

دراسة التركيب النووي لنظائر $Hf^{166-180}$ الزوجية – الزوجية

باستعمال نموذج البوزونات المتفاعلة - ١

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

من

سليم حمزة طرير



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وقل ربي زدني علماً

صَبْرًا وَتَوَكُّلاً عَلَى اللَّهِ عِلْمًا

سورة (طه)

آية (١١٤)

بسم الله الرحمن الرحيم

قرار المشرفين على الرسالة

أشهد إن إعداد هذه الرسالة الموسومة بـ “ دراسة التركيب النووي لنظائر Hf ١٨٠-١٦٦ الزوجية-الزوجية باستعمال نموذج البوزونات المتفاعلة (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: د.خالد حسين هاتف

المرتبة العلمية: استاذ مساعد

العنوان: كلية العلوم / جامعة بابل

التاريخ / / ٢٠٠٦

التوقيع:

المشرف: د.عامر عبد الامير

المرتبة العلمية: استاذ مساعد

العنوان: كلية العلوم / جامعة كربلاء

التاريخ / / ٢٠٠٦

توصية رئيس قسم الفيزياء

بناءً على التوصيات المتوفرة أرشح هذه الرسالة للمناقشة

التوقيع:

رئيس القسم: د.طالب هادي قدوري

المرتبة العلمية: استاذ مساعد

العنوان: كلية العلوم / جامعة بابل

التاريخ: / / ٢٠٠٦

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
مَدَامَ شَرَعْتَ

أهدي هذا الجهد المتواضع الى

أرواحنا لتراب مقدمه الفدى

مولانا صاحب العصر والزمان (عج)

بسم الله الرحمن الرحيم

شكر وتقدير

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

يغمرني الفرح وانا أكمل رسالتي ان اتقدم 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 السديدة اثناء مدة البحث .

كما اتقدم بوافر الشكر والتقدير الى عمادة كلية العلوم – جامعة بابل , ورئاسة قسم الفيزياء لاتتاحتهما 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

الخلاصة

درست في هذا البحث نظائر $^{166-180}\text{Hf}$ باستعمال نموذج البوزونات المتفاعلة (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 باستعمال دراسة طاقة جهد السطح حسب معادلات دالة هاملتون, وحساب مربع الطاقة الدورانية وعزم القصور الذاتي.

تم تحديد البرم والتماثل لبعض مستويات الطاقة غير المحدده عمليا بصوره 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 IBM وجد أن نظائر $^{166,168}\text{Hf}$ تنتمي إلى المنطقة الانتقالية $O(6) \rightarrow SU(3)$, اما النظائر $^{170-180}\text{Hf}$ فتتنتمي الى المنطقة الانتقالية $SU(3) \rightarrow O(6)$.

قائمة بالرموز المستعملة

| الرمز | تفسيره |
|-------------------------------------|---|
| ϵ_i | طاقة البوزون i |
| H | مؤثر الطاقة (الهلمتون) |
| ϵ_s | طاقة البوزون s-boson |
| ϵ_d | طاقة البوزون d-boson |
| (s^\dagger, d^\dagger) | مؤثرات رافعة. |
| (s, d) | مؤثرات خافضة. |
| d_π, s_π | ت من نوع d, s التي تكون من ازواج البروتونات |
| d_ν, s_ν | d, s التي تكون من ازواج النيوترونات البوزونات من نوع |
| $T_m^{(E_2)}$ | 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 لكاما غير المستقرة. |
| N | عدد البوزونات الكلي. |
| N_π | عدد بوزونات البروتونات. |
| N_ν | عدد بوزونات النيوترونات. |
| n_d | لبوزونات من نوع d-boson |
| n_s | عدد البوزونات من نوع s-boson |
| ν | الاسبقية (عدد البوزونات غير المزدوجة لزخم زاوي مقداره صفر). |
| n_∇ | عدد البوزونات المرتبطة ثلاثيا لزخم زاوي مقداره صفر. |
| β | عامل التشوه. |

| | |
|---------------------|----------|
| زاوية عدم التناظر. | γ |
| معامل ليونة النواة. | σ |
| الكترون بارن | eb |

المحتويات

| رقم الصفحة | الموضوع | ت |
|------------|---|-----|
| I | قائمة الرموز | |
| III | المحتويات | |
| VI | قائمة الجداول | |
| VII | قائمة الاشكال | |
| X | الخلاصة | |
| | الفصل الاول: المقدمة | |
| ١ | مقدمة عامة. | ١-١ |
| ٣ | 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 (IBM-1) | ٢-٢ |
| ١٠ | التناظرات الديناميكية. | ٣-٢ |
| ١٧ | المناطق الانتقالية في نموذج البوزونات المتفاعلة. | ٤-٢ |
| ١٨ | طاقة جهد السطح. | ٥-٢ |
| 22 | الحركة الدورانية في النواة وعزم القصور الذاتي. | 6-2 |
| | الفصل الثالث: النتائج والحسابات | |
| ٢4 | الحسابات. | ١-٣ |
| ٢4 | حساب مستويات الطاقة. | ٢-٣ |
| 36 | حساب القيم المختزلة لاحتمالية الانتقال الكهربائي رباعي القطب $B(E_2)$ | ٣-٣ |
| ٤٦ | دراسة طاقة جهد السطح. | ٤-٣ |

| | | |
|----|--|-----|
| ٦٠ | دراسة الطاقة الدورانية وعزم القصور الذاتي | ٥-٣ |
| | الفصل الرابع: المناقشه والاستنتاجات | |
| ٧٥ | $^{180-166}\text{Hf}$ نظائر | ١-٤ |
| ٧٦ | مستويات الطاقة | ٢-٤ |
| 77 | $B(E_2)$ احتمالية الانتقالات الكهربائية المختزلة | ٣-٤ |
| ٧٨ | عزم القصور الذاتي وجهد السطحز | 4-4 |
| ٧٩ | الحركة الدورانية في النواة وعزم القصور الذاتي. | ٥-٤ |
| ٨٠ | المقترحات المستقبلية. | ٦-٤ |
| ٨١ | المصادر | |
| | الخلاصة باللغة الانكليزية. | |

قائمة الاشكال

| رقم الصفحة | العنوان | ت |
|------------|---|-------|
| ١٧ | الطيف النموذجي للتحديد $SU(5)$ لـ $(N=6)$ مع قيم v و n_{Δ} والزخم الزاوي لكل مستوي. | ١-٢ |
| ١٩ | الطيف النموذجي للتحديد $SU(3)$ لـ $(N=8)$ مع قيم λ و μ و K والزخم الزاوي لكل مستوي. | ٢-٢ |
| ٢٢ | الطيف النموذجي للتحديد $O(6)$ لـ $(N=6)$ مع قيم σ و v_{Δ} والزخم الزاوي لكل مستوي. | ٣-٢ |
| ٢٦ | رسم معادلة E بوصفها دالة للمتغير β . | a-٤-٢ |
| ٢٦ | رسم المخططات العامة في (β, γ) | b-٤-٢ |
| ٢١ | المخطط المثالي للخطوط الكنتورية والتناظرات المحورية. | ٥-٢ |
| ٢٩ | الحركة الدورانية للنواة المتطاولة والمفلطحة. | ٦-٢ |
| ٣٤ | مقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ^{166}Hf | ١-٣ |
| ٣٥ | مقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ^{168}Hf | ٢-٣ |
| ٣٦ | مقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ^{170}Hf | ٣-٣ |
| ٣٧ | مقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ^{172}Hf | ٤-٣ |
| ٣٨ | مقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ^{174}Hf | ٥-٣ |
| ٣٩ | مقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ^{176}Hf | ٦-٣ |

