabil să descrie într-o manieră realistă nuclee deformate și tranziționale, incluzând partea de spin înalt a spectrelor acestora.

O anumită fază nucleară referitoare la forma suprafeței nucleului poate fi asociată cu o simetrie dinamică dată, din moment ce proprietățile acesteia pot fi descrise cu ajutorul reprezentării ireductibile a grupului de simetrie respectiv. Astfel, nucleele γ instabile sunt descrise de simetria $O(6)$ [4], vibratorii sferici de simetria $U(5)$, rotatorii simetrici de $SU(3)$ iar cei triaxiali de simetria D_2 [5]. Cele trei simetrii limită $U(5)$, $O(6)$ și $SU(3)$ sunt simetrii dinamice pentru $U(6)$ cu un lanț de reducere de grupuri asociat [6, 7]. În [8, 9] a fost arătat că și punctele critice ale unor tranziții de fază corespund la anumite simetrii critice.

În această lucrare ne-am propus să realizăm un studiu sistematic al abordării CSM în limitele extreme ale deformării, pentru a extinde domeniul de aplicabilitate al modelului către toate fazele nucleare referitoare la formă. În acest scop sunt derivate formule analitice pentru energiile de excitație ale celor trei benzi rotaționale, fundamentală, β și γ împreună cu probabilitățile de tranziție cvadrupolară în limitele deformării mici și respectiv mari ale lui CSM. Aceste formule sunt testate pozitiv pentru un număr mare de nuclee.

Formalismul CSM este considerat în două limite extreme, ale deformării mici și mari. În limita $d \rightarrow 0$ stările proiectate asociate celor trei benzi rotaționale devin multipleți fononici de senioritate maximă după cum a fost arătat în [10–12], în timp ce în regimul asimptotic al deformărilor mari, acestea le produc pe cele din modelul picăturii de lichid [1] din regimul cuplajului puternic. Această comportare în extreme este consistentă cu

schema Sheline-Sakai [13, 14] ce realizează o legătură continuă între spectrele vibraționale și cele rotaționale. Dat fiind faptul că regimul vibrațional al nucleului este un caz mult prea idealizat și greu de confirmat experimental, în acest studiu este considerată așa numita limită aproape vibrațională. Aceasta este definită de un parametru de deformare nenul chiar și supraunitar care totuși este mai mic decât raza de convergență a aproximației adoptate ce a fost detaliat discutată în [15].

Astfel, în limitele aproape vibrațională și asimptotică, elementele de matrice ale Hamiltonianului model și ale operatorului de tranziție $E2$ între stările proiectate după moment cinetic, ce modelează benzile fundamentală, β și γ , sunt dezvoltate alternativ în serie de puteri ale lui $x(= d^2)$ și $1/x$, unde d este un parametru real ce simulează deformarea. Cea din urmă versiune a fost dezvoltată în [16]. În final energiile de excitație din cele trei benzi sunt exprimate ca rapoarte de polinoame în variabilele x și respectiv $1/x$. Coeficienții acestor polinoame depind de momentul cinetic. Pentru descrierea benzii β în unele cazuri sunt necesari și alți termeni în Hamiltonian care introduc parametri în plus. În ceea ce privește elementele reduse de matrice ale operatorului de tranziție $E2$, acestea sunt funcții liniare în d pentru cazul deformărilor mici. Din această cauză în limita aproape vibrațională nu există tranziții interzise cum se întâmplă în limita vibrațională ($d \rightarrow 0$). În regimul asimptotic al deformărilor mari, elementele de matrice menționate depind de momentul cinetic prin intermediul unui coeficient Clebsch-Gordan și sunt proporționale cu d sau independente de deformare pentru tranziții intra-bandă și respectiv inter-bandă. Factorizarea elementelor de matrice reduse ale operatorului de tranziție $E2$ cu un coeficient Clebsch-Gordan cunoscută în literatură ca regula lui Alaga [17] este regăsită și în limita vibrațională.

