

**A study of Nuclear Structure of $^{166-180}\text{Hf}$
Even-Even Isotopes by the Interacting Boson
Model-1**

**A Thesis
Submitted to the Council of College of Science
University of Babylon
In Partial Fulfillment of the Requirements for
The Degree of Master of Science in Physics**

**By
Saleem Hamza Trier**



March ٢٠٠٦

Saffer

١٤٢٧

دراسة التركيب النووي لنظائر ^{166}Hf - 180 الزوجية – الزوجية
باستعمال نموذج البوزونات المتفاعلة الاول (IBM-1)

رسالة مقدمة إلى
مجلس كلية العلوم – جامعة بابل
وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير
علوم في علوم الفيزياء

من

سليم حمزة طرير



وَسَمِيعٌ ذُو الْعَرْشِ الْمُبِينُ
الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ

وَقُلْ رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا

صَبْرًا وَاللَّهُ الْعَلِيمُ
الْعَظِيمُ

سورة (طه)
آية (١١٤)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
مَدَامَا شَاءَ ع

أهدي هذا الجهد المتواضع الى

من أرواحنا لتراب مقدمه الفدى

مولانا صاحب العصر والزمان (عج)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

شكر وتقدير

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على خير خلق الله محمد وعلى اله وصحبه وسلم .

يغمرني الفرح وانا أكمل رسالتي فاتقدم بالشكر الجزيل والامتنان الكبير الى مشرفي البحث الدكتور عامر عبد الامير محمد علي , والدكتور خالد حسين هاتف العطيه , لما قدماه لي من عناية ومتابعة مستمرة بتقديم الاراء السديده في اثناء مدة البحث .

كما اتقدم بوافر الشكر والتقدير الى عمادة كلية العلوم – جامعة بابل , ورئاسة قسم الفيزياء لاتاحتها الفرصه لي لاكمال دراستي. ولايفوتني ان اتقدم بالشكر والتقدير الى السيد محسن كاظم مطلب والسيد علي عبد ابو جاسم للمساعدة التي قدمها لي.

ومن الله التوفيق

سليم

Abstract

In this search, $^{166-184}$ Hf isotopes have been studied by the interacting boson model (IBM-1) to determine the energy levels and the electric quadrupole moments Q_{2+} . In addition, by the program IBMT was used for evaluating the reduced electric transition probability $B(E\gamma)$. The nucleus shape was determined by studying potential energy surface using the equations of Hamilton function. The square of rotational energy and the moment of inertia were calculated.

spin and parity for some energy levels, which were not exactly determined experimentally have been determined. It was found that the (1.006) MeV for 166 Hf have spin and parity is (3_1^+) . The energy levels (0.94, 1.03 and 1.108) MeV for 168 Hf spin and parity are $(2_1^+, 3_1^+$ and $3_2^+)$ respectively and the energy levels (1.088 and 1.22) MeV for 170 Hf spin and parity are $(3_1^+$ and $4_1^+)$ respectively, the energy level (1.03 MeV) for 172 Hf have spin and parity is (3_1^+) , and energy level (1.3) MeV for 174 Hf have spin and parity (3_1^+) .

Also, we determine the spin and the parity for energy levels, which were never determined experimentally, such as the energy level (1.022 MeV) for 166 Hf with (4_1^+) , and the energy levels (1.03 and 1.07) MeV for 170 Hf with $(4_1^+$ and $1_1^+)$ respectively. The 172 Hf nucleus was expected to have two new energy levels of (1.49 and 1.0) MeV with spin and parity $(1_1^+$ and $4_1^+)$.

According to the IBM, It was found the 166,168 Hf isotopes belong to the transition region $O(6) \rightarrow SU(3)$, whereas the $^{170-184}$ Hf isotopes belong to the transition region $SU(3) \rightarrow O(6)$.

المحتويات

| رقم الصفحة | الموضوع | ت |
|------------|--|-----|
| I | المحتويات | |
| II | قائمة الرموز | |
| III- IV | قائمة الأشكال | |
| V | قائمة الجداول | |
| VI | الخلاصة | |
| | الفصل الأول: المقدمة | |
| ١ | مقدمة عامة. | ١-١ |
| ٢ | الدراسات السابقة. | ٢-١ |
| ٦ | الهدف من البحث. | ٣-١ |
| | الفصل الثاني: الاسس النظرية | |
| ٧ | نموذج البوزونات المتفاعلة IBM | ١-٢ |
| ٧ | نموذج البوزونات المتفاعلة الاول (IBM-١) | ٢-٢ |
| ٩ | التناظرات الديناميكية. | ٣-٢ |
| ١٨ | المناطق الانتقالية في نموذج البوزونات المتفاعلة الاول. | ٤-٢ |
| ١٩ | طاقة جهد السطح | ٥-٢ |
| ٢٣ | الحركة الدورانية في النواة وعزم القصور الذاتي | ٦-٢ |
| | الفصل الثالث: النتائج والحسابات | |
| ٢٥ | الحسابات. | ١-٣ |
| ٢٥ | حساب مستويات الطاقة. | ٢-٣ |
| ٣٤ | حساب القيم المختزلة لاحتمالية الانتقال الكهربائي رباعي القطب $B(E2)$ | ٣-٣ |
| ٤٢ | دراسة طاقة جهد السطح. | ٤-٣ |
| ٥٢ | دراسة الطاقة الدورانية وعزم القصور الذاتي | ٥-٣ |
| | الفصل الرابع: المناقشه والاستنتاجات | |
| ٦١ | نظائر $^{180-182}\text{Hf}$ | ١-٤ |
| ٦٢ | مستويات الطاقة | ٢-٤ |
| ٦٣ | احتمالية الانتقالات الكهربائية المختزلة | ٣-٤ |
| ٦٣ | عزم رباعي القطب الكهربائي وجهد السطح | ٤-٤ |
| ٦٤ | الحركة الدورانية في النواة وعزم القصور الذاتي. | ٥-٤ |
| ٦٥ | المقترحات المستقبلية. | ٦-٤ |
| ٦٦ | المصادر | |
| | الخلاصة باللغة الانكليزية. | |

قائمة بالرموز المستعملة

| الرمز | تفسيره |
|-------------------------------------|---|
| ϵ_i | طاقة البوزون i |
| H | مؤثر الطاقة (الهاملتون) |
| ϵ_s | طاقة البوزون s |
| ϵ_d | طاقة البوزون d |
| (s^\dagger, d^\dagger) | مؤثرات البوزونات الرافعة. |
| (s, d) | مؤثرات البوزونات الخافضة. |
| d_π, s_π | البوزونات من نوع d, s التي تكون من أزواج البروتونات |
| d_ν, s_ν | البوزونات من نوع d, s التي تكون من أزواج النيوترونات |
| T_m^{E2} | مؤثر الانتقال الكهربائي رباعي القطب. |
| $\langle J_f T^L J_i \rangle$ | عناصر المصفوفة المختزلة. |
| J_i | مستوي نووي ابتدائي. |
| J_f | مستوي نووي نهائي. |
| SU(5) | التناظر الديناميكي الاهتزازي. |
| SU(3) | التناظر الديناميكي الدوراني. |
| O(6) | التناظر الديناميكي لكما غير المستقرة. |
| N | عدد البوزونات الكلي. |
| N_π | عدد بوزونات البروتونات. |
| N_ν | عدد بوزونات النيوترونات. |
| n_d | عدد البوزونات من نوع d-boson |
| n_s | عدد البوزونات من نوع s-boson |
| ν | الاسبقية (عدد البوزونات غير المزدوجة لزخم زاوي مقداره صفر). |
| n_ν | عدد البوزونات المرتبطة ثلاثيا لزخم زاوي مقداره صفر. |
| β | عامل التشوه. |
| γ | زاوية عدم التناظر. |
| σ | معامل ليونة النواة. |
| eb | الالكترون بارن (وحدة قياس) |
| P.P | تفاعل الازدواج |
| L.L | تفاعل الزخم الزاوي |
| Q.Q | تفاعل عزم رباعي القطب الكهربائي |
| $T_1 T_2$ | تفاعل عزم ثماني القطب الكهربائي |
| $T_1 T_2$ | تفاعل عزم القطب الكهربائي السادس عشر |
| $\hbar\omega$ | الطاقة الدورانية |
| $29/\hbar^2$ | عزم القصور الذاتي |

قائمة الاشكال

| رقم الصفحة | العنوان | ت |
|------------|--|-------|
| ١٢ | الطيف النموذجي للتحديد $SU(5)$ لـ $(N=6)$ مع قيم v و n_{Δ} والزمخم الزاوي لكل مستوي. | ١-٢ |
| ١٤ | الطيف النموذجي للتحديد $SU(3)$ لـ $(N=8)$ مع قيم λ و μ و K والزمخم الزاوي لكل مستوي. | ٢-٢ |
| ١٧ | الطيف النموذجي للتحديد $O(6)$ لـ $(N=6)$ مع قيم σ و v_{Δ} والزمخم الزاوي لكل مستوي. | ٣-٢ |
| ٢١ | رسم معادلة دالة الطاقة $E(N, \gamma, \beta)$ كدالة للمتغير β . | a-٤-٢ |
| ٢١ | رسم المخططات العامة في (β, γ) | b-٤-٢ |
| ٢٢ | المخطط المثالي للخطوط الكنتورية والتناظرات المحورية. | ٥-٢ |
| ٢٤ | الحركة الدورانية للنواة المتطاولة والمفلطحة. | ٦-٢ |
| ٢٨ | مقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ^{166}Hf | ١-٣ |
| ٢٨ | مقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ^{168}Hf | ٢-٣ |
| ٢٩ | مقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ^{170}Hf | ٣-٣ |
| ٢٩ | مقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ^{172}Hf | ٤-٣ |
| ٣٠ | مقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ^{174}Hf | ٥-٣ |
| ٣٠ | مقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ^{176}Hf | ٦-٣ |
| ٣١ | مقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ^{178}Hf | ٧-٣ |
| ٣١ | مقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ^{180}Hf | ٨-٣ |
| ٣٢ | قيم نسب الطاقة $\left(\frac{E_{4^+}}{E_{2^+}}\right)$ العملية والنظرية الخاصة بنظائر $^{166-180}\text{Hf}$ مع القيم النموذجية لكل تحديد. | ٩-٣ |
| ٣٣ | قيم نسب الطاقة $\left(\frac{E_{6^+}}{E_{2^+}}\right)$ العملية والنظرية الخاصة بنظائر $^{166-180}\text{Hf}$ مع القيم النموذجية لكل تحديد. | ١٠-٣ |

| رقم الصفحة | العنوان | ت |
|------------|--|------|
| ٣٣ | قيم نسب الطاقة $\left(\frac{E_{8\uparrow}}{E_{2\uparrow}}\right)$ العملية والنظرية الخاصة بنظائر $^{166-180}\text{Hf}$ مع القيم النموذجية لكل تحديد. | ١١-٣ |
| ٣٤ | قيم نسب الطاقة $\left(\frac{E_{0\frac{3}{2}}}{E_{2\uparrow}}\right)$ العملية والنظرية الخاصة بنظائر $^{166-180}\text{Hf}$ مع القيم النموذجية لكل تحديد . | ١٢-٣ |
| ٤٠ | مقارنة بين القيم العملية والنظرية لاحتمالية الانتقال الكهربائي $B(E2)$ لنظائر $^{166-180}\text{Hf}$ | ١٣-٣ |
| ٤١ | مقارنة بين نسب الانتقالات الكهربائية المختزلة $B(E2)$ النظرية لنظائر $^{166-180}\text{Hf}$ والقيم النموذجية للتحديد $SU(3)$. | ١٤-٣ |
| ٤٢ | قيم عزم رباعي القطب الكهربائي $Q(eb)$ | ١٥-٣ |
| ٤٤ | التناظر المحوري لنظير ^{166}Hf | ١٦-٣ |
| ٤٥ | التناظر المحوري لنظير ^{168}Hf | ١٧-٣ |
| ٤٦ | التناظر المحوري لنظير ^{170}Hf | ١٨-٣ |
| ٤٧ | التناظر المحوري لنظير ^{172}Hf | ١٩-٣ |
| ٤٨ | التناظر المحوري لنظير ^{174}Hf | ٢٠-٣ |
| ٤٩ | التناظر المحوري لنظير ^{176}Hf | ٢١-٣ |
| ٥٠ | التناظر المحوري لنظير ^{178}Hf | ٢٢-٣ |
| ٥١ | التناظر المحوري لنظير ^{180}Hf | ٢٣-٣ |
| ٥٧ | مقارنة بين القيم العملية والنظرية لعزم القصور الذاتي لنظير ^{166}Hf | ٢٤-٣ |
| ٥٧ | مقارنة بين القيم العملية والنظرية لعزم القصور الذاتي لنظير ^{168}Hf | ٢٥-٣ |
| ٥٨ | مقارنة بين القيم العملية والنظرية لعزم القصور الذاتي لنظير ^{170}Hf | ٢٦-٣ |
| ٥٨ | مقارنة بين القيم العملية والنظرية لعزم القصور الذاتي لنظير ^{172}Hf | ٢٧-٣ |
| ٥٩ | مقارنة بين القيم العملية والنظرية لعزم القصور الذاتي لنظير ^{174}Hf | ٢٨-٣ |
| ٥٩ | مقارنة بين القيم العملية والنظرية لعزم القصور الذاتي لنظير ^{176}Hf | ٢٩-٣ |
| ٦٠ | مقارنة بين القيم العملية والنظرية لعزم القصور الذاتي لنظير ^{178}Hf | ٣٠-٣ |
| ٦٠ | مقارنة بين القيم العملية والنظرية لعزم القصور الذاتي لنظير ^{180}Hf | ٣١-٣ |