| | | |
|------------|--|-------|
| ٤٠ | مقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ^{178}Hf | ٧-٣ |
| ٤١ | مقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ^{180}Hf | ٨-٣ |
| ٤٢ | قيم نسب الطاقة $\left(\frac{E_{4^+}}{E_{2^+}}\right)$ العملية والنظرية الخاصة بنظائر Hf مع القيم النموذجية لكل تحديد. $^{166-180}$ | ٩-٣ |
| ٤٣ | قيم نسب الطاقة $\left(\frac{E_{6^+}}{E_{2^+}}\right)$ العملية والنظرية الخاصة بنظائر Hf مع القيم النموذجية لكل تحديد. $^{166-180}$ | ١٠-٣ |
| رقم الصفحة | العنوان | ت |
| ٤٤ | قيم نسب الطاقة $\left(\frac{E_{8^+}}{E_{2^+}}\right)$ العملية والنظرية الخاصة بنظائر Hf مع القيم النموذجية لكل تحديد. $^{166-180}$ | ١١-٣ |
| ٤٥ | قيم نسب الطاقة $\left(\frac{E_{0_2^+}}{E_{2^+}}\right)$ العملية والنظرية الخاصة بنظائر Hf مع القيم النموذجية لكل تحديد. $^{166-180}$ | ١٢-٣ |
| ٥٥ | مقارنة بين القيم العملية والنظرية لاحتمالية الانتقال الكهربائي $B(E_2)$ لنظائر $^{166-180}\text{Hf}$ | ١٣-٣ |
| رقم الصفحة | العنوان | ت |
| ١٧ | الطيف النموذجي للتحديد $SU(5)$ لـ $(N=6)$ مع قيم ν و n_Δ والزخم الزاوي لكل مستوي. | ١-٢ |
| ١٩ | الطيف النموذجي للتحديد $SU(3)$ لـ $(N=8)$ مع قيم λ و μ و K والزخم الزاوي لكل مستوي. | ٢-٢ |
| ٢٢ | الطيف النموذجي للتحديد $O(6)$ لـ $(N=6)$ مع قيم σ و ν_Δ والزخم الزاوي لكل مستوي. | ٣-٢ |
| ٢٦ | رسم معادلة E بوصفها دالة للمتغير β . | a-٤-٢ |
| ٢٦ | رسم المخططات العامة في (β, γ) | b-٤-٢ |
| ٥٦ | مقارنة بين قيم نسب الانتقالات الكهربائية المختزلة $B(E_2)$ النظرية لنظائر $^{166-180}\text{Hf}$ والقيم النموذجية للتحديد $SU(3)$. | ١٤-٣ |
| ٥٧ | قيم عزم رباعي القطب الكهربائي $Q(eb)$ | ١٥-٣ |
| ٥٩ | الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري لنظير ^{166}Hf | ١٦-٣ |
| ٦٠ | الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري لنظير ^{168}Hf | ١٧-٣ |

| | | |
|------------|--|------|
| ٦١ | الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري لنظير ^{170}Hf | ١٨-٣ |
| ٦٢ | الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري لنظير ^{172}Hf | ١٩-٣ |
| ٦٣ | الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري لنظير ^{174}Hf | ٢٠-٣ |
| ٦٤ | الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري لنظير ^{176}Hf | ٢١-٣ |
| ٦٥ | الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري لنظير ^{178}Hf | ٢٢-٣ |
| ٦٦ | الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري لنظير ^{180}Hf | ٢٣-٣ |
| ٧٥ | مقارنة بين القيم العملية والنظرية لعزم القصور الذاتي لنظير ^{166}Hf | ٢٤-٣ |
| ٧٦ | مقارنة بين القيم العملية والنظرية لعزم القصور الذاتي لنظير ^{168}Hf | ٢٥-٣ |
| رقم الصفحة | العنوان | ت |
| ٧٧ | مقارنة بين القيم العملية والنظرية لعزم القصور الذاتي لنظير ^{170}Hf | ٢٦-٣ |
| ٧٨ | مقارنة بين القيم العملية والنظرية لعزم القصور الذاتي لنظير ^{172}Hf | ٢٧-٣ |
| ٧٩ | مقارنة بين القيم العملية والنظرية لعزم القصور الذاتي لنظير ^{174}Hf | ٢٨-٣ |
| ٨٠ | مقارنة بين القيم العملية والنظرية لعزم القصور الذاتي لنظير ^{176}Hf | ٢٩-٣ |
| ٨١ | مقارنة بين القيم العملية والنظرية لعزم القصور الذاتي لنظير ^{178}Hf | ٣٠-٣ |
| ٨٢ | مقارنة بين القيم العملية والنظرية لعزم القصور الذاتي لنظير ^{180}Hf | ٣١-٣ |

Abstract

In this search, $^{166-180}\text{Hf}$ isotopes have been studied by the interacting boson model (IBM-1) to determine the energy levels and the electric quadrupole moments Q_{21}^+ . In addition, by the program IBMT was used for evaluating the reduced transition probability $B(E2)$. The nucleus shape was determined by studying the surface potential energy 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 of (1.006) MeV for ^{166}Hf spin and parity of is 3_1^+ , of the energy levels (0.94, 1.03 and 1.158) MeV for ^{168}Hf of spin and parity of are (0_2^+ , 3_1^+ and 2_4^+) respectively and the energy levels (1.088 and 1.22) MeV for ^{170}Hf of spin and parity of are 3_1^+ and 4_3^+ respectively, the energy levels (1.03 MeV) for ^{172}Hf spin and parity of is 3_1^+ , and energy levels 1.3 MeV for ^{174}Hf is 3_1^+ .

Also, we determine the spin and the parity for energy levels, which were never determined experimentally, such as the energy levels (1.022 MeV) for ^{166}Hf with 4_2^+ , and the energy states (1.03 and 1.57 MeV) for ^{172}Hf with 8_1^+ and 10_1^+ respectively.

The ^{176}Hf nucleus was expected to have two new energy levels of (1.49 and 1.5) MeV with spin and parity of 10_1^+ and 4_2^+ .

According to the IBM, It was found that the $^{166,168}\text{Hf}$ isotopes belong to the transition region $O(6)\rightarrow SU(3)$, whereas the $^{170-180}\text{Hf}$ isotopes belong to the transition region $SU(3)\rightarrow O(6)$.

Introduction

General Introduction

1-1 مقدمة عامة:

أن محاولة فهم وتفسير الخواص النووية وطبيعة التفاعلات بين النيوكليونات 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 اقترح من قبل (Von Weizsacker, 1934) [1] الذي فسّر طاقة الترابط (Binding Energy) وظاهرة الانشطار النووي (Nuclear Fission) ولم ينجح في إعطاء تفسيراً لاستقرارية النواة، أما نموذج القشرة (Shell model) اقترح من قبل (W. Elzasier, 1935) [2]. فقد بينت التجارب العملية أن استقرارية النواة تكون عالية عندما يكون عدد النيوكليونات مساوياً إلى أحد الأعداد السحرية (Magic numbers) [3] إضافة إلى ذلك حدد الزخم الزاوي لمستويات الطاقة إلا أنه فشل في تفسير البرم النووي للمستوى الأرضي للنوى الزوجية- الزوجية والذي يساوي صفراً دائماً [4]. كما أنه لم يعالج التأثير الذي يشوه الشكل الكروي للنواة الناتج عن النيوكليونات خارج القشرة المغلقة (Closed shell) التي تؤدي إلى ظهور تأثيرات جماعية collective effect بينها متمثلة بالحركة الدورانية و الاهتزازية والانتقالية لكل منها وهذا ما تم معالجته وفق النموذج الجماعي collective model الذي اقترح من قبل (Boher and Mottelson, 1952) [5] التي قادت إلى تقسيم النواة إلى نيوكليونات مركزية ونيوكليونات خارج المركز حيث يتعامل المركز كقطرة سائل تتفاعل مع النيوكليونات الخارجية في القشرات غير الممتلئة.

أما نموذج الحركة الكلية التجميعية فيفترض أن التشويه الذي يصيب النواة يعتمد على زيادة عدد النيوكليونات، وان التفاعل فيما بينهما يكون تجميعياً.

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 [6,3].