Această tratare simultană a celor trei benzi rotaționale oferită de CSM în regimurile sale extreme, a fost utilizată pentru descrierea datelor experimentale existente pentru 42 de nuclee cu diferite simetrii asociate cum ar fi $SU(5)$, $O(6)$, $SU(3)$, forme triaxiale, precum și tranziții dintre aceste situații extreme. Dintre nucleele descrise 18 sunt considerate aproape vibraționale, iar 24 sunt bine cunoscute ca fiind puternic deformate. O sistematică a acestor faze nucleare a fost realizată în [15] luând în considerare doar banda fundamentală. Rezultatele numerice sunt într-un acord foarte bun cu datele experimentale corespunzătoare atât pentru energiile de excitație cât și pentru probabilitățile de tranziție $B(E2)$. Calculele numerice au fost împărțite pe trei grupuri de nuclee: aproape vibraționale, transuranice și alte nuclee deformate în special din zona pământurilor rare. Din reprezentările benzilor

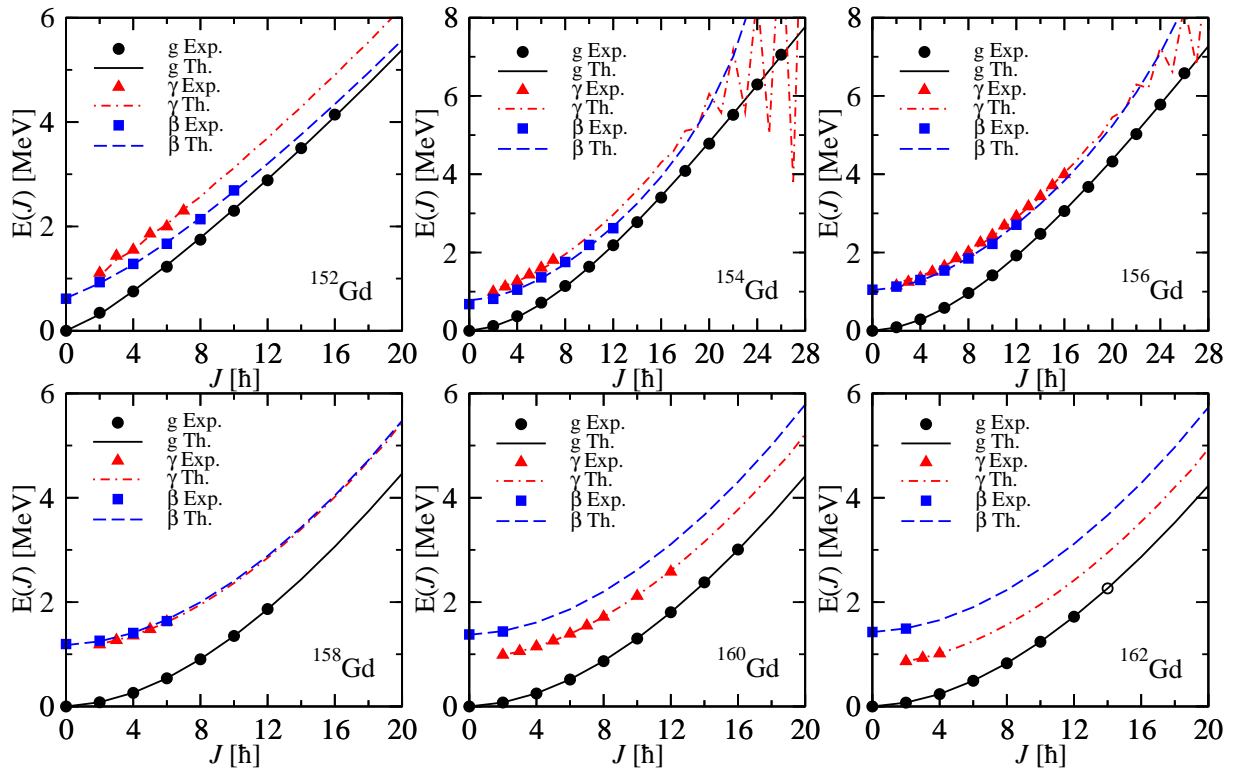


Fig. 1: Spectrul energetic al benzilor fundamentală, β și γ descrise cu ajutorul formulelor din regimul asimptotic al lui CSM, pentru nucleele din lanțul izotopic par-par al lui Gd. Primul nucleu este considerat aproape vibrațional și în consecință este descris de formulele din limita deformărilor mici. Simbolurile goale indică puncte experimentale incerte sau cu asociere probabilă a benzii. Datele experimentale sunt luate din [18–23].

roționale ca funcții de moment cinetic sunt evidente aspectele comune corespunzătoare celor trei grupuri. Astfel, pentru benzile rotaționale ale nucleelor considerate aproape vibraționale, se observă o dependență aproximativ liniară de momentul cinetic. Iar la majoritatea nucleelor transuranice, benzile excitate sunt aproape degenerate, ceea ce le identifică cu simetria dinamică $SU(3)$ corespunzătoare unei forme a suprafeței nucleare cu deformare axial simetrică. Nucleele considerate din zona pământurilor rare sunt deformate și sunt descrise de diferite simetrii dinamice inclusiv de puncte critice ale tranzițiilor dintre acestea. Tranzițiile de fază dintre simetrii dinamice sunt observate cel mai bine când este considerat lanțul izotopic par-par pentru un izotop. Într-adevăr, în Fig.1 ce se referă la rezultatele numerice ale nucleelor par-pare de Gd, sunt identificate astfel două tranziții de fază cu nuclee critice corespunzătoare, ^{154}Gd și ^{185}Gd . Primul nucleu joacă rolul punctului critic al