قائمة الجداول

| رقم الصفحة | العنوان | ت |
|------------|---|------|
| ٢٦ | المعاملات المستعملة في البرنامج (IBM-١) وبوحدات (MeV) | ١-٣ |
| ٣٢ | نسب مستويات الطاقة النموذجية لكل تحديد | ٢-٣ |
| ٣٥ | قيم $B(E2)$ و $E2SD$ و $E2DD$ لنظائر $^{166-180}\text{Hf}$ المستعملة في البرنامج IBM-١ | ٣-٣ |
| ٣٦ | قيم $B(E2)$ النظرية لنظير ^{166}Hf المستخرجة باستعمال البرنامج IBM-Code والقيم العملية المقابلة لها. | ٤-٣ |
| ٣٦ | قيم $B(E2)$ النظرية لنظير ^{168}Hf المستخرجة باستعمال البرنامج IBM-Code والقيم العملية المقابلة لها. | ٥-٣ |
| ٣٧ | قيم $B(E2)$ النظرية لنظير ^{170}Hf المستخرجة باستعمال البرنامج IBM-Code والقيم العملية المقابلة لها. | ٦-٣ |
| ٣٧ | قيم $B(E2)$ النظرية لنظير ^{172}Hf المستخرجة باستعمال البرنامج IBM-Code والقيم العملية المقابلة لها. | ٧-٣ |
| ٣٨ | قيم $B(E2)$ النظرية لنظير ^{174}Hf المستخرجة باستعمال البرنامج IBM-Code والقيم العملية المقابلة لها. | ٨-٣ |
| ٣٨ | قيم $B(E2)$ النظرية لنظير ^{176}Hf المستخرجة باستعمال البرنامج IBM-Code والقيم العملية المقابلة لها. | ٩-٣ |
| ٣٩ | قيم $B(E2)$ النظرية لنظير ^{178}Hf المستخرجة باستعمال البرنامج IBM-Code والقيم العملية المقابلة لها. | ١٠-٣ |
| ٣٩ | قيم $B(E2)$ النظرية لنظير ^{180}Hf المستخرجة باستعمال البرنامج IBM-Code والقيم العملية المقابلة لها. | ١١-٣ |
| ٤٣ | المعاملات المستعملة في البرنامج (IBM-١) لاجاد جهد السطح لنظائر $^{166-180}\text{Hf}$ | ١٢-٣ |
| ٥٢ | قيم الانتقالات النظرية والعملية وعزم القصور الذاتي ومربع الطاقة الدورانية لنظير ^{166}Hf | ١٣-٣ |
| ٥٣ | قيم الانتقالات النظرية والعملية وعزم القصور الذاتي ومربع الطاقة الدورانية لنظير ^{168}Hf | ١٤-٣ |
| ٥٣ | قيم الانتقالات النظرية والعملية وعزم القصور الذاتي ومربع الطاقة الدورانية لنظير ^{170}Hf | ١٥-٣ |
| ٥٤ | قيم الانتقالات النظرية والعملية وعزم القصور الذاتي ومربع الطاقة الدورانية لنظير ^{172}Hf | ١٦-٣ |
| ٥٤ | قيم الانتقالات النظرية والعملية وعزم القصور الذاتي ومربع الطاقة الدورانية لنظير ^{174}Hf | ١٧-٣ |
| ٥٥ | قيم الانتقالات النظرية والعملية وعزم القصور الذاتي ومربع الطاقة الدورانية لنظير ^{176}Hf | ١٨-٣ |
| ٥٥ | قيم الانتقالات النظرية والعملية وعزم القصور الذاتي ومربع الطاقة الدورانية لنظير ^{178}Hf | ١٩-٣ |
| ٥٦ | قيم الانتقالات النظرية والعملية وعزم القصور الذاتي ومربع الطاقة الدورانية لنظير ^{180}Hf | ٢٠-٣ |

الخلاصة

درست في هذا البحث نظائر $^{166-180}\text{Hf}$ باستعمال نموذج البوزونات المتفاعلة الاول (IBM-1) لتحديد مستويات الطاقة والعزوم رباعية القطب الكهربائي للمستوي Q_{2^+} بالإضافة إلى استعمال البرنامج IBMT لحساب احتمالية الانتقالات الكهربائية المختزلة $B(E2)$, وتحديد شكل النواة بدراسة طاقة جهد السطح حسب معادلات دالة هاملتون, وحساب مربع الطاقة الدورانية وعزم القصور الذاتي.

تم تحديد الزخم والتماثل لبعض مستويات الطاقة غير المحدده عمليا بصورة أكيدة , حيث تم تحديد المستوي 1.006MeV لنواة ^{166}Hf بزخم وتماثل (3_1^+) والمستويات 0.94MeV و 1.03MeV و 1.158MeV لنواة ^{168}Hf بزخم وتماثل $(2_4^+, 3_1^+, 0_2^+)$ على التوالي والمستويات 1.088MeV و 1.22MeV لنواة ^{170}Hf بزخم وتماثل $(4_3^+, 3_1^+)$ والمستوي 1.03MeV لنواة ^{172}Hf بزخم وتماثل (3_1^+) والمستوي 1.3MeV لنواة ^{174}Hf بزخم وتماثل (3_1^+) و تم تحديد زخم وتماثل مستويات طاقة اخرى لم تحدد عمليا , و تم تحديد زخم وتماثل مستوي طاقة 1.022MeV لنواة ^{166}Hf بالقيمة (4_2^+) , والمستويات 1.03MeV و 1.57MeV لنواة ^{172}Hf بالقيمة $(10_1^+, 8_1^+)$ وفي نواة ^{176}Hf تم توقع مستويين جديدين للطاقة 1.49MeV و 1.5MeV بزخم وتماثل مقداره $(4_2^+, 10_1^+)$, ومن خلال نموذج البوزونات المتفاعلة الاول (IBM-1) وجد أن نظائر $^{166,168}\text{Hf}$ تنتمي إلى المنطقة الانتقالية $SU(3) \rightarrow O(6)$, اما النظائر $^{170-180}\text{Hf}$ فتنتمي الى المنطقة الانتقالية $SU(3) \rightarrow O(6)$.

بسم الله الرحمن الرحيم

قرار المشرفين على الرسالة

أشهد إن إعداد هذه الرسالة الموسومة بـ "دراسة التركيب النووي لنظائر $Hf^{180-186}$ الزوجية-الزوجية باستعمال نموذج البوزونات المتفاعلة الاوول (IBM-1) " قد جرى تحت إشرافنا في قسم الفيزياء / كلية العلوم / جامعة بابل، وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في علوم الفيزياء.

| | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| التوقيع: | المشرف: |
| المشرف: د.عمر عبد الامير | المشرف: د.خالد حسين هاتف |
| المرتبة العلمية: استاذ مساعد | المرتبة العلمية: استاذ مساعد |
| العنوان: كلية العلوم / جامعة كربلاء | العنوان: كلية العلوم / جامعة بابل |
| التاريخ: ٢٠٠٦/ / | التاريخ: ٢٠٠٦/ / |

نوصية رئيس قسم الفيزياء

بناءً على التوصيات المتوافرة أرشح هذه الرسالة للمناقشة

التوقيع:
رئيس القسم: د.طالب هادي قدوري
المرتبة العلمية: أستاذ مساعد
العنوان: كلية العلوم / جامعة بابل
التاريخ: ٢٠٠٦/ /

قرار لجنة المناقشة

نشهد نحن أعضاء لجنة التقويم والمناقشة ، إننا اطلعنا على هذه الرسالة الموسومة " دراسة التركيب النووي لنظائر $Hf^{180-186}$ الزوجية-الزوجية باستعمال نموذج البوزونات المتفاعلة الاوول (IBM-1) " وقد ناقشنا الطالب سليم حمزة طرير في محتوياتها ، وفيما له علاقة بها ، ورأينا إنها جديرة بالقبول لنيل درجة ماجستير علوم في الفيزياء ، وعليه نوصي بقبول الرسالة وبتقدير (جيد جداً) .

رئيس اللجنة

التوقيع :
الاسم : د. حسين حمد الغزالي
المرتبة العلمية : أستاذ مساعد

العنوان : كلية العلوم / جامعة الكوفة
التاريخ : / / ٢٠٠٦

عضو اللجنة

التوقيع :
الاسم : د. محمد عبد الأمير كريم
المرتبة العلمية : أستاذ مساعد
العنوان : كلية العلوم / جامعة بابل
التاريخ: / / ٢٠٠٦

عضو اللجنة

التوقيع :
الاسم : د. أمين حبيب الخرساني
المرتبة العلمية : أستاذ مساعد
العنوان : كلية العلوم / جامعة ذي قار
التاريخ: / / ٢٠٠٦

عضو اللجنة

التوقيع :
الاسم : د. خالد حسين هانف
المرتبة العلمية : أستاذ مساعد
العنوان : كلية العلوم / جامعة بابل
التاريخ: / / ٢٠٠٦

عضو اللجنة

التوقيع :
الاسم : د. عامر عبد الأمير محمد علي
المرتبة العلمية : أستاذ مساعد
العنوان : كلية العلوم / جامعة كربلاء
التاريخ: / / ٢٠٠٦

مصادقة عمادة كلية العلوم

التوقيع :
الاسم : د. عودة مزعل ياسر
المرتبة العلمية : أستاذ
التاريخ: / / ٢٠٠٦

المقدمة Introduction

١-١ مقدمة عامة: General Introduction

أن محاولة فهم وتفسير الخواص النووية وطبيعة التفاعلات بين النيوكلونات والنتائج العملية المتعلقة بها أدت إلى وضع نظريات تبنى على بعض الأسس الفيزيائية المهمة لتصبح القاعدة الأساسية في الحسابات النظرية مع إضافة عدة عوامل مؤثرة لملائمة النتائج العملية.

أن هذه المشكلة المعقدة للتركيب النووي تم معالجتها بواسطة هذه التقديرات الرياضية تحت عنوان النماذج النووية (Nuclear model) ومن هذه النماذج التي درست التركيب النووي نموذج قطرة السائل (Liquid drop model) الذي اقترحه (Von Weizsacker, ١٩٣٤) [١] الذي فسّر طاقة الترابط (Binding Energy) وظاهرة الانشطار النووي (Nuclear Fission) ولم ينجح في إعطاء تفسير لاستقرارية النواة, أما نموذج القشرة (Shell model) اقترحه (W.Elsasier, ١٩٣٥) [٢]. فقد بينت التجارب العملية أن استقرارية النواة تكون عالية عندما يكون عدد النيوكلونات مساويا إلى احد الأعداد السحرية (Magic numbers) [٣] إضافة إلى ذلك حدد الزخم الزاوي لمستويات الطاقة إلا أنه فشل في تفسير البرم النووي للمستوى الأرضي للنوى الزوجية- الزوجية والذي يساوي صفرا دائما [٤]. كما أنه لم يعالج التأثير الذي يشوه الشكل الكروي للنواة الناتج عن النيوكلونات خارج القشرة المغلقة (Closed shell) الذي يؤدي إلى ظهور تأثيرات جماعية collective effect بينها متمثلة بالحركة الدورانية و الاهتزازية والانتقالية لكل منها وهذا ما تمت معالجته وفق النموذج الجماعي collective model الذي اقترحه ١٩٥٢, Boher and Mottelson [٥] التي قادت إلى تقسيم النواة إلى نيوكلونات مركزية ونيوكلونات خارج المركز حيث يتعامل المركز كقطرة سائل تتفاعل مع النيوكلونات الخارجية في القشرات غير الممتلئة.

أما نموذج الحركة الكلية التجميعية فيفترض أن التشويه الذي يصيب النواة يعتمد على زيادة عدد النيوكلونات, وان التفاعل فيما بينهما يكون تجميعيا.

لذا فان دوران النواة يكون صغيرا مقارنة بدوران النيوكلون الواحد وكلما زاد عدد النيوكلونات تزداد قوة كولوم فتصبح النواة أكثر مرونة elastic أو أكثر ليونة Soft وبالتالي يكون شكل النواة بيضويا Ellipsoid.

أن وصفا دقيقا لشكل النواة في هذه النماذج التجميعية يظهر نتيجة للتفاعلات القصيرة المدى أي (أزواج النيوكلونات) وتفاعلات طويلة المدى (تفاعلات رباعية القطب الكهربائي) والتي تحاول تشويه النواة [٣, ٦].

في عام ١٩٧٤ اقترح Arima & Iachell [٧] نموذجا نوويا استطاع من خلاله أن يصف خصائص مستويات الطاقة في النوى الزوجية - الزوجية ذات الأعداد الكتلية المتوسطة والثقيلة بواسطة أزواج النيوكلونات خارج القشرة المغلقة التي تمت معالجتها كبوزونات [٨] بحيث لم يأخذ بنظر الاعتبار درجات الحرية لهذه البوزونات وقد سمي بنموذج البوزونات المتفاعلة الأول IBM-١ وقد تطور هذا النموذج بإدخال درجات الحرية للبوزونات ونتيجة لهذا التعديل تم الكشف عن خصائص نووية جديدة للنوى وسمي بنموذج البوزونات المتفاعلة الثاني IBM-٢ [٩].

١-٢ الدراسات السابقة Literature Survey

لقد درس عدد من الباحثين التركيب النووي لنظائر الهافينيوم عمليا ونظريا وعلى ما يأتي :

١- الدراسة العملية:

قاس (Bochev) [١٠] وجماعته عام ١٩٧٦ شدة التغذية والأزمان وكذلك الأعمار للمستويات العليا لنوى $^{166, 168, 170} \text{Hf}$ الزوجية- الزوجية. وقد عين التفاعات $^{166-170} \text{Hf}$ باستعمال طريقة إزاحة دوبلر. $^{122, 124} \text{Sn}(\epsilon_{8, 50} \text{Ti}, \epsilon_n)$

وكذلك في عام ١٩٧٦ درس Deboer [١١] وجماعته خواص انحلال نواة $^{178} \text{Hf}$ بواسطة استنطارة كومبتن باستعمال كاشفي Ge(Li) & NaI(Tl) و الكاشف Si(Li) ومن خلال هذه الدراسة تم تحديد المستوي KeV (2447.5 ± 2.5) .