في عام ١٩٧٤ اقترح Arima & Iachell [7] 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 تم معالجتها كبوزونات [8] بحيث لم يأخذ بنظر الاعتبار درجات الحرية لهذه البوزونات وقد سمي بنموذج البوزونات المتفاعلة الأول IBM-1 وقد تطور هذا النموذج بإدخال درجات الحرية للبوزونات ونتيجة لهذا التعديل تم الكشف عن خصائص نووية جديدة للنوى وسمي بنموذج البوزونات المتفاعلة الثاني IBM-2 [9].

2-1 الدراسات السابقة Literature Survey

لقد درس عدد من الباحثين التركيب النووي لنظائر الهافينيوم عمليا ونظريا وكالاتي :

١-الدراسة العملية:

قاس (Bochev) [10] وجماعته عام ١٩٧٦ شدة التغذية والأزمان وكذلك الأعمار للمستويات العليا لنوى $^{166,168,170}\text{Hf}$ الزوجية- الزوجية. وقد عين التفاعلات $^{166-170}\text{Hf}(^{48,50}\text{Ti},4n)$ باستعمال طريقة إزاحة دوبلر.

وكذلك في عام ١٩٧٦ درس Deboer [11] وجماعته خواص انحلال نواة ^{178}Hf بواسطة استطاره كومبتن باستعمال كاشفي Ge(Li) & NaI(Tl) و الكاشف Si(Li) ومن خلال هذه الدراسة تم تحديد المستوي $(2.5 \pm 2447,5)\text{KeV}$

وفي عام ١٩٧٧ قام Walker [12] وجماعته بدراسة الحزم الدورانية الخمسة لنواة ^{172}Hf وقد لاحظ البرم العالي من التفاعل $^{160}\text{Gd}(^{16}\text{O},4n)^{172}\text{Hf}$ 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 [13] الشدة النسبية لأشعة كاما من انتقالات E_2 النقية من انحلال نواة ^{180m}Hf وكذلك قاس شدد الالكترونات وحساب معاملات التحويل للقشرتين M,K

وفي عام ١٩٨١ درس Lisle [14] وجماعته المستويات ذات البرم العالي في نواة ^{170}Hf وقد هيجت بالتفاعل $(^{16}\text{O}, 4n)$ ^{150}Gd ولوحظت مستويات تصل إلى $I^\pi=26^+$ و مستويات جديدة ذات تماثل سالب و برم فردي تصل إلى $I^\pi=25^-$.

وفي عام ١٩٩٩ استعمل Alarcao [15] وجماعته أشعة نبضية لـ ^{208}Pd , ^{232}U لتركيز ايزوميرات k العالية متعددة الجسيمات لنظائر Hf الغنية بالنيوترونات عند وبعد خط الاستقرار β مقابل انتقال التهيج غير المرن , وبينت الخواص الطيفية لعدد من ايزوميرات k العالية جديدة أن ^{180}Hf هو أثقل نظير مستقر للعنصر .

وفي عام ٢٠٠٠ قاس الباحثان Dehaan & Aprahaiam [16] 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 $B(E_2)$ تستبعد الانتقالات التجميعية من الحزمة $k^\pi=4^+$ إلى حزمة المستوي الأرضي باستثناء حزمة $k = 2^+$.

وفي عام ٢٠٠٢ عين Hartley [17] 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 $(^{48}\text{Ca}, 4n)$ ^{130}Te عند حزمة الطاقة ١٩٤ MeV وقد تنبأت الحسابات النهائية بتشوه ثلاثي المحور $\gamma \approx \pm 17^\circ$ بتراكيب تشوه عليا لنواة ^{174}Hf .

وفي عام ٢٠٠٣ عين Djongolov [18] وجماعته ثلاث وربما أربعة 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 مسووله على الأكثر عن النهاية الصغرى (TSD) المحسوبة في نواة ^{174}Hf .

ب-الدراسة النظرية:

في عام ١٩٧٨ استخدم الباحث [19] Sevn Aberg جهد التذبذب المحوري لدراسة نوى $^{172-180}\text{Hf}$ عند زخوم زاوية عالية جدا , ووجد أن جميع هذه النظائر تدور حول محور التناظر المتطاول لقيم برم $I=15.40 \hbar$.

وفي عام ١٩٧٩ درس [20] Van klinken وجماعته انحلال المستويين 16^+ ذات الأشباه الاربعه للجسيمات و 8^- ذات شبيهي الجسيمات لنواة ^{178}Hf مع التأكيد على نماذج انحلال K الممنوعة , وكان مطابق للتفرع M4 في انحلال المستوي 16^+ , وقد عين الايزومير عند طاقة تهيج 2446keV .

وفي عام ١٩٨٠ قاس [21] Walker وجماعته قيم العامل g لـ $K^\pi = 6^+, 8^- \text{ and } \frac{23^-}{2}$ من الايزوميرات مع أنصاف أعمار بمدى (5-163)ns في نوى $^{172,173,174,178}\text{Hf}$ باستعمال طريقة التوزيعات الزاوية المضطربة , وتضمنت النتائج مزيج من شبيهي النيوترونات في $K^\pi = 6^+$ من الايزوميرات في نواة ^{174}Hf , بينما ايزوميرات شبيهي الجسيمات الأخرى شكلت شبيهي بروتونات نقية , أما العامل g لـ $K^\pi = \frac{23^-}{2}$ من الايزومير لنواة ^{173}Hf توحي إلى شبيهي بروتونات زائد شبيه نيوترون واحد.

وفي عام ١٩٩٩ درس الباحث [22] Aprahaiam 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 ٢٠٠١ وجد [23] Amro وجماعته ثلاث حزم فائقة التشوه في نواة ^{168}Hf , أظهرت قياسات معدل العمر عزم رباعي قطب كبير وكانت تساوي $Q_t \approx 11.4 \text{ eb}$ لأقوى الحزم (TSD1) ووجد أن الحسابات النظرية تتنبأ نهاية صغرى للبرم العالي $0.43 \approx C_2$ مع تشوه مستقر لـ $\gamma \approx +20^\circ$, $\gamma \approx -10^\circ$ حيث أن القيمة المقاسة لـ Q_t توحي بان حزمة (TSD1) 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 [24] وجماعته نموذج القشرة لنواة زوجية لدراسة شبه الجسيمات المتعددة والتهيجات الجماعية لنواة ^{178}Hf باستعمال التناظر المحوري ووجد أن الايزومير ذات البرم -١٦ ينفصل عند طاقة ٢,٤ MeV عن الإشكال الأخرى.

في عام ٢٠٠٥ درس Bao- An Bian [25] وجماعته تصنيف عامل g لحالة التهيج الأول 2^+ بواسطة نموذج قشرة المحاور الثلاثة وان الدراسة تغطي الانويه الزوجية – الزوجية لكل سلاسل النظائر من Pt-Gd بضمنها سلسلة Hf وقد حسب العامل g باستعمال الدوال الموحية 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 2005 درس الباحثان K.E.Abd Elmageed&I.Abou-Salem [26] نظائر Hf الزوجية- الزوجية باستعمال جهدي ودز-ساكسون وكولوم المحوري وأطياها في النموذج العنقودي. إذ تم 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 $^{180-186}\text{Hf}$ الزوجية- الزوجية وكانت الغاية من تلك الدراسة هو معرفة بعض الخصائص النووية لهذه النظائر ، واستخدم نموذج البوزونات IBM-1 لهذا الغرض ، حيث درست الخصائص التالية:

- ١- دراسة مستويات الطاقة لنظائر $^{180-186}\text{Hf}$ وتم تحديد المعاملات Parameters المستعملة في هذا البرنامج ومقارنة النتائج النظرية مع النتائج العملية المتوفرة.
- ٢- حساب قيم معدلات الاحتمالية المختزلة $B(E_2)$ ومقارنتها مع النتائج العملية أن وجدت.
- ٣- تحديد قيمة عزم رباعي القطب الكهربائي لمعرفة شكل النواة ومقدار التشوه الحاصل فيها .
- ٤- تحديد البرم والتمائل لبعض مستويات الطاقة التي لم تحدد خواصها ولمعرفة فيما اذا كانت هناك مستويات جديدة لم تحدد في الدراسات العملية.