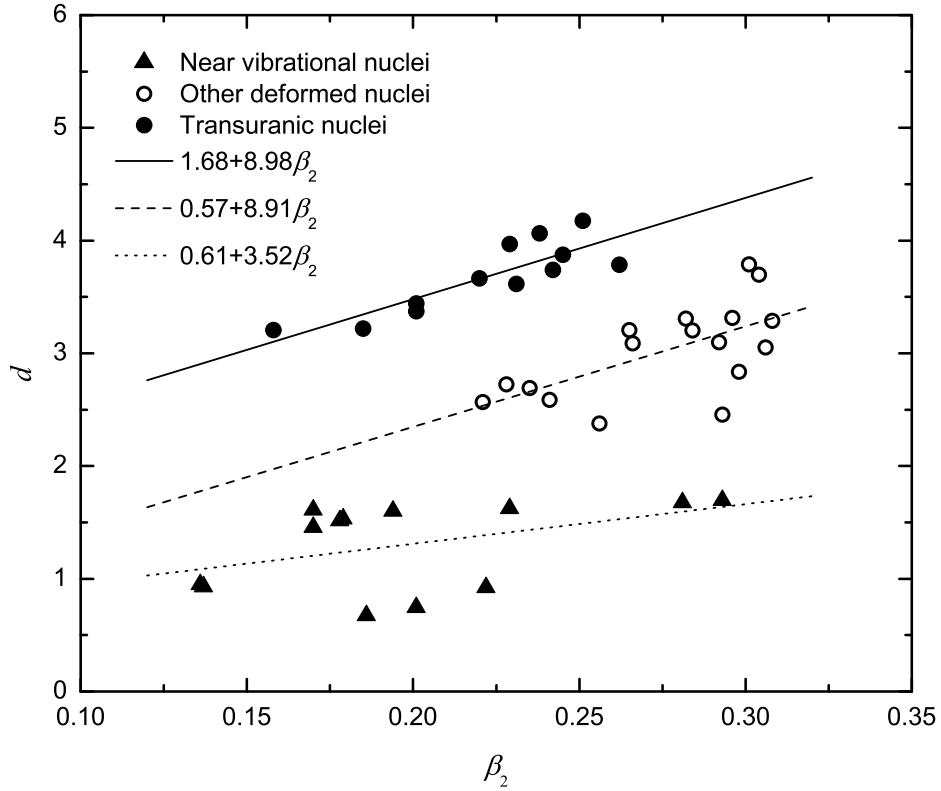


Fig. 2: Parametrul de deformare d ca funcție de deformarea nucleară β_2 luată din Ref.[24].

tranziției de fază $U(5) \rightarrow SU(3)$, iar cel de al doilea este nucleul critic al tranziției de fază de la nuclee γ stabile la cele γ instabile.

În ceea ce privește probabilitățile de tranziție $B(E2)$, acestea au fost calculate cu formulele oferite de cele două limite doar pentru câteva nuclee aproape vibraționale și puternic deformate, pentru care există date experimentale atât pentru tranziții intra-bandă cât și pentru cele inter-bandă. În cazul unor nuclee aproape vibraționale, tranzițiile sunt mai bine descrise de limita vibrațională. Iar rezultatele numerice pentru tranzițiile din nuclee puternic deformate sunt consistente cu observația experimentală a faptului că tranzițiile intra-bandă sunt mult mai mari decât cele inter-bandă.

De notat este faptul că pentru toate nucleele considerate a fost folosit unul și același Hamiltonian și set de stări proiectate. Trăsăturile distinctive ale fiecărei faze nucleare sunt oferite de valori specifice ale parametrului de deformare și ai coeficienților de structură. Se constată că există o corespondență liniară între parametrul de deformare d și deformarea cvadrupolară β_2 . Într-adevăr, în Fig.2 este arătat că cele trei grupuri de nuclee, aproape

vibraționale, transuranice și cele deformate din zona pământurilor rare sunt distribuite în jurul a trei drepte diferite. Liniile corespunzătoare la cele două grupuri de nuclee puternic deformate sunt aproximativ paralele.