وفي عام ١٩٧٧ قام Walker [١٢] وجماعته بدراسة الحزم الدورانية الخمسة لنواة $^{172} \text{Hf}$ وقد لاحظ البرم العالي من التفاعل $^{160} \text{Gd}(\epsilon_n, \epsilon_n)$ باستعمال تقنية تطابق (γ, γ)

ووجد أن حزمة المستوي الأرضي قد تصل إلى برم 20^+ بدون ظاهرة الانحناء الخلفي تختلف عن النظائر الزوجية- الزوجية المجاورة.

وفي عام ١٩٨٠ حدد الباحثان Christmas & Cross [١٣] الشدة النسبية لأشعة كاما من انتقالات $E2$ النقية من انحلال نواة ^{180m}Hf وكذلك قاس شدة الالكترونات وحساب معاملات التحويل للقشرتين M, K .

وكذلك في عام ١٩٨٠ قاس Walker [١٤] وجماعته قاس العام لـ g لـ $K^\pi = 6^+, 8^- \text{ and } \frac{23^-}{2}$ من الايزوميرات مع أنصاف أعمار بمدى (٥-١٦٣)ns في نوى $^{172, 173, 174, 178}\text{Hf}$ باستعمال طريقة التوزيعات الزاوية المضطربة , وتضمنت النتائج مزيجاً من شبيهي النيوترونات في $K^\pi = 6^+$ من الايزوميرات في نواة ^{174}Hf , في حين شكلت ايزوميرات شبيهي الجسيمات الأخرى شبيهي بروتونات نقية , أما العامل g لـ $K^\pi = \frac{23^-}{2}$ من الايزومير لنواة ^{173}Hf فيوحي إلى شبيهي بروتونات زائد شبيه نيوترون واحد.

وفي عام ١٩٨١ درس Lisle [١٥] وجماعته المستويات ذات البرم العالي في نواة Hf 170 وقد هيجت بالتفاعل $^{16}\text{O}, \epsilon n$ ^{158}Gd ولوحظت مستويات تصل إلى $I^\pi = 26^+$ و مستويات جديدة ذات تماثل سالب و برم فردي تصل إلى $I^\pi = 25^-$.

و في عام ١٩٩٩ استعمل Alarcao [١٦] وجماعته أشعة نبضية لـ ^{208}Pd , ^{232}U لتركيز ايزوميرات k العالية متعددة الجسيمات لنظائر Hf الغنية بالنيوترونات عند خط الاستقرار β وبعده مقابل انتقال التهيج غير المرن , وبينت الخواص الطيفية لعدد من ايزوميرات k العالية جديدة أن ^{181}Hf هو أثقل نظير مستقر للعنصر .

وفي عام ٢٠٠٠ قاس الباحثان Dehaan & Aprahaiam [١٧] أعمار المستويات من الحزم $k^\pi = 2^+, k^\pi = 4^+$ وبعض حزم $k^\pi = 0^+$ في نواة ^{178}Hf باستعمال تقنية (GRID) ووجد إن الحدود العليا لقيم الاحتمالية $B(E2)$ تستبعد الانتقالات التجميعية من الحزمة $k^\pi = 4^+$ إلى حزمة المستوي الأرضي باستثناء حزمة γ $k = 2^+$.

وفي عام ٢٠٠٢ عين Hartley [١٨] وجماعته أربعة حزم دورا نية منتظمة بعزوم قصور ذاتية تتوافق مع حزم التشوه الفائق المعروفة في منطقة Lu/Hf في نواة ^{174}Hf , ووجدت حسب

التفاعل $^{130}\text{Te}(\text{Ca}^{48}, n)$ عند حزمة الطاقة 194MeV وقد تنبأت الحسابات النهائية بتشوه ثلاثي المحور $\gamma \approx \pm 17^\circ$ بتراكيب تشوه عليا لنواة ^{174}Hf .

وفي عام 2003 عين Djongolov [19] وجماعته ثلاثة حزم دورا نية منتظمة وبعزوم قصور ذاتية كبيرة في نواة ^{174}Hf وان خواصها تتوافق مع حزم التشوه الفائق ثلاثي المحور المعروفة في منطقة Lu/Hf إذ تنبأت الحسابات بتشوه ثلاثي المحور $\gamma \approx \pm 17^\circ$ لتراكيب ^{174}Hf مع تشوه $\epsilon_2 \approx 0.45$. ووجد أن فجوة القشرة عند $N=100$, 106 و $\gamma \approx 15^\circ$ هي متوقعة لـ $\epsilon_2 \approx 0.45$ وهي مسؤولة على الأكثر عن النهاية الصغرى (TSD) المحسوبة في نواة ^{174}Hf .

ب- الدراسة النظرية:

في عام 1978 استخدم الباحث Sevn Aberg [20] جهد التذبذب المحوري لدراسة نوى HF $^{172-180}$ عند زخوم زاوية عالية جدا , ووجد أن جميع هذه النظائر تدور حول محور التناظر المتطاول لقيم برم $I = 10.40 \text{ h}$.

وفي عام 1979 درس Van klinken [21] وجماعته انحلال المستويين 16^+ ذات الأشباه الاربعه للجسيمات و 8^- ذات شبيهي الجسيمات لنواة ^{178}Hf مع التأكيد على نماذج انحلال K الممنوعة, وكان مطابقاً للتفرع M4 في انحلال المستوي 16^+ , وقد عين الايزومير عند طاقة تهيج 2446 keV .

وفي عام 1999 درس الباحث Aprahaiam [22] التهيجات الاهتزازية التجميعية $k^\pi = 0^+$ في نواة ^{178}Hf وقد أدت الدراسة إلى إعادة فحص دقيق للتهيجات الواطئة $K^\pi = 0^+$ في النوى المشوهة, وقد قام الباحث بحساب أعمار المستويات في ثلاث حزم لـ $k^\pi = 0^+$ عند 1199 keV , 1434 keV , 1772 KeV وقد وجد أن الحزمة التجميعية $k^\pi = 0^+$ عند 1772 KeV تنحل إلى الحزمة عند 1199 keV و بانتقالات تجميعية.

في عام 2001 وجد Amro [23] وجماعته ثلاثة حزم فائقة التشوه في نواة ^{178}Hf , أظهرت قياسات معدل العمر عزم رباعي قطب كبير وكانت تساوي $Q_4 \approx 11.4 \text{ eb}$ لأقوى الحزم (TSD) ووجد أن الحسابات النظرية تنتبأ نهاية صغرى للبرم العالي $\epsilon_2 \approx 0.43$ مع تشوه مستقر لـ $\gamma \approx +20^\circ$, حيث أن القيمة المقيسة لـ Q_4 توحى بان حزمة (TSD) تعود على الأكثر إلى تشوه بقيمة موجبة لـ γ وهذا يمثل أول دليل على تشوه فائق ثلاثي المحور لنظام البروتونات الزوجية.

وفي عام ٢٠٠٤ استخدم Yang Sun [٢٤] وجماعته نموذج القشرة لنواة زوجية لدراسة شبه الجسيمات المتعددة والتهيجات الجماعية لنواة ^{178}Hf باستعمال التناظر المحوري ووجد أن الايزومير ذا البرم 16^- ينفصل عند طاقة 2.4 MeV عن الإشكال الأخرى.

في عام ٢٠٠٥ درس Bao- An Bian [٢٥] وجماعته تصنيف عامل g لحالة التهيج الأول 2^+ بواسطة نموذج قشرة المحاور الثلاثة وان الدراسة تعطي الانويه الزوجية – الزوجية لكل سلاسل النظائر من Pt-Gd بضمنها سلسلة Hf وقد حسب العامل g باستعمال الدوال الموجية المستحصلة في نموذج القشرة التي تعطي بشكل جيد حزم الحالة الأرضية والحزم الاهتزازية, وللنظائر من W-Gd فان الصفة المميزة لمعطيات العامل g عبر السلسلة النظائرية هي إمكانية وصفها بشكل متوافق بواسطة النموذج الحالي.

وأيضاً في عام ٢٠٠٥ درس الباحثان K.E.Abd Elmageed&I.Abou-Salem [٢٦] نظائر Hf الزوجية- الزوجية باستعمال جهدي ودز- ساكسون وكولوم المحوري وأطيافها في النموذج العنقودي. إذ تمت مقارنة الحسابات النظرية لطاقات التهيج واحتمالية الانتقال $B(E2)$ للمستوي الأرضي مع النتائج العملية, حيث أن النتائج التي تم الحصول عليها تعكس قابلية هذا النموذج على وصف حزمة الدوران النقية للمستوي الأرضي.

٣-١ الهدف من البحث: The aim of the research:

- في هذا البحث تمت دراسة نظائر $^{180-166}\text{Hf}$ الزوجية- الزوجية وكانت الغاية من تلك الدراسة معرفة بعض الخصائص النووية لهذه النظائر، واستخدم نموذج البوزونات المتفاعلة الاوول (IBM-١) لهذا الغرض، حيث درست الخصائص الآتية:
- ١- دراسة مستويات الطاقة لنظائر $^{180-166}\text{Hf}$ وتم تحديدها المعاملات Parameters المستعملة في هذا البرنامج ومقارنة النتائج النظرية مع النتائج العمليّة المتوافرة.
 - ٢- حساب قيم معدلات الاحتمالية المختزلة $B(E2)$ ومقارنتها مع النتائج العمليّة أن وجدت.
 - ٣- تحديد قيمة عزم رباعي القطب الكهربائي Q لمعرفة شكل النواة ومقدار التشوه الحاصل فيها .
 - ٤- تحديد البرم والتماثل لبعض مستويات الطاقة التي لم تحدد خواصها ولمعرفة فيما اذا كانت هناك مستويات جديدة لم تحدد في الدراسات العمليّة.
 - ٥- دراسة طاقة جهد السطح $E(\beta, \gamma)$ (Potential Energy Surface).
 - ٦- دراسة مربع الطاقة الدورانية $\hbar^2 \omega^2$ وعزم القصور الذاتي $(\frac{2g}{\hbar^2})$ لكل نواة يساعد على التوصل إلى المفاهيم الأساسية للتركيب النووي.

٢-١ نموذج البوزونات المتفاعلة (IBM) Interacting Boson Model

اقترح (Iachello & Arima) [٧] في عام ١٩٧٤ نموذجاً نووياً يصف التركيب النووي للنوى الزوجية- الزوجية الجماعية للمستويات الواطئة (Low –Lying Collective Levels) يسمى نموذج البوزونات المتفاعلة (Interacting Boson Model), حيث اهتم بوصف التركيب الجماعي (Collective Structure) للنوى المتوسطة و الثقيلة.

ان نموذج البوزونات المتفاعلة IBM يعالج النيوكليونات (Nucleons) خارج الاغلفة المغلقة للنوى الزوجية – الزوجية بوصفها أزواج من البروتونات و النيوترونات تدعى البوزونات (Bosons) والتي لها القابلية على التفاعل مع بعضها ويمكن أن تشغل المسوي الأرضي S (Ground State) عندما يكون زخمها الزاوي مساوياً للصفر ($L=0$) وتسمى بوزونات S (s-boson), وتشغل المستويات المثيعة عندما يكون زخمها الزاوي ($L=2$) وتسمى بوزونات d (d-boson) [٢٧] وعندما يكون ($L=3$) عدداً فردياً تسمى بوزونات f (f-boson) وهذه تصف حالات التماثل السالبة (Negative Parity State) [٢٨].

٢-٢ نموذج البوزونات المتفاعلة الاوّل

IBM-١ (Interacting Boson Model-١)

أن نموذج البوزونات المتفاعلة-١ لا يميز بين بوزونات البروتونات (s_π, d_π) وبوزونات النيوترونات (s_ν, d_ν) [٢٩, ٣٠] حيث يتم حساب عدد البوزونات بوصفها أزواجاً من الجسيمات ($N_\pi(\nu)$ Particles Paier), ابتداءً من اقرب قشرة مغلقة وحتى منتصف القشرة التي تليها حيث يتم حساب البوزونات بعدها بوصفها أزواجاً من الفجوات ($\bar{N}_\pi(\nu)$ Hole-Pairs) [١٢] أما في حالة التمييز بين بوزونات البروتونات والنيوترونات فان النموذج المختص لمعالجتها يدعى بنموذج البوزونات المتفاعلة الثاني (IBM-٢) [٢٨, ٣١]. في نموذج البوزونات المتفاعلة الاوّل نجد أن بوزونات s و d يمكنها التفاعل فيما بينها ونتيجة لذلك فان الصيغة العامة للنظام الهاملتوني تكتب بعد تعريف مؤثرات الخلق و الفناء (Creation Operators) (d, S_m^\dagger) (Annihilation Operators) (S, d_m) [٢٧, ٣٢] وعلى ما يأتي:

$$\begin{aligned}
 H = & \varepsilon_s (SS) + \varepsilon_d \sum_m d_m^\dagger d_m + \sum_{L=0,2,4} \frac{1}{2} (2L+1)^{1/2} C_L \left[(d^\dagger d^\dagger)^{(L)} (dd)^{(L)} \right]^{(0)} \\
 & + \frac{1}{\sqrt{2}} v_2 \left[(d^\dagger d^\dagger)^{(2)} (ds)^{(2)} + (s^\dagger d^\dagger)^{(2)} (dd)^{(2)} \right]^{(0)} \\
 & + \frac{1}{2} v_o \left[(d^\dagger d^\dagger)^{(0)} (ss)^{(0)} + (s^\dagger s^\dagger)^{(0)} (dd)^{(0)} \right]^{(0)} \\
 & + u_2 \left[(d^\dagger s^\dagger)^{(2)} (ds)^{(2)} \right]^{(0)} + \frac{1}{2} u_o \left[(s^\dagger s^\dagger)^{(0)} (ss)^{(0)} \right]^{(0)} \dots\dots\dots (1-2)
 \end{aligned}$$