٥- دراسة طاقة جهد السطح $V(\beta, \gamma)$ (Potential Energy Surface)

٦- دراسة الطاقة الدورانية $\hbar^2\omega^2$ وعزم القصور الذاتي لكل نوية يساعد على التوصل إلى المفاهيم الأساسية للتركيب النووي.

٢-١ نموذج البوزونات المتفاعلة IBM

اقترح (Iachello & Arima [٢٧] في عام ١٩٧٤ نموذجاً نووياً يصف التركيب النووي للنوى الزوجية-الزوجية الجماعية للمستويات الواطنة (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 المثيجة عندما يكون زخمها الزاوي ($L=2$) وتسمى بوزونات d (d-boson) [28] وعندما يكون ($L=3$) عدداً فردياً تسمى بوزونات f (f-boson) وهذه تصف حالات التماثل السالبة (Negative Parity State) [29].

٢-٢ نموذج البوزونات المتفاعلة-١ (IBM-1)

أن نموذج البوزونات المتفاعلة- 1 لايميز بين بوزونات البروتونات ($\pi, d\pi$) وبوزونات النيوترونات (π, dv) [31,30] حيث يتم حساب عدد البوزونات بوصفها أزواج من الجسيمات- $N\pi$ (ν) (Particles Paier) , ابتداء من اقرب قشرة مغلقة وحتى منتصف القشرة التي تليها حيث يتم حساب البوزونات بعدها بوصفها أزواج من الفجوات $\bar{N}_{\pi(\nu)}$ (Hole-Pairs) [12] أما في حالة التمييز بين بوزونات البروتونات والنيوترونات فان النموذج المختص لمعالجتها يدعى بنموذج البوزونات المتفاعلة 2- (IBM-2) [32,29] . في نموذج البوزونات المتفاعلة - 1 نجد أن بوزونات s و d يمكنها التفاعل فيما بينها ونتيجة لذلك فان الصيغة العامة للنظام الهاملتوني تكتب بعد تعريف مؤثرات الخلق (Creation Operators) ($d, S^\dagger m$) ومؤثرات الفناء (Annihilation Operators) (S, dm) [33,28] وكمايلي:

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

حيث أن $UL(L=0,2)$, $VL(L=0,2)$, $CL(L=0,2,4)$ تصف تفاعل البوزونات بعضها مع بعض وتعتمد هذه المعاملات على عدد البوزونات N أما الأقواس فأنها تمثل الزخم الزاوي. وهناك عدة صيغ أخرى مكافئة للصيغة العامة لكتابة المؤثر الهاملتوني للطاقة حيث يمكن أعاده كتابة

المعادلة (2-1) باستعمال صيغة التوسع متعدد القطبية (Multiple Expansion) [29]

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

حيث أن $\varepsilon = \varepsilon d - \varepsilon s$ تمثل طاقة البوزونات وللسهولة افترضت أن طاقة البوزون S مساوية للصفر ولهذا فان $\varepsilon = \varepsilon d$ 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 (٢-١) حيث تمتد المركبات الخمسة للبوزونات d والمركبة المفردة للبوزون s على فضاء لست أبعاد (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 [30]

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

حيث تمثل $(\gamma_o, \beta_L, \alpha_2)$ معاملات الحدود المختلفة للمؤثر , وتعطي هذه المعادلة أيضا مؤثرات الانتقال للانتقالات E_4, M_3, E_2, M_1, E_0 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 التالية: [34]

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

أن مؤثر الانتقال متعدد القطبية (E_2) يتطلب معرفة معاملين هما β_2, α_2 إضافة إلى دالتي الموجة (Two Wave Functions) للحالتين الابتدائية والنهائية , وبمجرد معرفة مؤثرات الانتقال فأنه من الممكن حساب معدلات الانتقال الكهرومغناطيسية وبالطريقة الاعتيادية نأخذ عناصر المصفوفة المختزلة (Reducible Matrix Elements) لـ T^L بين الحالتين الابتدائية والنهائية .

$\langle J_f || T^L || J_i \rangle$ وبعد ذلك نحصل على B(ML) و B(EL) من العلاقة التالية [36,35,30]

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

٣-٢ التناظرات الديناميكية: Dynamical Symmetries

تسمى التحديدات الثلاثة الخاصة والتي عندها يمكن حل مسألة القيم الذاتية Eigen Value Problem لهاملتون IBM-1 تحليليا والمتمثلة بالمعادلة (٢-١) بالتناظرات الديناميكية [36,30] وهي كالآتي :

١- التحديد الاهتزازي SU(5) (The Vibration Limit) يعتبر 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: [37,27]

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

أما معادلة القيم الذاتية لهاملتون SU(5) يعطي [35] بـ :

$$E |N, nd, v, n\Delta, L, M\rangle = \varepsilon nd + \frac{\alpha nd}{2} (nd-1) + \beta (nd-v)(nd+v+3) + \gamma [L(L+1) - 6nd] \dots\dots\dots (7-2)$$

إذ أن $nd=0,1,2,\dots\dots\dots N$

حيث أن:

الحالات الذاتية (Eigen states) تعرف بالأعداد الكمية $|N, nd, v, n\Delta, L, M\rangle$

و N العدد الكلي للبوزونات و nd عدد البوزونات في المستوي d و v الاسبقية (Seniority) أو عدد البوزونات غير المزدوجة لزخم زاوي مقداره صفر و $n\Delta$ هو عدد البوزونات المرتبطة ثلاثيا (Tripled Coupled) لزخم زاوي مقداره صفر و L, M الأعداد الكمية المعروفه للزخم الزاوي ومركبته والشكل (1-2) يوضح طيفا نموذجيا لنواة اهتزازته نقيه [37,29].

ويأخذ المؤثر متعدد أقطبيه (E_2) أشكالا مختلفة حسب نوع التحديد ففي حالة التحديد الاهتزازي SU(5) يأخذ هذا المؤثر صيغه مشابهه لصيغه المعادلة (4-2) ويحقق قواعد الاختيار (Selection Rules) الآتية: [37]

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

أما القيمة المختزلة لاحتمالية الانتقال رباعي القطب $B(E_2)$ فأنها تعطي [31] بـ:

$$B(E_2, 2 \rightarrow L) = \frac{\alpha_2^2}{4} (L+2)(2N-1) \dots\dots\dots (8-2)$$

ولهذا فان قيمة الاحتمالية تكتب:

$$B(E_2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+) = \alpha_2^2 N \dots\dots\dots (9-2)$$

أما عزم رباعي القطب فانه يعطى بالمعادلة [35]:

$$QL = \beta_2 \frac{\sqrt{16\pi}}{5} \sqrt{\frac{1}{14}} L \dots\dots\dots (10-2)$$