Și coeficienții de structură nu se modifică haotic când se trece de la un nucleu la altul, ci satisfac anumite regularități puse în evidență de dependențe polinomiale în $A + (N - Z)/2$ pentru fiecare grup de nuclee. De fapt aceasta este o măsură a puterii de predicție a formalismului CSM. Este interesant faptul că nucleele ai căror parametri de structură deviază substanțial de la curbele de interpolare sunt bine cunoscute ca fiind puncte critice ale unor tranziții de fază.

În cele ce urmează vom expune concis principalele concluzii ale studiului întreprins. Lucrarea de față consideră formalismul CSM în două extreme ale deformării mari și respectiv mici. În aceste două limite au fost obținute formule analitice compacte atât pentru energiile benzilor rotaționale cât și pentru elementele reduse de matrice ale operatorului cvadrupolar de tranziție. Acest formalism simplu este folosit la descrierea spectrului de vibrație-rotatie pentru 42 de nuclee prezentând diverse simetrii dinamice asociate formei suprafeței nucleare cum sunt $U(5)$, $O(6)$, $SU(3)$, forme triaxiale sau puncte critice ale tranzițiilor de fază cu simetriile $E(5)$ și $X(5)$ asociate. Rezultatele numerice sunt într-un acord bun cu datele experimentale pentru energiile de excitație și probabilități de tranziție. Trăsăturile distinctive ale fiecărei simetrii sunt obținute cu valori specifice pentru parametrul de deformare și parametrul de structură.

Modelul stărilor coerente se dovedește a fi capabil să descrie prin regimurile sale extreme cele mai joase trei benzi rotaționale pentru nuclee par-pare aparținând tuturor fazelor nucleare cunoscute referitoare la formă, incluzând punctele critice ale tranzițiilor dintre acestea. Rezultatele obținute în cadrul aproximațiilor prezentate ne incurajează să continuăm studiul modelului stărilor coerente pentru a dezvălui noi calități ale sale ce ar descrie date experimentale și mai complicate.

-
- [1] A. Bohr, Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk. **26** (1952) no.14; A.Bohr and B.Mottelson, Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk. **27** (1953) no. 16
[2] A. Faessler and W. Greiner, Z. Phys. **168** (1962) 425; **170** (1962) 105; **177** (1964) 190; A. Faessler, W. Greiner and R. Sheline, Nucl. Phys. **70** (1965) 33.

- [3] A. A. Raduta, V. Ceausescu, A. Gheorghe and R. M. Dreizler, Phys. Lett. **99B** (1981) 444; Nucl. Phys. **A381** (1982) 253.
- [4] L. Wilets and M. Jean, Phys. Rev. **102** (1956) 788.
- [5] A. S. Davydov and G. F. Filippov, Nucl. Phys. **8** (1958) 788.
- [6] A. Arima and F. Iachello, Ann. Phys.(N.Y.) **99** (1976) 253; **123** (1979) 468.
- [7] F. Iachello and A. Arima, The Interacting Boson Model (Cambridge University Press, Cambridge, England, 1987).
- [8] F. Iachello, Phys. Rev. Lett. **85** (2000) 3580.
- [9] F. Iachello, Phys. Rev. Lett. **87** (2001) 052502.
- [10] A. A. Raduta, Rev. Roum. Phys. **28** no. 3 (1983), 195.
- [11] A. A. Raduta, S. Stoica and N. Sandulescu, Rev. Roum. Phys. **29**, no. 1 (1984) 55.
- [12] A. A. Raduta, A. Gheorghe and M. Badea,, Z. Physik **A 283** (1977) 79.
- [13] R. K. Sheline, Rev. Mod. Phys. **32** (1960) 1.
- [14] M. Sakai, Nucl. Phys. **A 104** (1967) 301; Nucl. Data Tables **A 8** (1970) 323; **A 10** (1972) 511.
- [15] A. A. Raduta, R. Budaca, A. Faessler, Jour. Phys. G; Nucl. Part. Phys.,**37** (2010) 085108.
- [16] A. A. Raduta and C. Sabac, Ann. Phys. **148** (1983) 1.
- [17] G. Alaga, Nucl. Phys. **4** (1957) 625.
- [18] C. W. Reich, R. G. Helmer, NDS **85** (1998) 171.
- [19] A. Artna-Cohen, NDS 79 (1996) 1.
- [20] C. W. Reich, NDS **91** (2003) 753.
- [21] R. G. Helmer, NDS **101** (2004) 325.
- [22] C. W. Reich, NDS **78** (1996) 547.
- [23] R. G. Helmer, NDS **87** (1999) 317.
- [24] G. A. Lalazissis, S. Raman and P. Ring, Atomic data and Nuclear Data Tables, **71** (1999) 140.