حيث أن $(C_L(L=0,2,4), v_L(L=0,2), u_L(L=0,2))$ تصف تفاعل البوزونات بعضها مع بعض وتعتمد هذه المعاملات على عدد البوزونات N أما الأقواس الدائرية فأنها تمثل الزخم الزاوي. وهناك عدة صيغ أخرى مكافئة للصيغة العامة لكتابة المؤثر الهاملتوني للطاقة حيث يمكن أعاده كتابة المعادلة (1-2) باستعمال صيغة التوسع متعدد القطبية (Multiple Expansion) [٢٨]

$$H = \varepsilon_{nd} + \alpha_o P^2 + \alpha_1 L^2 + \alpha_2 Q^2 + \alpha_3 T_3^2 + \alpha_4 T_4^2 \dots\dots\dots (2-2)$$

حيث أن $\varepsilon = \varepsilon_d - \varepsilon_s$ تمثل طاقة البوزونات وللسهولة افترضت أن طاقة البوزون S مساوية للصفر ولهذا فإن $\varepsilon = \varepsilon_d$ أما المعاملات a_4, a_3, a_2, a_1, a_0 فإنها تعبر عن قوة تفاعل الازدواج والزخم الزاوي ورباعي القطب وثمانى القطب والقطب السادس عشر بين البوزونات وعلى التوالي . تمتلك بوزونات (d,s) معا ستة مركبات (six components) كما في المعادلة (1-2) حيث تمتد المركبات الخمسة للبوزونات d والمركبة المفردة للبوزون s على فضاء لستة ابعاد (six dimensional space) ولذلك ممكن وصفها $SU(6)$. ومن الخواص الأخرى التي يمكن حسابها بالإضافة إلى حساب مستويات الطاقة باستعمال هذا النموذج هي معدلات الانتقال الكهرومغناطيسي (E.M. transition rates) والصيغة العامة هي [٢٩].

$$T_m^{(L)} = \alpha_2 \delta_{L_2} \left[d^+ s + s^+ d \right]_m^{(2)} + \beta_L \left[d^+ d \right]_m^{(L)} + \gamma_o \delta_{L_0} \delta_{m_0} \left[s^+ s \right]_0^{(0)} \dots (3-2)$$

حيث تمثل $(\gamma_0, \beta_L, \alpha_2)$ معاملات الحدود المختلفة للمؤثر , وتعطي هذه المعادلة أيضا مؤثرات الانتقال للانتقالات E_0, M_1, E_2, M_3, E_4 مع قيم مناسبة للمعاملات المتعلقة بها. ومن الممكن الحصول على المؤثر الانتقالي $T_m^{(E_2)}$ الذي شهد تطبيقات واسعة الانتشار في تحليل انتقالات أشعة كما من الصيغة الآتية: [٣٣]

$$T_m^{(E_2)} = \alpha_2 [d^\dagger s + s^\dagger d]_m^{(2)} + \beta_2 [d^\dagger d]_m^2 \dots \dots \dots (4-2)$$

أن مؤثر الانتقال متعدد E_2 يتطلب معرفة معاملين هما β_2, α_2 القطبية)

للحالتين الابتدائية J_i والنهائية J_f , وبمجرد معرفة مؤثرات الانتقال فأنه من الممكن حساب معدلات الانتقال الكهرومغناطيسية وبالطريقة الاعتيادية نأخذ عنصر المصفوفة المختزلة (Reduced Matrix Elements) لـ T^L بين الحالتين الابتدائية والنهائية. $\langle J_f || T^L || J_i \rangle$ وبعد ذلك نحصل على $B(EL)$ و $B(ML)$ من العلاقة التالية [٢٩, ٣٤, ٣٥].

$$B(L, J_i \rightarrow J_f) = \frac{1}{2J_i + 1} |\langle J_f || T^L || J_i \rangle|^2 \dots \dots \dots (5-2)$$

٣-٢ التناظرات الديناميكية: Dynamical Symmetries

تسمى التحديدات الثلاثة الخاصة والتي عندها يمكن حل مسألة القيم الذاتية Eigen Value Problem لها ملتون IBM-١ تحليليا والمتمثلة بالمعادلة (٢-١) بالتناظرات الديناميكية [٢٩, ٣٥] وهي على الآتي:

١- التحديد الاهتزازي $SU(5)$ (The Vibration Limit)

يعدّ هذا التحديد من أول التحديدات التي عرضها (Arima & Iachello) الذي تكون طاقة البوزون ε فيه اكبر بكثير من جهد التفاعل (V) حيث يعطي الهاملتون الخاص به بالشكل الآتي: [٣٦,٧]

$$H^1 = \varepsilon \sum_m d^\dagger_m d_m + \sum_L \frac{1}{2} (2L+1)^{1/2} CL \left[(d^\dagger d^\dagger)^{(L)} \cdot (dd)^{(L)} \right]^{(0)} \dots\dots\dots (6-2)$$

أو

$$H^1 = \varepsilon_{nd} + a_1 L^2 + a_3 T_3^2 + a_4 T_4^2 \dots\dots\dots (7-2)$$

أما معادلة القيم الذاتية لهاملتون $SU(5)$ فتعطي بصيغة [٣٤]:

$$E |N, n_d, \nu, n_\Delta, L, M\rangle = \varepsilon n_d + \frac{\alpha n_d}{2} (n_d - 1) + \beta (n_d - \nu)(n_d + \nu + 3) + \gamma [L(L+1) - 6n_d] \dots\dots\dots (8-2)$$

$$n_d = 0, 1, 2, \dots\dots\dots N$$

إذ أن

حيث أن:

الحالات الذاتية (Eigen states) تعرف بالأعداد الكمية $|N, n_d, \nu, n_\Delta, L, M\rangle$ و N العدد الكلي للبوزونات و n_d عدد البوزونات في المستوي d و ν الاسبقية (Seniority) أو عدد البوزونات غير المزدوجة لزوج زاوي مقداره صفر و n_Δ هو عدد البوزونات المرتبطة ثلاثيا (Tripled Coupled) لزوج زاوي مقداره صفر و L, M الأعداد الكمية المعروفه للزوج الزاوي ومركبته والشكل (٢-١) يوضح طيفا نموذجيا لنواة اهتزازته نقيه [٣٦, ٢٨].

ويأخذ المؤثر متعدد القطبية ($E2$) أشكالا مختلفة حسب نوع التحديد ففي حالة التحديد الاهتزازي $SU(5)$ يأخذ هذا المؤثر صيغة مشابهة لصيغة المعادلة (٢-٤) ويحقق قواعد الاختيار

(Selection Rules) الآتية: [٣٦]

$$\Delta n_d = 0, \pm 1$$

أما القيمة المختزلة لاحتمالية الانتقال رباعي القطب $B(E2)$ للحالة الارضية فأنها تعطى [٣٠] بـ:

$$B(E2, 2 \rightarrow L) = \frac{\alpha_2^2}{4} (L+2)(2N-1) \dots\dots\dots (9-2)$$

ولهذا فان قيمة الاحتمالية تكتب:

$$B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+) = \alpha_2^2 N \dots \dots \dots (10-2)$$

أما عزم رباعي القطب فإنه يعطى بالمعادلة [٣٤]:

$$Q_L = \beta_2 \sqrt{\frac{16\pi}{5}} \sqrt{\frac{1}{14}} L \dots \dots \dots (11-2)$$

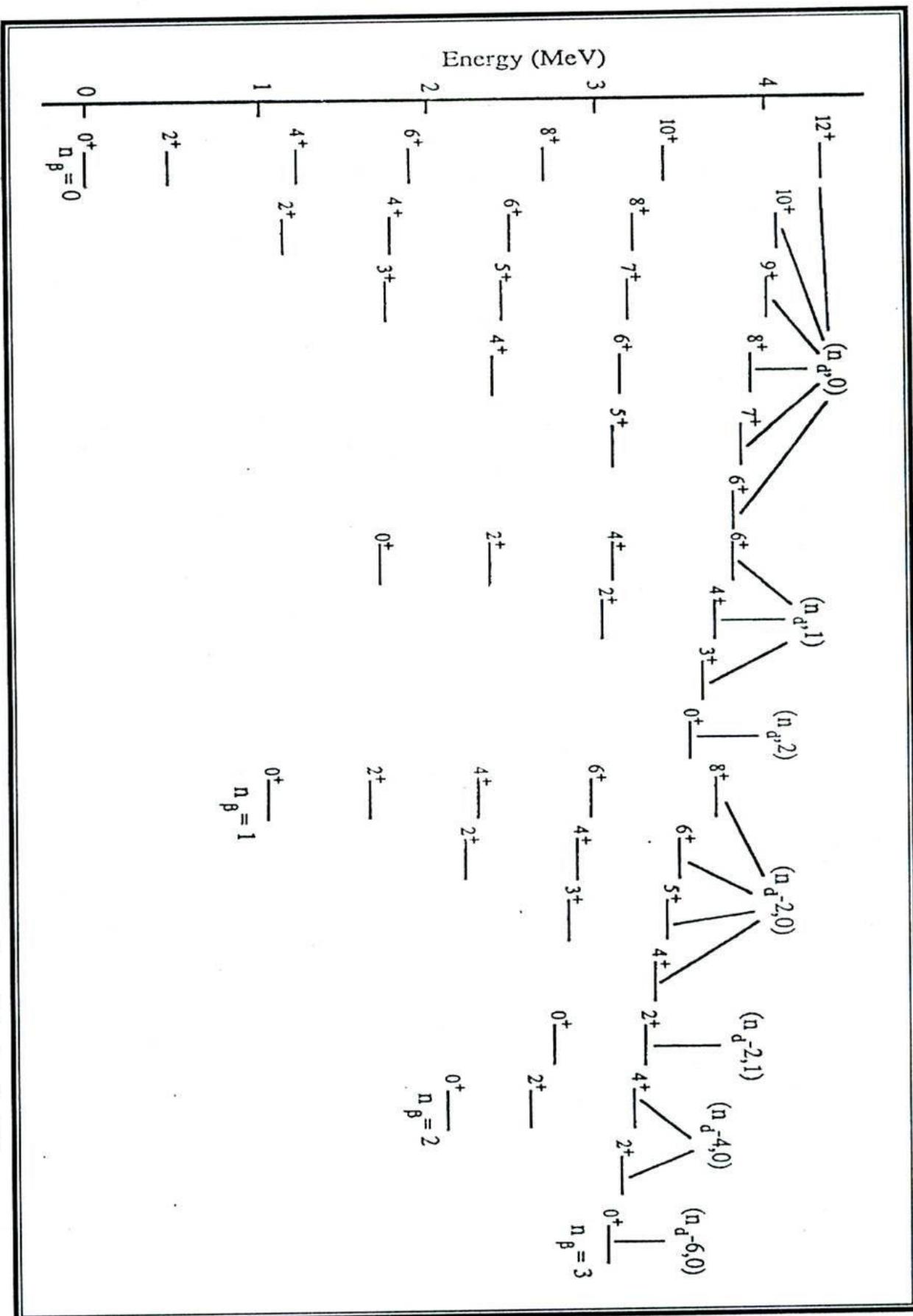
$$Q_{2_1^+} = \beta_2 \sqrt{\frac{16\pi}{5}} \sqrt{\frac{2}{7}} \dots \dots \dots (12-2)$$

حيث أن β_2 يمكن تعريفها بالشكل الآتي [٣٦]:

$$\beta_2 = -\frac{0.7}{\sqrt{5}} \alpha_2 \dots \dots \dots (13-2)$$

حيث يمكن أن نستنتج من المعادلة (٨-٢) النسبة الخاصة في حالة التحديد $SU(5)$ [٣٣]

$$R = \frac{B(E2, 4_1^+ \rightarrow 2_1^+)}{B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)} = \frac{2(N-1)}{N} \leq 2 \dots \dots \dots (14-2)$$



شكل (2-1): الطيف النموذجي للتوحيد SU(5) لـ $N=6$ مع قيم ν و n_d و الزخم الزاوي لكل مستوي $^{28}_1$

٢- التحديد الدوراني: SU(٣) The Rotational Limit

هذا التحديد في البرنامج يستند إلى كون طاقة البوزون ϵ اصغر بكثير من جهد التفاعل V أي أن تفاعل رباعي القطب الكهربائي (Q.Q) هو المهيمن في التفاعل إضافة إلى تفاعل ثنائي الزخم الزاوي (L.L) والصيغة العامة للهاملتون [٣٢] هي:

$$H^H = a_1 L^2 + a_2 Q^2 \dots\dots\dots (15-2)$$

أما معادلة القيمة الذاتية لهاملتون SU(٣) فأنها تعطى [٢٩] بـ:

$$E|N, (\lambda, \mu), K, L, M\rangle = \frac{a_2}{2} (\lambda^2 + \mu^2 + \lambda\mu + 3(\lambda + \mu) + (a_1 - \frac{3a_2}{8}).L(L-1) \dots\dots\dots (16-2)$$

حيث أن الأعداد الكمية (λ, μ) يمثلان حالات SU(٣) أما العدد الكمي K فيرمز إلى الحالات التي تمتلك قيما متساوية لـ (λ, μ, L) والشكل (٢-٢) يوضح طيفا نموذجيا للتحديد الدوراني SU(٣) [٣٢, ٢٨] أما قيمة المؤثر الانتقالي $T_m^{(E2)}$ لهذا التحديد فإنه يعطى بالصيغة الآتية [٣٢]:

$$T_m^{(E2)} = \alpha_2 \left[(d^\dagger s + s^\dagger d)_m^{(2)} - \frac{\sqrt{7}}{2} (d^\dagger d)_m^{(2)} \right] \dots\dots\dots (17-2)$$

حيث تعد $(\beta_2 = -\frac{\sqrt{7}}{2}\alpha_2)$ وتكون قواعد الاختيار (Selection Rules) لهذا التحديد [٣٠, ٢٨]

$$\Delta\lambda = 0, \Delta\mu = 0$$

أما قيمة $B(E2)$ فتعطى بالصيغة الآتية [٣٤].

$$B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+) = \alpha_2^2 \frac{N}{5} (2N + 3) \dots\dots\dots (18-2)$$

أو

$$B(E2, L+2 \rightarrow L) = \alpha_2^2 \frac{3}{4} \frac{(L+2)(L+1)}{(2L+3)(2L+5)} (2N-L)(2N+L+3) \dots\dots\dots (19-2)$$