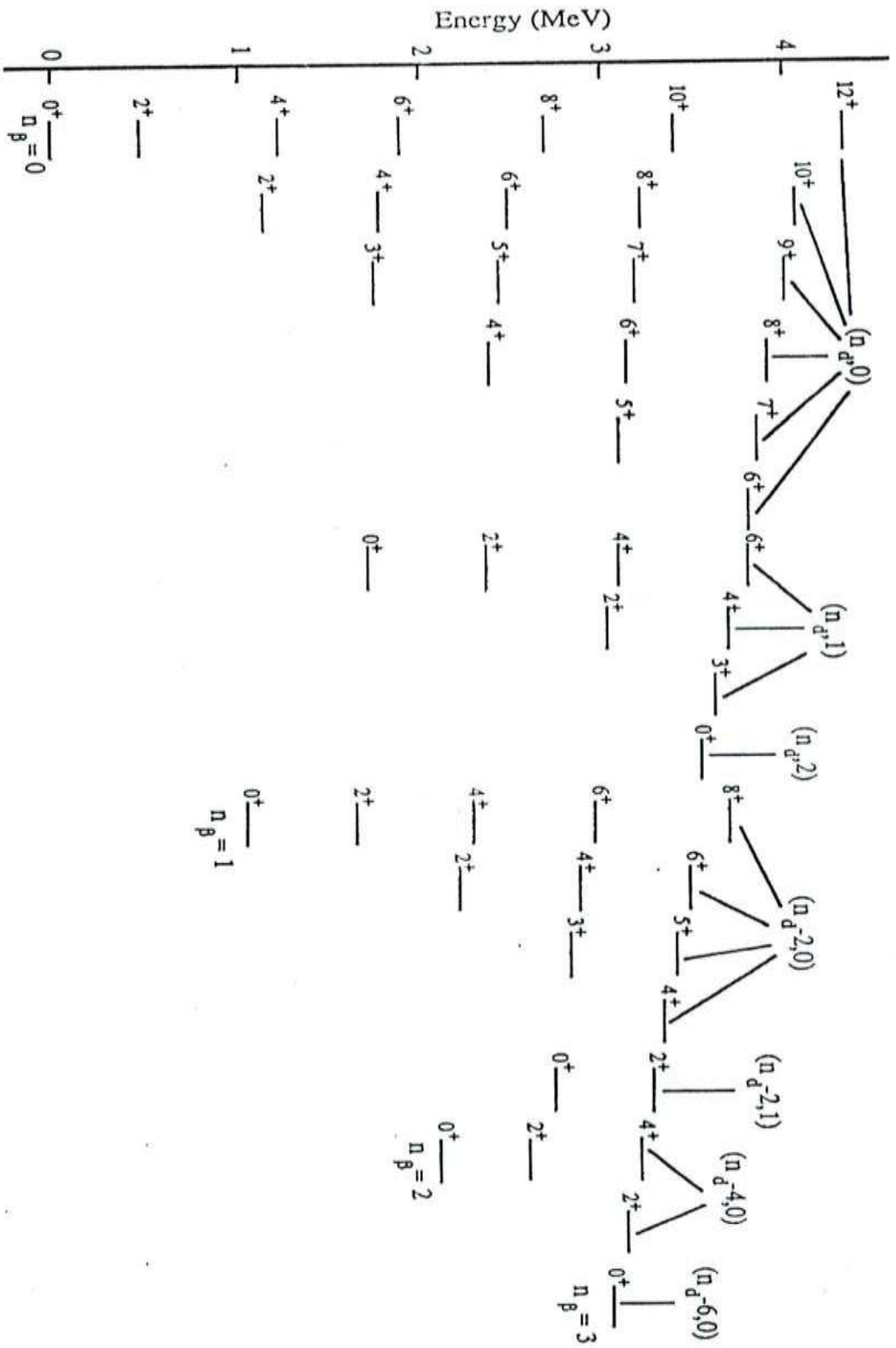
$$Q_{2_1^+} = \beta_2 \sqrt{\frac{16\pi}{35}} \dots\dots\dots(11-2)$$

حيث أن β_2 يمكن تعريفها بالشكل الآتي [37]:

$$\beta_2 = -\frac{0.7}{\sqrt{5}} \alpha_2 \dots\dots\dots(12-2)$$

حيث يمكن أن نستنتج من المعادلة (8-2) النسبة الخاصة في حالة التحديد SU(5) [34]

$$\frac{B(E_2, 4_1^+ \rightarrow 2_1^+)}{B(E_2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)} = \frac{2(N-1)}{N} \leq 2 \dots\dots\dots 13-2$$



شكل (1-2): الطيف النموذجي للتوحيد SU(5) لـ $(N=6)$ مع قيم ν و n_d والنزخ الزاوي لكل مستوي [29]

II-التحديد الدوراني SU(3) :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 لهاملتون [33] هي:

$$H^1 = a_1 L^2 + a_2 Q^2 \dots\dots\dots(14-2)$$

أما معادلة القيمة الذاتية لهاملتون SU(3) فأنها تعطى [30] بـ:

$$E|N, (\lambda, \mu), K, L, M\rangle = \frac{a_2}{2} (\lambda^2 + \mu^2 + \lambda\mu + 3(\lambda + \mu) + (a_1 - \frac{3a_2}{8}).L(L-1) \dots\dots\dots(15-2)$$

حيث أن الأعداد الكمية (λ, μ) يمثلان حالات SU(3) أما العدد الكمي K يرمز إلى الحالات التي تمتلك قيمة متساوية لـ (λ, μ, L) والشكل (2-2) يوضح طيفا نموذجيا للتحديد SU(3) [33,29] أما قيمة المؤثر الانتقالي $T_m^{(E_2)}$ لهذا التحديد فأنه يعطى بالصيغة الآتية [33]:

$$T_m^{(E_2)} = \alpha_2^2 \left[(d^\dagger s + s^\dagger d)_m^{(2)} - \frac{\sqrt{7}}{2} (d^\dagger d)_m^{(2)} \right] \dots\dots\dots(16-2)$$

حيث تعتبر $(\beta_2 = -\frac{\sqrt{7}}{2}\alpha_2)$ وتكون قواعد الاختيار (Selection Rules) لهذا التحديد [31,29]

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

أما قيمة $B(E_2)$ تعطى بالصيغة الآتية [35]

$$B(E_2, L+2 \rightarrow L) = \alpha_2^2 \frac{3}{4} \frac{(L+2)(L+1)}{(2L+3)(2L+5)} (2N-L)(2N+L+3) \dots\dots\dots(17-2)$$

أو

$$B(E_2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+) = \alpha_2^2 \frac{N}{5} (2N+3) \dots\dots\dots(18-2)$$

بينما يعطى عزم رباعي القطب الكهربائي للتحديد الدوراني بالصيغة التالية: [31]

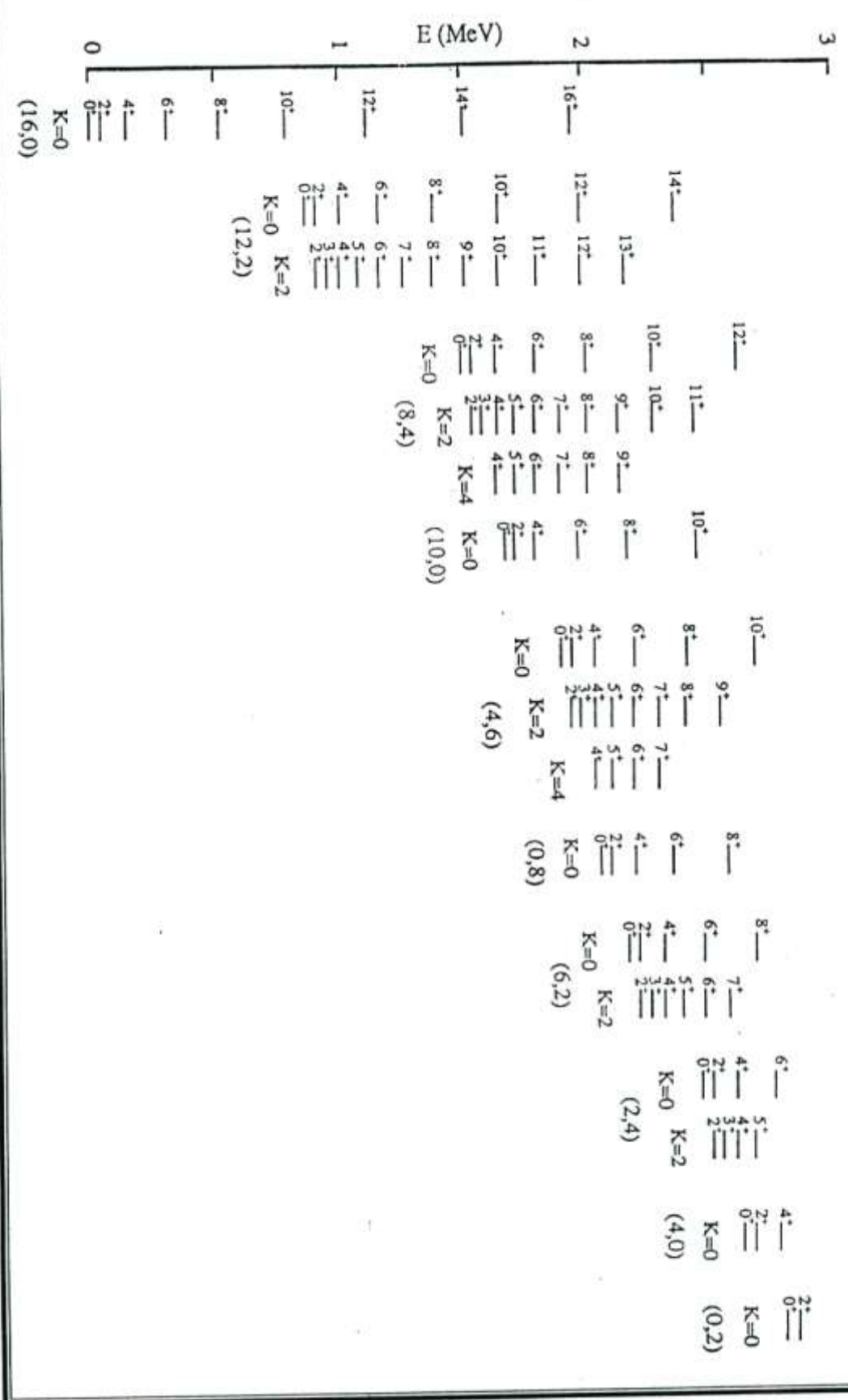
$$QL = -\alpha_2 \frac{\sqrt{16\pi}}{40} \frac{L}{2L+3} (4N+3) \dots\dots\dots(19-2)$$

أو

$$Q_{2_1^+} = -\alpha_2 \frac{\sqrt{16\pi}}{40} \frac{2}{7} (4N+3) \dots\dots\dots(20-2)$$

ومن المعادلة (16-2) يمكن إيجاد النسبة [38,34]

$$\frac{B(E_2, 4_1^+ \rightarrow 2_1^+)}{B(E_2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)} = \frac{10}{7} \frac{(N-1)(2N+5)}{N(2N+3)} \leq \frac{10}{7} \dots\dots\dots(21-2):$$



شكل (2-2): الطيف النموذج للتوحيد SU(3) لـ (N=8) مع قيم λ و μ و k والزخم الزاوي لكل مستوي [29]

ومن الجدير بالذكر أن معالجة النواة باستعمال نموذج الـ IBM في تحديد SU(3) تقترب من المعالجة باستعمال النموذج الهندسي لـ (Bohr & Mottelson) [40,39] وهذا لا ينطبق على التحديد SU(5) ومن المتوقع أن تكون قيمة Q_{IBM} في المعادلة (20-2) تساوي قيمتها المستخرجة بالنموذج الهندسي Q_{BM} [33] حيث أن :

$$Q_{BM}(L) = -eQ_o \frac{L}{2L+3} \dots\dots\dots(22-2)$$

حيث إن:

Q_o تمثل عزم رباعي القطب الكهربائي الذاتي (Intrinsic Quadruple Moment) [41]

ويساوي :

$$Q_o = \sqrt{B(E_2, L+2 \rightarrow L) \frac{16\pi}{5} \frac{2(2L+3)(2L+5)}{(L+2)(L+1)e^2}} \dots\dots\dots(23-2)$$

أو

$$Q_o = \left[\frac{16\pi B(E_2) \uparrow}{5e^2} \right]^{1/2} \dots\dots\dots(24-2)$$

III. تحديد γ -Unstable O(6)

هذا التحديد ينتج عندما يهيمن تفاعل الأزواج بين البوزونات (P.P) على طاقة البوزونات ε ويكون الهاملتون لهذا التحديد كالآتي: [34]

$$H^{III} = a_o p^2 + a_1 L^2 + a_3 T_3 \dots\dots\dots(25-2)$$

أما معادلة القيم الذاتية فأنها تعطى بالشكل الآتي: [29]

$$E |N, \delta, \tau, \nu \Delta, L, H\rangle = \frac{A}{4} (N - \delta)(N + \delta + 4) + \frac{B}{6} \tau(\tau + 3) + CL(L + 1) \dots\dots(26-2)$$

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

$$\delta = N, N-2, \dots\dots\dots, 0 \dots\dots\dots(27-2) \quad \text{Or } 1 \text{ for } N=\text{Even Or } N=\text{Odd.}$$

$$T=\delta,\delta-1,\dots,0 \dots\dots(28-2)$$

اذ ان المعاملات A,B,C تمثل القيم الذاتية المرافقة , و $v\Delta$ تمثل عدد البوزونات d المرتبطة ثلاثيا لزخم زاوي مقداره صفرا" والشكل (3-2) يوضح طيفا نموذجيا للتحديد O(6) [34,29] أما مؤثر الانتقال $T_m^{(E_2)}$ في هذا التحديد فإنه يكتب بالصيغة الآتية: [34]

$$T_m^{(E_2)} = \alpha_2 [d^\dagger s + s^\dagger d]_m^{(2)} \dots\dots\dots(29-2)$$

حيث أن :

$$\beta=0 \text{ وبقوانين انتقاء } (\Delta\tau=\pm 1, \Delta\delta=0) \text{ [34,29]}$$

وقيمة $B(E_2)$ فإنها تعطى

$$B(E_2, L+2 \rightarrow L) = \alpha_2^2 \frac{L+2}{2(L+5)} \frac{1}{4} (2N-L)(2N+L+8) \dots\dots(30-2) \quad \text{بـ [35,29]}$$