بينما يعطى عزم رباعي القطب الكهربائي للتحديد الدوراني بالصيغة الآتية: [٣٠]

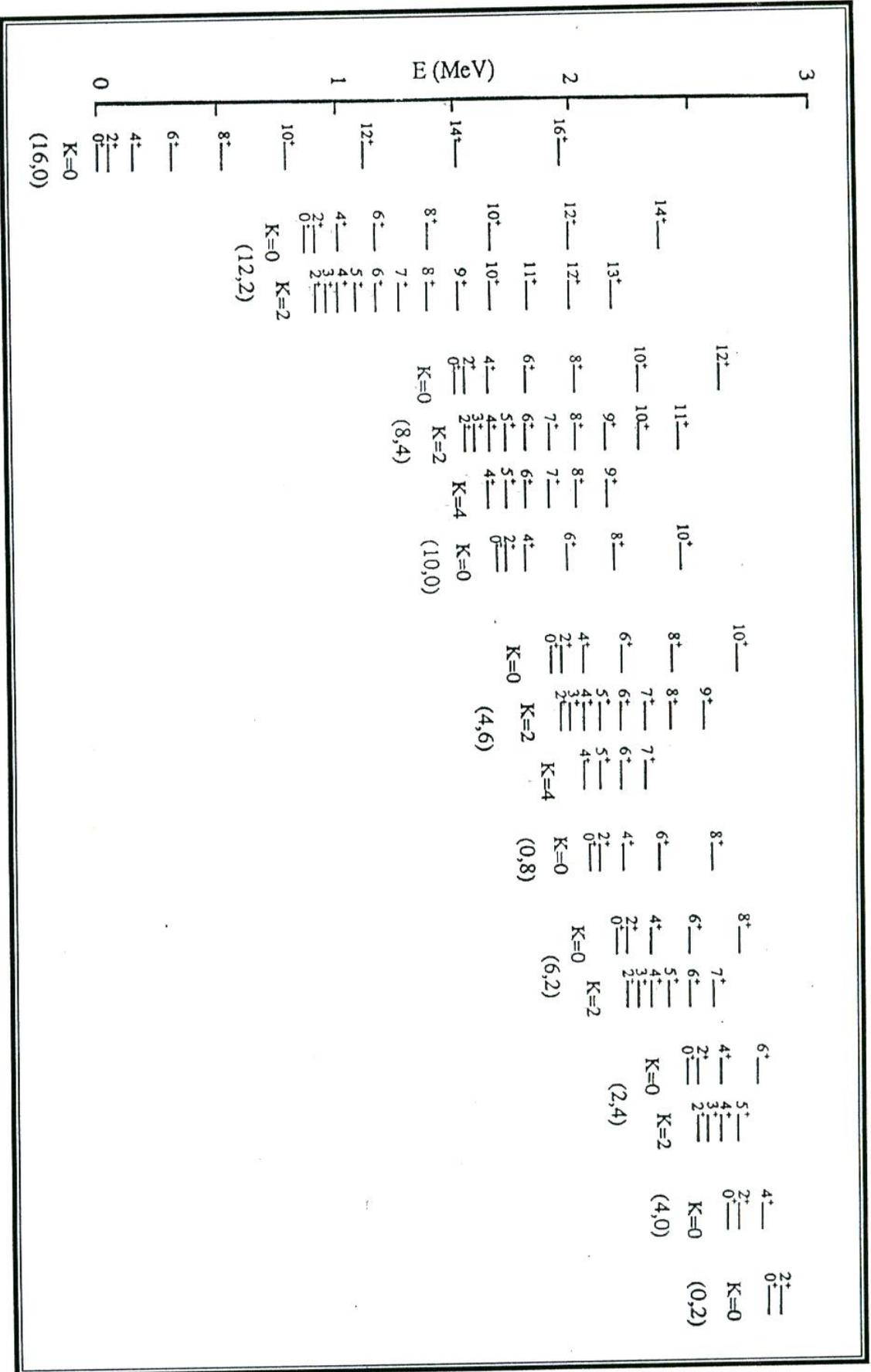
$$Q_L = -\alpha_2 \sqrt{\frac{16\pi}{40}} \frac{L}{2L+3} (4N+3) \dots\dots\dots (20-2)$$

أو

$$Q_{2_1^+} = -\alpha_2 \sqrt{\frac{16\pi}{40}} \frac{2}{7} (4N+3) \dots\dots\dots (21-2)$$

ومن المعادلة (١٨-٢) يمكن إيجاد النسبة [٣٥, ٣٣]

$$\frac{B(E2, 4_1^+ \rightarrow 2_1^+)}{B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)} = \frac{10}{7} \frac{(N-1)(2N+5)}{N(2N+3)} \leq \frac{10}{7} \dots\dots\dots (22-2)$$



شكل (2-2): الطيف النموذج للتحديد SU(3) لـ (N=8) مع قيم λ و μ و k والزخم الزاوي لكل مستوي [٢٨]

ومن الجدير بالذكر أن معالجة النواة باستعمال نموذج ال-IBM في تحديد SU(3) تقترب من المعالجة باستعمال النموذج الهندسي لـ (Bohr & Mottelson) [38, 39] وهذا لا ينطبق على التحديد SU(5) وتكون قيمة Q_{IBM} في المعادلة (2-20) تساوي قيمتها المستخرجة بالنموذج الهندسي Q_{BM} [32] حيث أن :

$$Q_{BM}(L) = -eQ_0 \frac{L}{2L+3} \dots\dots\dots(23-2)$$

حيث إن:

Q_0 تمثل عزم رباعي القطب الكهربائي الذاتي (Intrinsic Quadruple Moment) [40] ومن الممكن إيجاد عزم رباعي القطب الكهربائي الذاتي Q_0 بعد معرفة قيمة الاحتمالية من المعادلة

$$B(E2, L \rightarrow L-2) = \frac{5}{16\pi} \frac{3}{2} \frac{(L-1)}{(2L-1)} \frac{L}{(2L+1)} e^2 Q_0^2 (L \rightarrow L-2) \dots\dots\dots(24-2)$$

آلاتية
وتساوي
:[47]

$$Q_0 = \sqrt{B(E2, L+2 \rightarrow L) \frac{16\pi}{5} \frac{2(2L+3)(2L+5)}{3(L+2)(L+1)e^2}} \dots\dots\dots(25-2)$$

أو

$$Q_0 = \left[\frac{16\pi B(E2)}{e^2} \right]^{1/2} \dots\dots\dots(26-2)$$

٣- تحديد γ -Unstable ($O(6)$):

هذا التحديد ينتج عندما يهيمن تفاعل الازدواج بين البوزونات (P.P) على طاقة البوزونات ε ويكون الهاملتون لهذا التحديد على الوجه الآتي: [33]

$$H^{III} = a_0 p^2 + a_1 L^2 + a_3 T_3^2 \dots\dots\dots(27-2)$$

أما معادلة القيم الذاتية فأنها تعطى بالشكل الآتي: [٢٨]

$$E|N, \delta, \tau, \nu\Delta, L, M\rangle = \frac{A}{4}(N - \delta)(N + \delta + 4) + \frac{B}{6}\tau(\tau + 3) + CL(L + 1) \dots (28-2)$$

حيث تعرف δ, τ بالأعداد الكمية والتي تأخذ القيم الآتية:-

$$\delta = N, N-2, \dots, 0 \text{ or } 1 \text{ for } N=\text{Even or } N=\text{odd} \dots (29-2)$$

$$\tau = \delta, \delta-1, \dots, 0 \dots (30-2)$$

اذ ان المعاملات C, B, A تمثل القيم الذاتية المرافقة , و $\nu\Delta$ تمثل عدد البوزونات d المرتبطة

ثلاثيا لزخم زاوي مقداره صفر والشكل (٢-٣) يوضح طيفا نموذجا للتحديد $O(6)$ [٢٨, ٣٣]

أما مؤثر الانتقال $T_m^{(E2)}$ في هذا التحديد فإنه يكتب بالصيغة الآتية: [٣٣]

$$T_m^{(E2)} = \alpha_2 [d^\dagger s + s^\dagger d]_m^{(2)} \dots (31-2)$$

حيث أن:

$$\beta_2 = 0 \text{ وبقوانين انتقاء } (\Delta\tau = \pm 1, \Delta\delta = 0) \text{ [٢٨, ٣٣] وقيمة } B(E2) \text{ فأنها تعطى بـ [٣٤, ٢٨]}$$

$$B(E2, L+2 \rightarrow L) = \alpha_2^2 \frac{L+2}{2(L+5)} \frac{1}{4} (2N-L)(2N+L+8) \dots (32-2)$$

أو

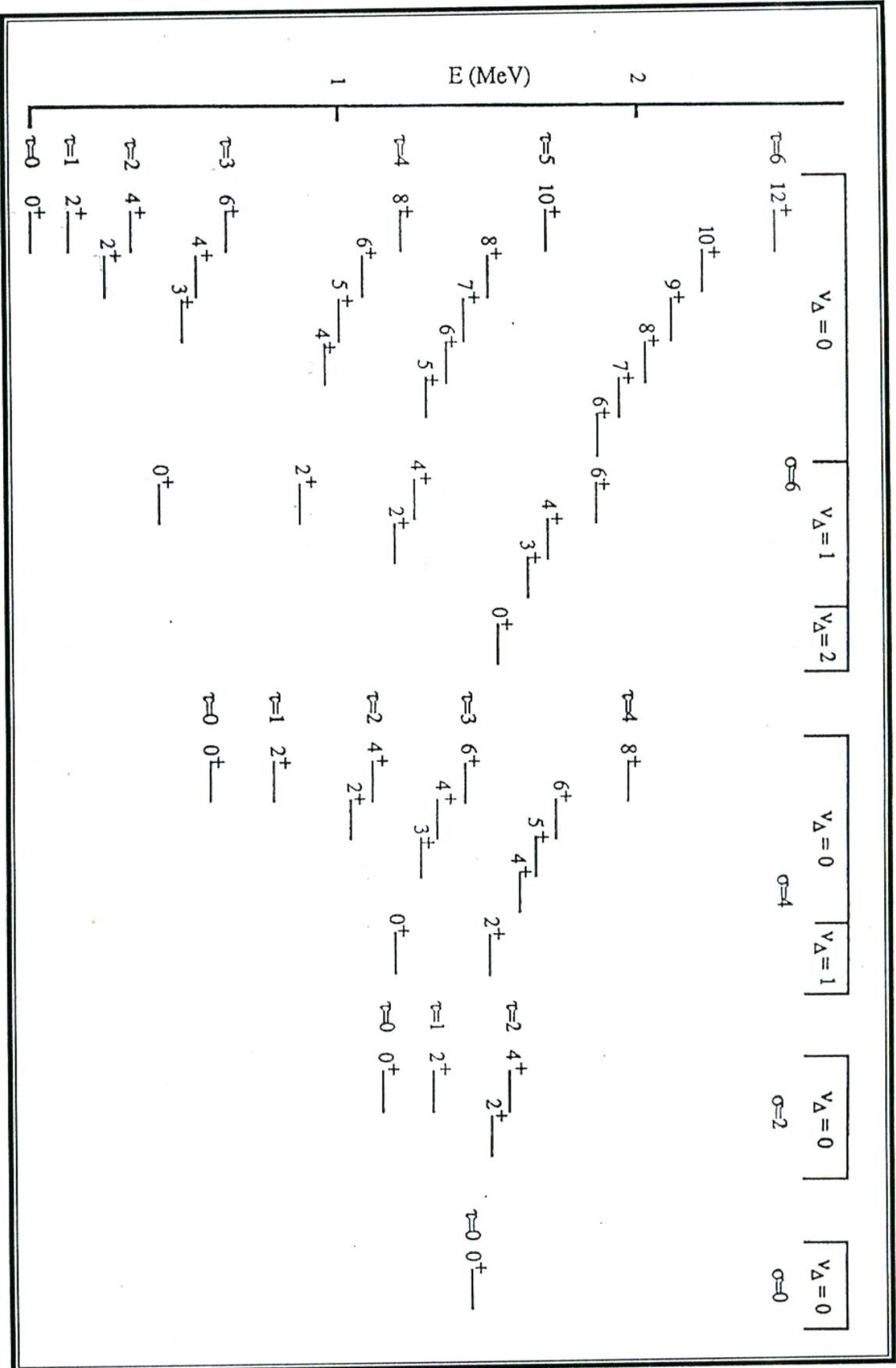
$$B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+) = \alpha_2^2 \frac{N}{5} (N+4) \dots (33-2)$$

ومن قواعد الاختبار لهذا التحديد يمكن استنتاج أن قيم عزم رباعي القطب الكهربائي تساوي صفرا

$$Q_L = 0 \dots (34-2)$$

ومن المعادلة (٢-٣٢) يمكن إيجاد النسبة: [٤١]

$$\frac{B(E2, 4_1^+ \rightarrow 2_1^+)}{B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)} = \frac{10}{7} \frac{(N-1)(N+5)}{N(N+4)} < \frac{10}{7} \dots (35-2)$$



شكل (3-2): العنيفة النموذجي للتوحيد O(6) لـ (N=6) مع قيم σ و ν_A و الزخم الزاوي لكل مستوي [٧٨]

٢-٤ المناطق الانتقالية في نموذج البوزونات المتفاعل الاول

١-IBM Transitional Regions

إن التحديدات التي نوقشت سابقا تعطي مجموعة من الحلول التحليلية التي يمكن اختبارها بسهولة [٢٨, ٢٩, ٣٤] حيث أن عدد النوى التي يمكن وصفها بهذه التحديدات قليلة جدا لان اغلب النوى تمتلك صفات مشتركة بين التحديدات تسمى بالنوى الانتقالية والتي يمكن تقسيمها إلى أربعة أصناف هي:

١- الصنف A:

تمتلك نوى هذا الصنف خواص انتقالية بين التحديدين $SU(5)$ و $SU(3)$ [٢٩] وتكون الصيغة الهاملتونية لها هي [٤٢]:

$$H^{I-II} = \varepsilon_{nd} + a_1 L.L + a_2 Q.Q \dots \dots \dots (36-2)$$

حيث أن خواص هذا الصنف تعتمد أساسا على النسبة $\frac{\varepsilon}{a_2}$ إذ إنها تؤدي دورا كبيرا في السيطرة على معالم هذه المنطقة, فعندما تكون هذه النسبة كبيرة فهذا يعني أن هذه الخواص تكون قريبة إلى التحديد الاهتزازي $SU(5)$.