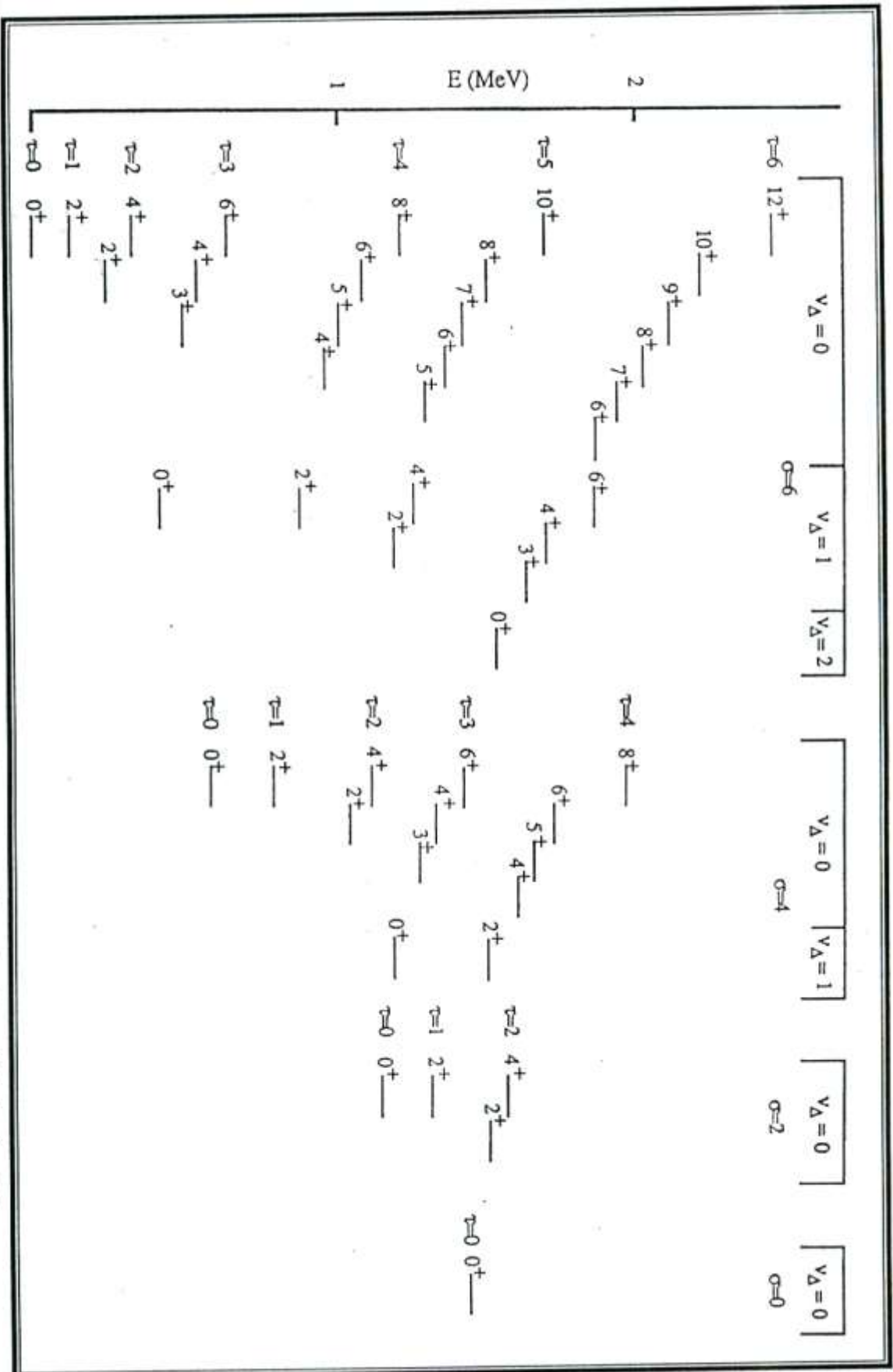
أو

$$B(E_2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+) = \alpha_2^2 \frac{N}{5} (N+4) \dots\dots\dots(31-2)$$

ومن قواعد الاختبار لهذا التحديد تمكن استنتاج أن قيم عزم رباعي القطب الكهربائي تساوي صفرا $QL=0 \dots\dots\dots(32-2)$

ومن المعادلة (26-2) يمكن إيجاد النسبة: [43]

$$\frac{B(E_2, 4_1^+ \rightarrow 2_1^+)}{B(E_2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)} = \frac{10}{7} \frac{(N-1)(N+5)}{N(N+4)} < \frac{10}{7} \dots\dots\dots(33-2)$$



شكل (3-2): العيف النموذجي للتحديد $O(6)$ لـ $(N=6)$ مع قيم σ و V_A و الزخم الزاوي لكل مستوي [29]

4-2 المناطق الانتقالية في نموذج البوزونات المتفاعلة - ١

Transitional Regions in IBM-1

إن التحديدات التي نوقشت سابقا تعطي مجموعة من الحلول التحليلية التي يمكن اختبارها بسهولة [35,30,29] 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) [30] وتكون الصيغة الهاملتونية لها هي [43]:

$$H^{I-II} = \varepsilon_{nd} + a_1 L.L + a_2 Q.Q \dots \dots \dots (34-2)$$

حيث أن خواص هذا الصنف تعتمد أساسا على النسبة $\frac{\varepsilon}{a_2}$ إذ إنها تلعب 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 ASU(3) , وإذا كانت متوسطة فان الحل سيكون بين التحديدين , والشئ نفسه سوف يحدث بالنسبة لنسب الانتقالات الكهرومغناطيسية كالنسبة [35].

$$R = \frac{B(E_2, 2_2^+ \rightarrow 0_1^+)}{B(E_2, 2_2^+ \rightarrow 2_1^+)} \dots \dots \dots (35-2)$$

حيث أن النسبة تعتبر 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) [29] وتكون الصيغة الهاملتونية لها هي [35]:

$$H^{II-III} = a_0 p.p + a_1 L.L + a_2 Q.Q \dots \dots \dots (36-2)$$

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 تأخذ قيم متوسطة ما بين R=0 للتحديد O(6) و R=7/10 للتحديد SU(3) [35].

٣- الصنف C:

تمتلك نوى هذا الصنف خواص انتقالية بين التحديدين SU(5) و O(6) [35] أما الصيغة الهاملتونية لها هي: [30]

$$H^{1-11} = \varepsilon_{nd} + a_o p.p + a_1 L.L + a_3 T_3.T_3 \dots \dots \dots (37-2)$$

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

٤- الصنف D:

إن نوى هذا الصنف تمتلك خواص انتقالية مشتركة بين التحديدات الثلاثة السابقة الذكر , ويكتب الهاملتون لها بالصيغة الآتية : [29]

$$H = \varepsilon_{nd} + a_o p.p + a_1 L.L + a_2 Q.Q + a_3 T_3.T_3 + a_4 T_4.T_4 \dots \dots \dots (38-2)$$

5-2 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 للبوزونات N وعاملي التشوه (β, γ) كما في المعادلة الآتية [44,35]

$$V(N, \beta, \gamma) = \frac{\langle N, \beta, \gamma | \hat{H} | N, \beta, \gamma \rangle}{\langle N, \beta, \gamma | N, \beta, \gamma \rangle} \dots \dots \dots (39-2)$$

وباشتقاق معادلة طاقة جهد السطح $V(N, \beta, \gamma)$ بالنسبة إلى (β, γ) نحصل على المعادلة العامة الآتية [44,35]

$$V(N, \beta, \gamma) = \frac{N}{1+\beta^2} (\varepsilon_s + \varepsilon_d \beta^2) + \frac{N(N-1)}{(1+\beta^2)} (A_1 \beta^2 + A_2 \beta^3 \cos 3\gamma + A_3 \beta^2 + A_4) \dots \dots \dots (40-2)$$

حيث إن:

N تمثل عدد البوزونات الكلية .

β مقدار تشوه النواة Magnitude of Nuclear Deformation , وتأخذ القيم $(0, 4-0)$.

γ زاوية عدم التناظر Asymmetry Angle وتتراوح قيمتها $(0^\circ - 60^\circ)$.

A_1, A_2, A_3, A_4 معاملات ترتبط مع دالة جهد السطح في المعادلة (2-33) .

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 يساوي 0° فإن التشوه يكون على شكل بيضوي متطاوّل Oblate Shape, وعندما تكون γ يساوي 60° فإن التشوه يكون على شكل بيضوي مفلطح Oblate Shape .

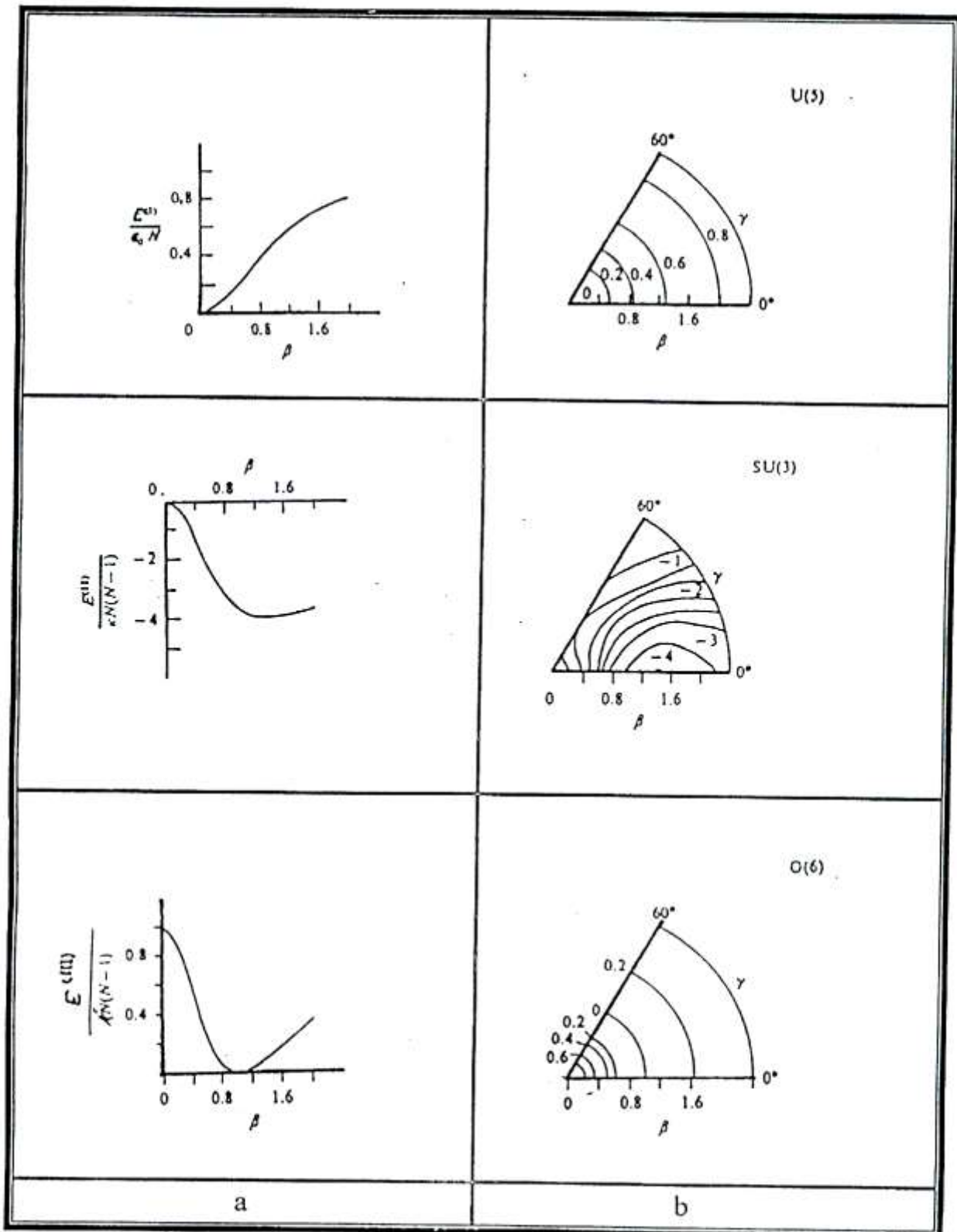
أن معادلة طاقة جهد السطح للتماثلات الثلاثة يمكن إعطاؤها بالمعادلات الآتية [29]