أما إذا كانت صغيرة فيعني إنها اقرب إلى التحديد الدوراني $SU(3)$, وإذا كانت متوسطة فان الحل سيكون بين التحديدين, والشئ نفسه سوف يحدث بالنسبة لنسب الانتقالات الكهرومغناطيسية كالنسبة [٣٤].

$$R = \frac{B(E2, 2_2^+ \rightarrow 0_1^+)}{B(E2, 2_2^+ \rightarrow 2_1^+)} \dots \dots \dots (37-2)$$

حيث أن النسبة تكون بين القيمتين $R=0$ في التحديد $SU(5)$ و $R=7/10$ في $SU(3)$.

٢- الصنف B:

تمتلك نوى هذا الصنف خواص انتقالية بين التحديدين $SU(3)$ و $O(6)$ [٢٨] وتكون الصيغة الهاملتونية لها هي: [٣٤]

$$H^{II-III} = a_0 p.p + a_1 L.L + a_2 Q.Q \dots \dots \dots (38-2)$$

حيث أن خواص هذا الصنف تعتمد على النسبة $\frac{a_0}{a_2}$ فعندما تكون كبيرة فإنه يميل إلى التحديد

$O(6)$ وعندما تكون صغيرة يميل إلى التحديد $SU(3)$.

أما نسبة الانتقال الكهرومغناطيسي (R) لهذا الصنف فتأخذ قيماً متوسطة ما بين $R=0$ للتحديد $O(6)$ و $R=7/10$ للتحديد $SU(3)$ [٣٤].

٣- الصنف C:

تمتلك نوى هذا الصنف خواص انتقالية بين التحديدين $SU(5)$ و $O(6)$ [٣٤] أما الصيغة الهاملتونية لها فهي: [٢٩]

$$H^{1-111} = \varepsilon_{nd} + a_0 p.p + a_1 L.L + a_3 T_3.T_3 \dots (39-2)$$

خواص هذا النوع تعتمد على النسبة $\frac{\varepsilon}{a_0}$.

٤- الصنف D:

إن نوى هذا الصنف تمتلك خواص انتقالية مشتركة بين التحديدات الثلاثة السابقة الذكر , ويكتب الهاملتون لها بالصيغة الآتية : [٢٨]

$$H = \varepsilon_{nd} + a_0 p.p + a_1 L.L + a_2 Q.Q + a_3 T_3.T_3 + a_4 T_4.T_4 \dots (40-2)$$

٥-٢ طاقة جهد السطح Potential Energy Surface

يمكن الحصول على جهد السطح من مؤثر دالة هاملتون على اعتبار ان الطاقة هي دالة لكل

من العدد الكلي للبورونات N وعاملي التشوه (β, γ) كما في المعادلة الآتية [٣٤, ٤٢]

$$E(N, \beta, \gamma) = \frac{\langle N, \beta, \gamma | \hat{H} | N, \beta, \gamma \rangle}{\langle N, \beta, \gamma | N, \beta, \gamma \rangle} \dots (41-2)$$

وباستنتاج معادلة طاقة جهد السطح $E(N, \beta, \gamma)$ بالنسبة إلى (β, γ) نحصل على المعادلة العامة

الآتية [٣٤, ٤٢]

$$E(N, \beta, \gamma) = \frac{N}{1+\beta^2} (\varepsilon_s + \varepsilon_d \beta^2) + \frac{N(N-1)}{(1+\beta^2)^2} (A_1 \beta^4 + A_2 \beta^3 \cos 3\gamma + A_3 \beta^2 + A_4) \dots (42-2)$$

حيث إن:

N تمثل عدد البوزونات الكلية.

β مقدار تشوه النواة Magnitude of Nuclear Deformation , وتأخذ القيم (٠ - ٢.٤) .
 γ زاوية عدم التناظر Asymmetry Angle وتتراوح قيمتها (٠° - ٦٠°) .
 A_1, A_2, A_3, A_4 معاملات ترتبط مع دالة جهد السطح في المعادلة (٢-٤٠).

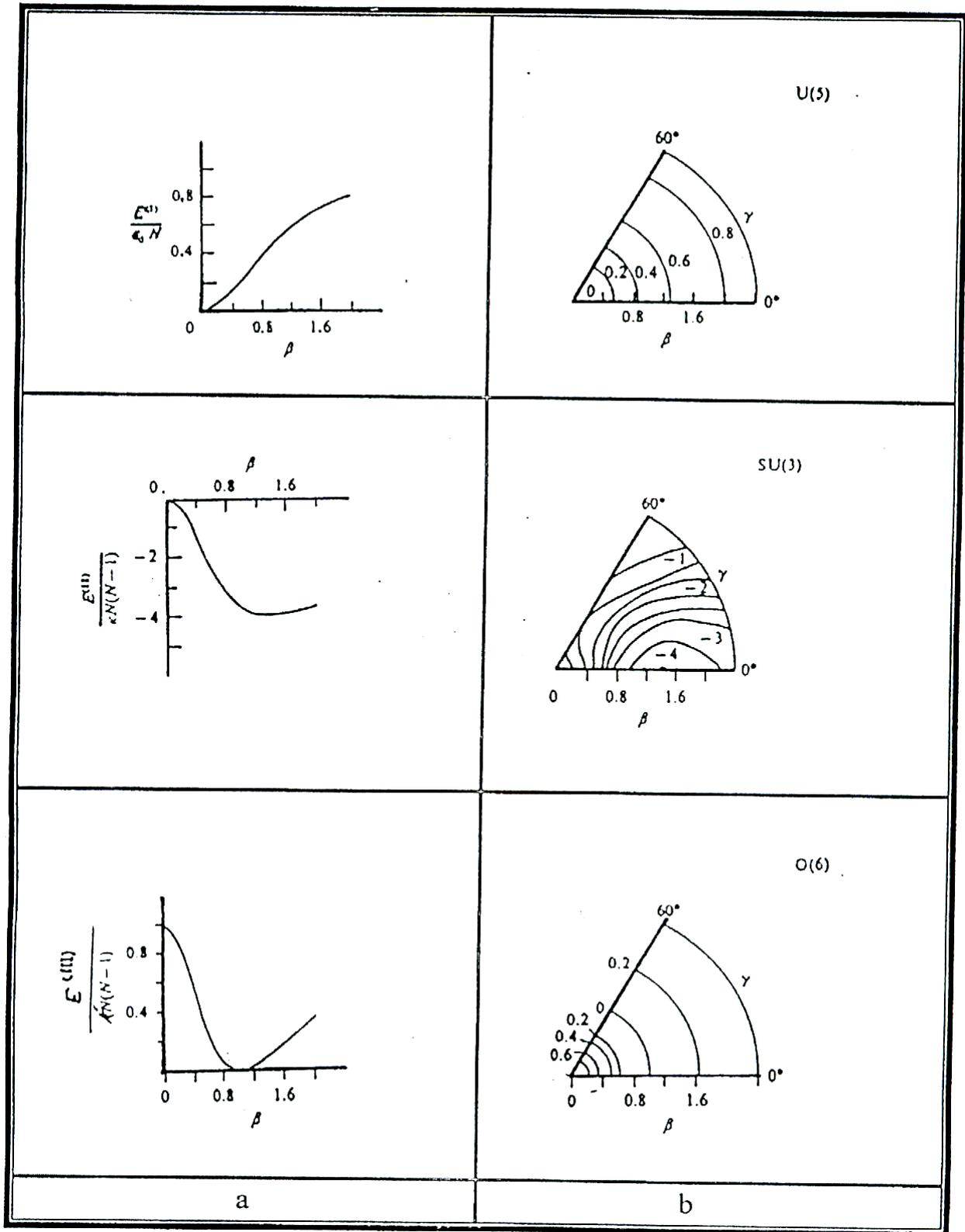
إن شكل النواة يتحدد بواسطة عاملي التشوه (γ, β) حيث تقترب قيمة β من الصفر للنوى الكروية Spherical Nuclei , في حين إن قيمتها لا تساوي صفرا للنوى المشوهة Deformed Nuclei , وعندما تكون γ تساوي ٠° فإن التشوه يكون على شكل بيضوي متطاول Prolate Shape , وعندما تكون γ تساوي ٦٠° فإن التشوه يكون على شكل بيضوي مفلطح Oblate Shape . أن معادلة طاقة جهد السطح للتماثلات الثلاثة على التوالي يمكن إعطاؤها بالمعادلات لائية [٢٨]

$$E^I(N, \beta, \gamma) = \varepsilon_d \frac{\beta^2}{1 + \beta^2} \text{-----} SU(5) \text{.....} (43 - 2)$$

$$E^{II}(N, \beta, \gamma) = KN(N - 1) \frac{1 + \frac{3}{4}\beta^4 - \sqrt{2}\beta^3 \cos 3\gamma}{(1 + \beta^2)^2} \text{-----} SU(3) \text{.....} (44 - 2)$$

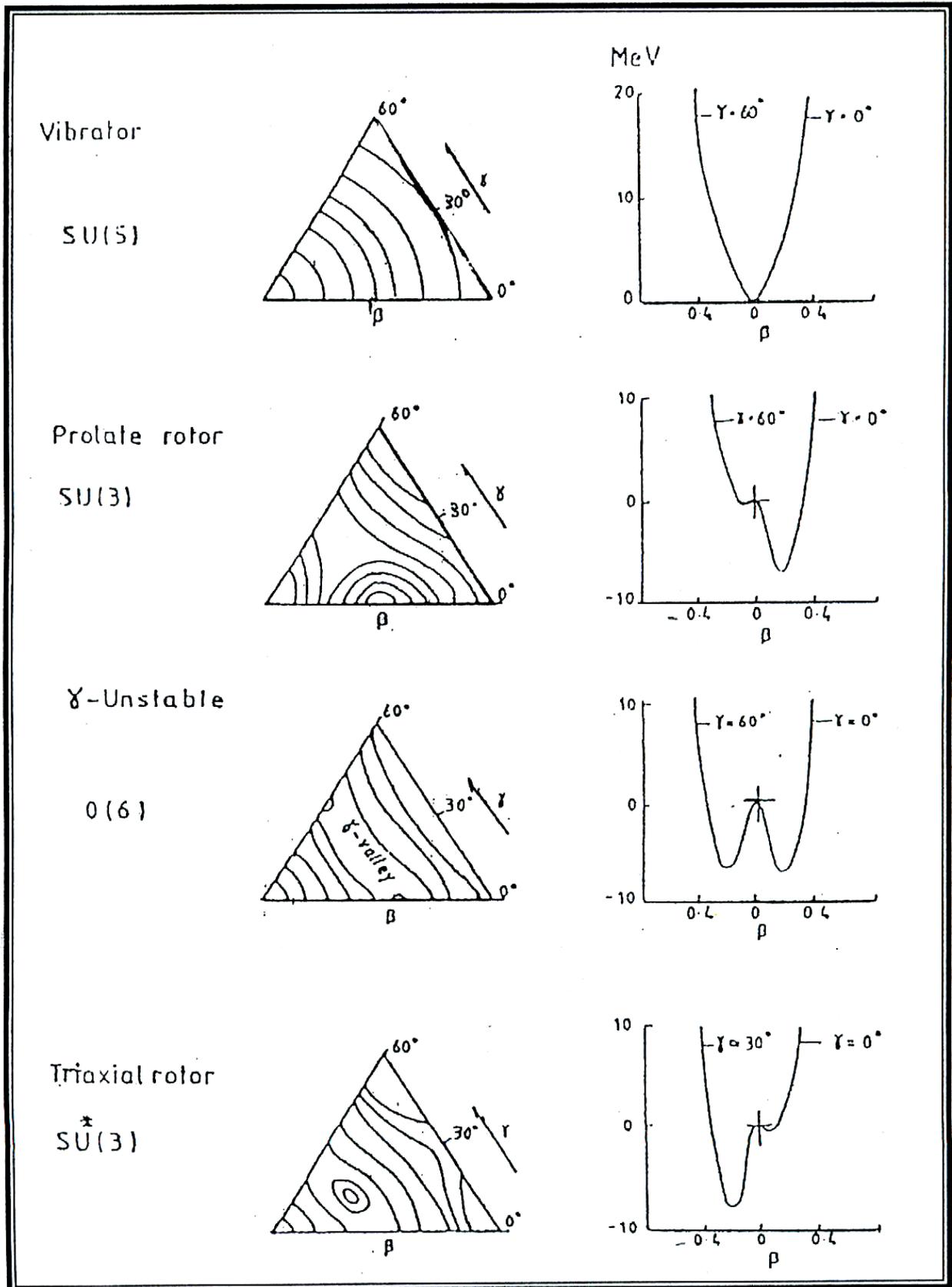
$$E^{III}(N, \beta, \gamma) = K^- N(N - 1) \left[\frac{1 - \beta^2}{1 + \beta^2} \right]^2 \text{-----} O(6) \text{.....} (45 - 2)$$

حيث يتناسب K مع a_2 و k^- مع a_0 المعرفة في المعادلة (٢-٢) [٢٩] ويوضح الشكل (٢-٤, a) رسم دالة الطاقة $E(N, \beta, \gamma)$ بوصفها دالة للمتغير β لكل تحديد والشكل (٢-٤, b) رسم المخططات العامة في المستوي β - γ لكل تحديد [٣٤].



الشكل (٤-٢) رسم دالة الطاقة $E(N, \beta, \gamma)$ -a رسم دالة الطاقة $E(N, \beta, \gamma)$ كدالة للمتغير β .
 -b رسم دالة الطاقة $E(N, \beta)$ في المستوي (β, γ) . [٣٤].

النظرية



الشكل (٢-٥)

المخطط المثالي للخطوط الكنتورية والتناظرات المحورية [٤٣]
٦-٢ الحركة الدورانية في النواة وعزم القصور الذاتي:

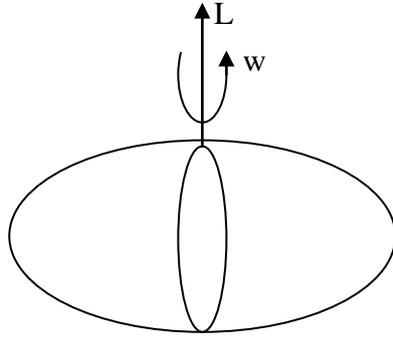
Rotational Motion Nucleus and Moment of Inertia

تعتمد الحركة الدورانية الجماعية (Collective Rotation Motion) للنواة على حركة النيوكلونات المتكافئة مع حركة النواة مسببة دوران عدد من النيوكلونات حول محور يختلف عن محور التناظر النووي (Nuclear Symmetry Axis). إن زيادة القوة الطاردة المركزية نتيجة لزيادة السرعة الزاوية للنواة (ω) تؤدي إلى تشوه النواة [٤٤] ويبين الشكل (٦-٢) نوعي التشوه للنوى الدورانية، النوع الأول يمثل التشوه البيضوي المتطاوول (Prolate Deformation) وفيه تدور النواة حول محور عمودي على محور التناظر النووي، أما النوع الثاني فيمثل التشوه البيضوي المفلطح (Oblate Deformation) وفيه تدور النواة حول محور موازي لمحور التناظر النووي [٤٥]. وفي كلا النوعين عندما تكون الحركة الدورانية سريعة فإن هناك قوة تنشأ تسمى بقوة كوريوليس Coriolis force تحطم الأزواج (Pairing) الحاصل بين عدد من أزواج النيوكلونات متسببة في ظهور حزمة شبيهة بالجسيمات (Two-quasiparticles) أو الحزمة ذات الأشباه الأربعة للجسيمات (Foure-quasiparticles) مسببة شذوذاً عند زخوم زاوية برمية معينه $L^2 \geq 10^+$ في بعض النوى [٤٦] ولا يجاد مربع الطاقة الدورانية نطبق الصيغة الآتية [٤٦]:

$$\hbar^2 \omega^2 = (L^2 - L + 1) \left[\frac{E(L \rightarrow L - 2)}{2L - 1} \right]^2 \dots \dots \dots (46 - 2)$$

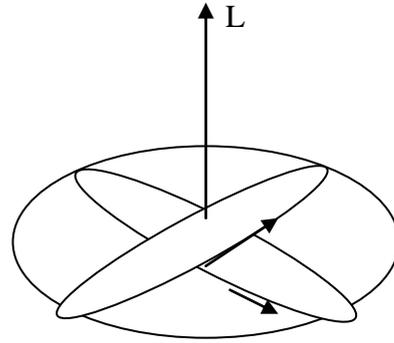
أما عزم القصور الذاتي ($\frac{2\mathcal{G}}{\hbar^2}$) فيحسب من المعادلة الآتية [٤٧]:

$$\frac{2\mathcal{G}}{\hbar^2} = \frac{4L - 2}{E(L \rightarrow L - 2)} \dots \dots \dots (47 - 2)$$



$$E = \frac{\hbar^2}{2g_{\perp}^p} L(L-1)$$

Rotation of a prolate
Nucleus



$$E = \frac{\hbar^2}{2g_{\approx}^o} L(L-1)$$

Rotation of an oblate
nucleus

شكل (٦-٢) الحركة الدورانية للنواة المتطاولة والمفاطحة, حيث أن g_{\perp}^p و g_{\parallel}^o تمثل عزم القصور الذاتي للنوعين على التوالي [٤٨].

Hf Isotopes ^{١٦٦-١٨٠}**١-٤ نظائر Hf** ^{١٦٦-١٨٠}

ان نوى $^{166-180}\text{Hf}$ الزوجية-الزوجية تتكون من (٧٢) بروتوناً منها (٢٢) بروتوناً خارج القشرة المغلقة (٥٠) و(٩٤-١٠٨) نيوترون. وحيث ان عدد البروتونات اكثر من عدد نصف الغلاف الرئيسي (٦٦) فان عدد بورونات البروتونات تحسب من عدد الفجوات (holes) وليس من عدد الجسيمات (particles) حتى الوصول الى القشرة المغلقة الرئيسييه (٨٢).

اما بالنسبة لعدد النيوترونات فيقع بين منتصف القشرتين المغلقتين (٨٢-١٢٦) حيث ان عدد نصف الغلاف الرئيسي هو (١٠٤) ومن خلال هذا الرقم يتبين ان عدد بوزونات النيوترونات يحسب من عدد الجسيمات باستثناء النويتين الاخيرتين يحسب من عدد الفجوات (holes) ولهذا فان العدد الكلي للبوزونات لنظائر $^{166-180}\text{Hf}$ سيكون مساوياً لـ (١٦-١١) بوزوناً وعلى التوالي. ان وقوع عدد البروتونات والنيوترونات لهذه النوى بالقرب من منتصف القشرات المغلقة (١٢٦-٥٠) وعلى التوالي يشير الى التصرف الدوراني حيث ان هذه الصفة غير موجودة بالتحديد الاهتزازي $[SU(5)]$ [٣٠, ٥٨, ٥٩] وبالرجوع الى الجدول (٣-١) الذي يوضح المعاملات المستعملة في البرنامج (IBM-١) نجد ان المعامل a هو المهيمن على بقية المعاملات والذي يبين سيطرة تفاعل الازدواج (p.p) على طاقة البوزونات (ϵ) وجهد تفاعل عزم رباعي القطب الكهربائي (Q.Q) بالنسبة للنظيرين $^{166-168}\text{Hf}$ اما بالنسبة لبقية النظائر فقد لوحظ سيطرة عزم رباعي القطب الكهربائي على بقية المعاملات.

٢-٤ مستويات الطاقة Energy Levels

عند الرجوع إلى مخططات الانحلال [٥٢, ٥١, ٥٠, ٤٩] لنظائر Hf ¹⁶⁶⁻¹⁸⁰ لوحظ هنالك

نقصان تدريجي مستمر بطاقات تهيج المستوي الأول 2_1^+ مع زيادة تدريجية لنسبة الطاقة $\frac{E4_1^+}{E2_1^+}$

حيث تكون قليلة في نظائر الهافينيوم الأولى ثم تزداد تدريجياً وصولاً إلى نظير Hf ¹⁸⁰ وهذا يؤكد أن نظائر الهافينيوم الغنية بالنيوترونات تزداد في نسبة التشوة تدريجياً [٦٠, ٥٧] وقد بينت نسب

مستويات الطاقة الأخرى $\frac{E0_2^+}{E2_1^+}, \frac{E8_1^+}{E2_1^+}, \frac{E6_1^+}{E2_1^+}$ بعد مقارنتها مع القيم النموذجية [٥٣, ٢٨] وحسب

الجدول (٤-١) وكما في الأشكال الموضحة من (٣-٩) إلى (٣-١٢) انتماء هذه النوى إلى المنطقة الانتقالية $O(6) \rightarrow SU(3)$ وحسب الصيغة الهاملتونية المتمثلة بالمعادلة (٢-٣٦) وفيها يعتمد بالدرجة الأساس على النسبة $\frac{a_0}{a_2}$ إذ تؤدي هذه النسبة دوراً كبيراً في السيطرة على معالم هذه

المنطقة , فإذا كانت قيمتها كبيرة فأن هذا يعني أن الخواص تكون قريبة من التحديد $O(6)$ وإذا كانت متوسطة فتكون انتقالية بين الاثنتين [٢٩] ومن خلال النتائج التي حصل عليها تبين إنها قيمة متوسطة في النظيرين Hf ^{166, 168} واقل من الواحد في بقية النظائر وعندما حلت معادلات القيم الذاتية للتحديدات الثلاثة $O(6), SU(3), SU(5)$ وحسب المعادلات (٢-٧), (٢-١٥), (٢-٢٦) وعلى التوالي أعطت اقتراباً جيداً إلى التحديد $SU(3)$, ومن الدلائل الأخرى على التحديد الدوراني هو اقتراب عدد البروتونات والنيوترونات من منتصف القشرة المغلقة وأيضاً مستويات طيف الطاقة تكون متقاربة ثم تبتعد تدريجياً أما بخصوص طيف الطاقة الذي حصل عليه من النتائج النظرية ألموضحه بالإشكال من (٣-١) إلى (٣-٨) فيبين تطابقاً جيداً مع جميع الحزم العملية [٥٢, ٥١, ٥٠, ٤٩] وخاصة الحزم الأرضية (Ground State) باستثناء الحزم العليا فيظهر هناك اختلاف بين النتائج العملية والنظرية وهذا سببه أمران الأول أن الحزم الدورانية ذات البرم العالي , مثلاً الحزم المكونة من جسيمين تزودج مع الحزم الدورانية في المستوى الأرضي ضاغطة المستويات المتتالية إذ تسبب تقاطع هذه الحزم مع بعضها , والثاني في مستويات البرم العالي تكون النواة أكثر تشوهاً بسبب انضغاط المستويات المتتالية مع بعضها [٦١].

٣-٤ احتمالية الانتقالات الكهربائية المختزلة $B(E2)$

Reduced electric transitions probability $B(E2)$

تبين المعادلة (٣-٣) حساب قيمة الاحتمالية المختزلة $B(E2)$ أما المعادلتان (١-٣) و (٢-٣) فيوضحان حساب قيمة المعاملات ($E2SD \& E2DD$) والمبينة في الجدول (٢-٣) حيث استعملت هذه المعاملات في البرنامج (IBMT) والجدول من (٣-٣) إلى (١٠-٣) تبين القيم المختزلة لنظائر $^{166,180}\text{Hf}$ حيث اظهرت توافقا مع النتائج العملية المتوافرة كما في الشكل (١٣-٣) وان هذه النتائج بينت الخاصية الانتقالية لهذه النوى من خلال الصفات المعروفة للتحديدين $O(6)$ و $SU(3)$.

ان الصفة المميزة للتحديد $O(6)$ هو انحلال المستوي 0_2^+ إلى المستوي 2_2^+ مباشرة وعدم انحلاله إلى المستوي 2_1^+ لكون هذا الانتقال محضورا لهذا التحديد حسب قواعد الانتقاء [٢٨, ٣٣] وان قيمة هذا الانتقال موضحة في الجداول من (٣-٣) إلى (١٠-٣) ولجميع نظائر الهافينيوم, أما بخصوص الصفة المميزة للتحديد $SU(3)$ فهي انحلال المستويات 2_1^+ إلى 0_1^+ والمستوي 4_1^+ إلى 2_1^+ ضمن الحزمة الواحدة وعدم انحلال المستويات بين الحزم لكون هذا الانتقال محضورا لهذا التحديد حسب قواعد الانتقاء. اظهرت هذه الانتقالات تطابقا جيدا مع النتائج العملية [٤٠, ٤٧] كما في الشكل (١٣-٣), إذ بينت هذه النتائج الخاصية الانتقالية بين التحديد الدوراني $SU(3)$ وتحديد $O(6)$ γ -Unstable.

٤-٤ عزم رباعي القطب الكهربائي وجهد السطح

Quadruple moment and surface potential Energy

لقد بينت قيم عزوم رباعية القطب الكهربائي لنظائر $^{166-180}\text{Hf}$ للمستوي الأول $0_{2_1^+}$ انها

تساوي

(-٢.٣١, -٢.٥٥, -٢.٧٤, -٢.٥٥, -٢.٦٦, -٢.٧٨, -٢.٦٦, -٢.٦٣, -٢.٦٦)

و على التوالي والمبينة في الشكل (١٥-٣) حيث اظهرت تقريبا مع النتائج العملية بعض النظائر [٥٦, ٥٥] ومن خلال هذه

القيم نستنتج أن هذه النوى تعاني من تشوهات دائمية ثلاثية المحور, بسبب كبر قيمة عزم رباعي

القطب الكهربائي , وعند دراسة جهد السطح لهذه النظائر والحصول على قيم (β, γ) ورسم المخططات التناظرية لزوايا التناظر المحوري ($\gamma=0^\circ, \gamma=30^\circ, \gamma=60^\circ$) المبينة في الأشكال من (١٦-٣) إلى (٢٣-٣) أتضح أن هذه النوى انتقالية بين التحديدين $O(6)$ و $SU(3)$ لتوافقها مع الأشكال النموذجية للتحديدين كما في الشكل (٥-٢) [٤٣] , حيث تم رسم طاقة جهد السطح كدالة لمعامل التشوه ($\beta=0 \dots 2.4$) إذ بينت أن اقل قيمة لطاقة جهد السطح تحدث عند (-2.67 MeV) عندما يكون شكل النواة بيضويا متطاولا عند $\beta=0.6$ و $\gamma=0^\circ$ لنظير $^{176} \text{Hf}$, أما عندما يكون شكل النواة بيضويا مفلطحاً فان اقل قيمه لطاقة جهد السطح تحدث عند (-1.17 MeV) عندما $\beta=-0.4$ و $\gamma=60^\circ$.

٤-٥ الحركة الدورانية في النواة وعزم القصور الذاتي :

Rotational Motion in the Nucleus and Moment of Inertia

أن الحركة الدورانية تكون معقدة جدا لأنها لأتمثل دوران جسم صلد ولكن دوران سطح مشوه يضم N من الجسيمات الحرة.

أن الحركة الدورانية تؤدي إلى تكوين تشوه رباعي قطب كبير للحالات المتهيجة الواطئة للنوى وان الدوران يجب أن لا يكون دوران جسم صلد فان السطح الكروي للنواة سوف يدور والمستويات المدارية لجميع النيوكلونات تدور أيضا. إذ أن عددا كبيرا من مستويات الطاقة النووية قد تم تمييزها على إنها مستويات دورانية ، وذلك لأنها تعطي أطيافا قريبة من الطيف النموذجي للتحديد الدوراني ، وفي جميع الحالات فانه قد وجد أن عزم القصور الذاتي والذي يجب استخدامه للحصول على اتفاق مع النتائج العملية هو اقل من عزم القصور الذاتي للجسم الصلد بمعامل ٢ إلى ٤ حيث أن النيوكلونات تنجرف مع السطح في أثناء الحركة الدورانية وقد وجد عمليا أن عزم القصور الذاتي يزداد بزيادة ثابت التشوه β [٦٢] وتوضح الأشكال من (٣-٢٤) إلى (٣-٣١) مقارنة بين النتائج النظرية والعملية [٤٧] لعزم القصور الذاتي ولكن هناك فرقا تكراريا

يزداد بزيادة طاقة التهييج وهذا الفرق يمكن تفسيره على انه ناتج عن زيادة عزم القصور الذاتي بزيادة الزخم الزاوي للدوران ، وذلك بتأثير القوة الطاردة المركزية.

٥-٤ المقترحات المستقبلية :

- ١- إجراء دراسة مكثفة على مجموعة من الايزوتونات (Hg, Pt, Os, W, Hf) (Isotones) لمعرفة تأثير زيادة عدد البروتونات في تغير شكل النواة, ومعرفة نوع التحديد الذي تنتمي إليه هذه النوى.
- ٢- إجراء دراسة على نظائر Hf باستعمال نموذج (IBM-٢) للتمييز بين بوزونات البروتونات وبوزونات النيوترونات لاحتوائه على معلومات أكثر عن خصائص مستويات الطاقة وتحديد شكل النواة.
- ٣- دراسة سلسلة من نظائر Hf الفردية لمعرفة تأثير الفيرميون المنفرد على شكل النواة.

References

- ١- C.F. Von Weizsacker, Z. Phys. Vol. ٦, P.٤٣١, (١٩٣٥).
- ٢- W.J. Elsasser, Phys. Vol. ٤, P.٥٤٩, (١٩٣٣).
- ٣- W. Meyerhoff, "Elements of Nuclear Phys.", Mc Graw-Hill, (١٩٦٧).
- ٤- H. A. Enge. " Introduction to nuclear Phys.", (١٩٨٣).
- ٥- A. Bohr and B. R. Mottelson, Nuclear Structure, Benjamin, Reading, Masachusetts, Vol. ١١, (١٩٧٥).
- ٦- K. S. Krane, " Introductory Nuclear Phys. ", John Wiley and Sons, (١٩٨٨).
- ٧- F. Iachello, and A. Arima, Phys., Lett. B٥٣, P.٣٠٩, (١٩٧٤).
- ٨- A. Arima, T. Otsuka, F. Iachello, and I. Talmi, Phys. , Lett. B٦٦, P.٢٠٥, (١٩٧٧).
- ٩- R.F. Casten, A. Gelberg and P. Von Brentano, Phys. Rev. C٣٦, P.١٢٢٥, (١٩٨٧).
- ١٠- B. Bochev, S. Iliev, R. Kalpakcheva, S.A. Karamian, T. Kutsarova, Feeding and Lifetimes of yrast Levels in Hf Nuclei, Nucl. Phys. A٢٨٢, P.١٥٩, (١٩٧٦).
- ١١- F.W.N. Deboer, P.F.A. Goudsmt, B. J. Meijer, J. C. Kapteyn and J. Konijn and R. Kamermans, The Four Quasi-particle ^{178}Hf isomeric state , Its excitation energy and multipolarities of deexciting Transitions, Nucl. Phys. , A٢٦٣, P.٣٩٧, (١٩٧٦) .
- ١٢- P.M. Walker, G.D. Dracoulis, A. Johnson and J. R. Leigh , High-spin states and Two-Quasiparticle structure in ^{178}Hf , Nucl. Phys. , A٢٩٣, (١٩٧٧).

- ١٣- P. Christmas and P. Cross, Relative intensities of γ -rays from $E2$ Transitions in the decay of ^{180m}Hf , Nucl. Instruments and Methods, ١٧٤, P.٥٧١, (١٩٨٠).
- ١٤- P.M. Walker and D. Ward, O. Hausser, H. R. Andrews and T. Faestermann, g-Factors for $^{172}, ^{173}, ^{174}, ^{178}\text{Hf}$ K-Isomers, Nucl. Phys., A٣٤٩, ١, (١٩٨٠).
- ١٥- J.C. Lisle, J.D. Garrett, G.B. Hagemann, B. Herskind and S. Ogaza, Strongly interacting bands in ^{177}Hf , Nucl. Phys., A٣٦٠, P.٢٨١, (١٩٨١).
- ١٦- R. Alarcao, P. chowdhury and E. H. Seabury, P. M. Walker and C. Wheldon, D. Seweryniak and I. Wiedenhoever, Phys. Rev. C٥٩, Vol., No. ٣, (١٩٩٩).
- ١٧- R.C. Dehaan and A. Aprahamian, H.G. Börner, C. Doll and M. Jentschel, A. M. Bruce and S. R. Leshner, J. Res. Nat. Inst. stand. Technol., Vol. ١٠٥, P.١٢٥, (٢٠٠٠).
- ١٨- D.J. Hartley, M. Djongdov, L.L. Riedinger, D.L. Balabanski, M. Danchev, J. Goon, O. Zeidan, "Possible Triaxial Superdeformation in ^{174}Hf ", Journal, Phys., Vol. ٦٣٨, no. ١, (٢٠٠٢).
- ١٩- M.K. Djongolov, D.J. Hartley, L.L. Riedinger, F.G. Kondev, R.V.F. Janssens, K. Abu saleem, I. Ahmad, D.L. Balabanski, M.P. Carpenter, P. Chowdhury, D.M. Cullen, M. Danchev, G.D. dracoulis, H.E. Imasri, J. Goon, A. Heinz, R.A. Kaye, T.L. Khoo, T.L. Auritsen, C.J. Lister, E.F. Moore, M. A. Riley, D.Seweryniak, I. Shestakova, G. Sletten, P.M. Walker, C. Wheldon, I.

- Wiedenhöver, O. Zeidan , Jing-ye zhang , Phys. Lett. B^{٥٦٠} , P.٢٤ , (٢٠٠٣).
- ٢٠- Sven Aberg , An Investigation of yrast traps in some prolate Hf isotopes , Nucl. Phys. , A^{٣٠٦} , P.٨٩ , (١٩٧٨) .
- ٢١- J. Van Klinken, W.Z. Venema , R.V.R. Janssens and G.T. Emery, K-forbidden Decays in ^{١٧٨}Hf , M_٤ Decay of An yrast state , Nucl. Phys. A^{٣٣٩}, P.١٨٩ , (١٩٧٩).
- ٢٢- A. Aprahamian et al , J. Phys. G , Nucl. Part. Phys.Vol. ٢٥ , P.٦٨٥ , (١٩٩٩).
- ٢٣- HAMro P.G. Varmette , W.C. Ma, B. Hershind, G.B. Hagemann, G. Sletten, R.V.F. Janssens, M. Bergström , A. Bracco , M. Carpenter , J. Domscheit, S. Frattini , D. J. Hartley, H. Hübel , T.L. Khoo, F. Kondev, T. Laurisen, C.J. Lister, B. Million, S.W. Φdegard, R.B. Piercey, L.L. Riedinger, K.A. Schmidt, S. Siem, I. Wiedenhöver, J.N. Wilson, J.A. Winger , Phys. Lett. B^{٥٠٦} , P.٣٩ , (٢٠٠١).
- ٢٤- Yang Sun, Xian-Rong Zhou, Gui-Lu long , En-Guang Zhau, Philip M. Walker, Nuclear Structure, Isomers, Projected shell model, Phys. Lett. B^{٥٨٩}, (٢٠٠٤).
- ٢٥- Bao-An Bian , Yao-Min Di, Gui-Lu long, Yang Sun, Javid A. Sheikh , arxiv:Nucl-th/٠٥٠٤٠٤٦ , Vol. ١ , (٢٠٠٥).
- ٢٦- L.I. Abou-Salem, K.E. Abd Elmageed, Acta Physica Polonica B , Vol. ٣٦ , No. ٦ , (٢٠٠٥).
- ٢٧- C. Decoster, K. Hegde, B. Decroix , P. Vanisacker , J. Jolie, H. Lehmann, J. Wood, Nucl. Phys. A^{٦٠٠}, P.٢٥١, (١٩٩٦).

- ٢٨- R. Casten and D. Warner, Rev. Mod. Phys., ٦٠, P.٣٨٩, (١٩٨٨).
- ٢٩- K. Abrahams, K. Allaart, and A. dieperink ,Nucl. Phys. B ٦٧, P.٥٣ , (١٩٨١).
- ٣٠- A. Abdul Ameer, Investigations of Nuclear Energy Levels in ^{82}Kr , ^{76}Se and ^{194}Pt , Ph. D Thesis, London University , (١٩٩١).
- ٣١- W. Chou, N. Zamfir, and R. Casten, Phys. , Rev. , C٩٢ , ١, (٢٠٠٠).
- ٣٢- A. Arima and F. Iachello , Ann. Phys. , ١١١ , P.٢٠١, (١٩٧٨).
- ٣٣- A. Arima and F. Iachello, Ann. Phys. , ١٢٣, P.٤٦٨, (١٩٧٩).
- ٣٤- F. Iachello and A. Arima , The Interacting boson Model , Cambridge University Press , Cambridge , (١٩٨٧).
- ٣٥- K.S. Krane and J. M. Shobaki , Phys. Rev. C١٦, P.٤ , (١٩٧٧).
- ٣٦- A. Arima and F. Iachello, Ann. Phys., ٩٩ , P.٢٥٣ , (١٩٧٦).
- ٣٧- A. Bohr and B.R. Mottelson, Medd. Dan.Vid. Selk Mat. Fys.Vol.٢٧ , P. ١٦ , (١٩٥٣).
- ٣٨- A. Bohr and B.R. Mottelson, Nuclear Structure, Banjamin, Vol. ١, (١٩٦٩).
- ٣٩- T. Venkova and W. Andrejtscheff, Atomic Data and Nuclear Data Tables , Vol. ٢٦ , No. ٢ , P. ٩٤ (١٩٧١).
- ٤٠- S. Raman *et al*, Atomic Data and Nuclear Data Tables, Vol. ٣٦, No. ١, P. ٧, (١٩٨٧).
- ٤١- A. Arima and F. Iachello , Ann. Phys. , ١١٥ , P.٣٢٥ , (١٩٧٨).
- ٤٢- D.Bondatsos, "Intracting Boson Models of Nuclear Structure", Ed. David, Stanford, Pub. In the United State, By Oxford University Press, New York, (١٩٨٨).
- ٤٣- P. Van Isacher and J.Q. Chen , Phys. Rev. C٢٤, P.٦٨٤, (١٩٨١).

- ٤٤- L. E. H. Trainer , and R. K. Gupta , J. Phys. , Vol. ٤٩ , P.١٣٣ , (١٩٧١).
- ٤٥- K. S. Krane , "Introductory NuclearPhysics", Ed. Halliday, D. Pub. John. wiley, P.١٤٢-١٤٥ , (١٩٨٧).
- ٤٦- B. L. Birbrair , Phys. Lett. B٣٩ , Vol., P.٤٨٩ , (١٩٧٢).
- ٤٧- Ts. Venkova and W. Andrejtscheff, Atomic Data and Nuclear Data Tables , vol. ٢٦ ,P. ٩٥ , (١٩٨١).
- ٤٨- A. Arima and F. Iachello, "In advances in Nuclear Physics" , Edt. J.W. Negele, and Evogt, Plenum, New York, Vol. ١٣ , P.١٣٩ , (١٩٨٤).
- ٤٩- C. Leclerecl and V. Shirly, Tabele of Isotopes, Wiley , New York, (١٩٧٨).
- ٥٠- A.E. Ignatochkin, E.N. Shurshikov and Yu.F. Jaborov, Nuclear Data Sheets , Vol. ٥٢, No. ٢ , P. ٣٦٥, (١٩٨٧).
- ٥١- Zhou Chunmei, Nuclear Data Sheets, Vol. ٥٠, No. ٢ , P. ٣٥١ , (١٩٨٧).
- ٥٢- E. Browne, Nuclear Data Sheets, Vol. ٥٢, No. ١, P. ١٢٧, (١٩٨٧).
- ٥٣- M. Kadem Al-Janaby, Astudy of nuclear Structure of $^{98-108}\text{Ru}$ even-even Isotopes by the IBM-١, M. Sc. Thesis, Babylon University, (٢٠٠٥).
- ٥٤- F. Rosel , H.M. Fries, K. Alder, and H.C. Pauli, Atomic Data and Nuclear Data Tables, Vol. ٢١, No. ٤-٥, P.٣١٩ (١٩٧٨).
- ٥٥- P. Raghavan, Atomic Data and Nuclear Data Tables, Vol. ٤٢, P.١٨٩, (١٩٨٩).
- ٥٦- N. J. Stone, Table of Nuclear Magnetic Dipole and Electric Quadrupole Moments, Vol., P.١٠١, (٢٠٠١).

- ٥٧- W.D. Hamilton, The Electromagnetic Interaction in Nuclear Spectroscopy, American Elsevier Publishing Company, New York , (١٩٧٥).
- ٥٨- J. Lee , Phys., Rev , C٥٨, P.٢٠٦١ , (١٩٩٨) .
- ٥٩- J. Lee , Phys., Rev , C٥٨ , ٦٣ , P.١ , (٢٠٠١) .
- ٦٠- S. Landsberger , R. Lecomte , P. Paradis , and S. Monaro , Phys. Rev. C٢١ , P.٢ , (١٩٨٠).
- ٦١- K. Hara , S. Iwasaki , Nucl. Phys. A٣٤٨ , Vol. P.٢ , (١٩٨٠).
- ٦٢- A. N. K , "Introduction of Nuclear Physics", Mousel Unv. , (١٩٨٦).