$$E^1(N, \beta, \gamma) = \varepsilon N \frac{\beta^2}{1 + \beta^2} \text{-----} SU(5) \dots \dots \dots (41 - 2)$$

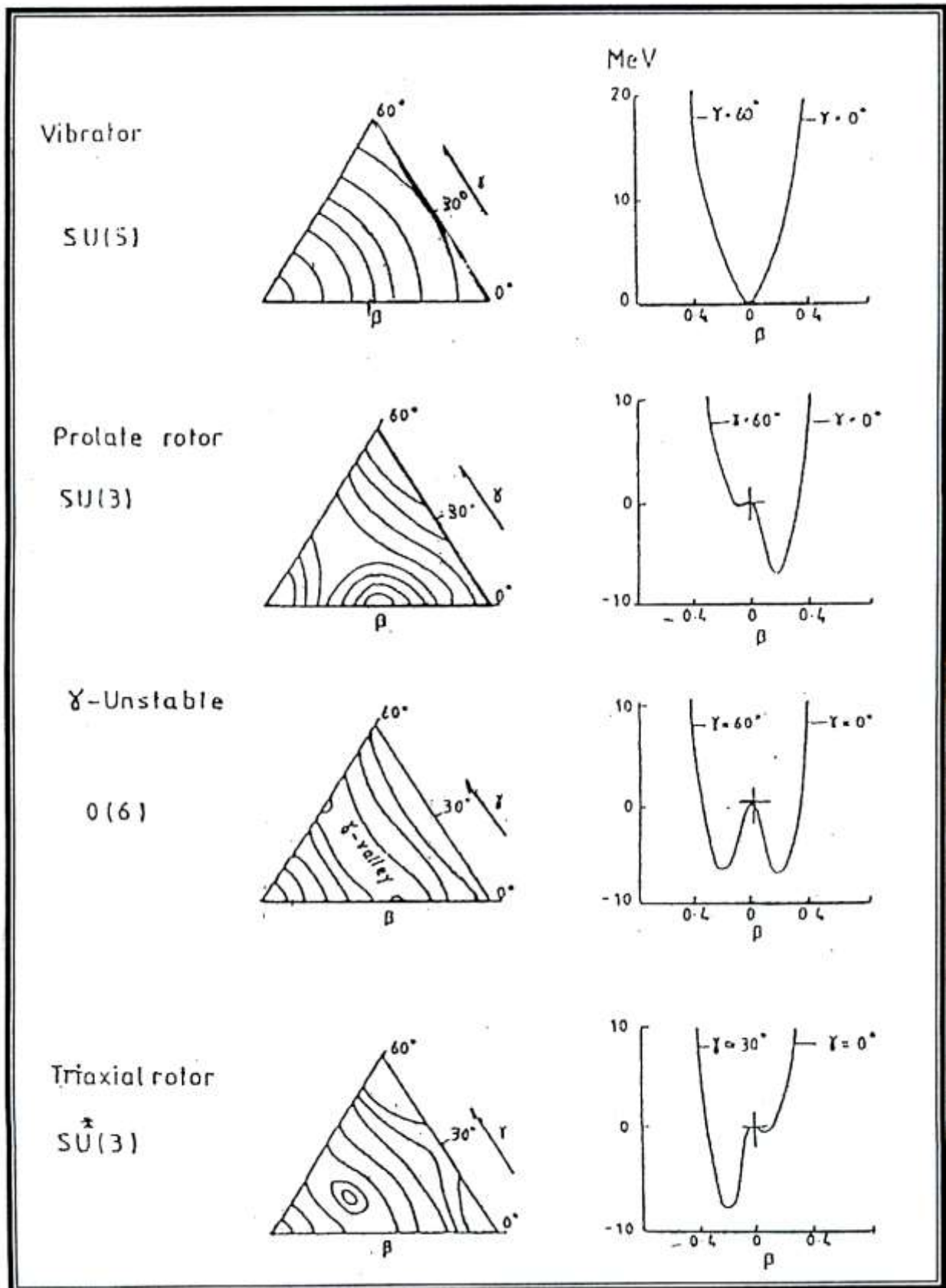
$$E^{11}(N, \beta, \gamma) = KN(N - 1) \frac{1 + \frac{3}{4} \beta^4 - \sqrt{2} \beta^3 \cos 3\gamma}{(1 + \beta^2)^2} \text{-----} SU(3) \dots \dots \dots (42 - 2)$$

$$E^{111}(N, \beta, \gamma) = K^- N(N - 1) \left[\frac{1 - \beta^2}{1 + \beta^2} \right]^2 \text{-----} O(6) \dots \dots \dots (43 - 2)$$

حيث يتناسب K مع a_2 و k^- مع a_0 المعرفة في المعادلة (٢-٢) [29] ويوضح الشكل (a,4-2) رسم دالة الطاقة $E(N, \beta, \gamma)$ بوصفها دالة للمتغير β لكل تحديد والشكل (b,4-2) رسم المخططات العامة في المستوي γ - β لكل تحديد [35].



الشكل (a,4-2) رسم معادلة E بوصفها دالة للمتغير β
 الشكل (b,4-2) رسم المخططات العامة في $(\gamma-\beta)$ [35]



الشكل (٢-٥)

المخطط المثالي للخطوط الكنتورية والتناظرات المحورية [45]

6-2 الحركة الدورانية في النواة وعزم القصور الذاتي : Rotational Motion Nucleus and Moment of Inertia

تعتمد الحركة الدورانية الجماعية (Collective Rotation Motion) للنواة على حركة النيوكليونات المتكافئة مع حركة النواة مسببة دوران عدد من النيوكليونات 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 [46] ويبين الشكل (٦-٢) نوعي التشوه للنوى الدورانية، النوع الأول يمثل التشوه البيضوي المتطاول Prolate (Deformation) وفيه تدور النواة حول محور عمودي على محور التناظر النووي، أما النوع الثاني يمثل التشوه البيضوي المفلطح (Oblate Deformation) وفيه تدور النواة حول محور موازي لمحور التناظر النووي [47]. وفي كلا النوعين عندما تكون الحركة الدورانية سريعة فإن هناك قوة تنشأ تسمى بقوة كوريولس تحطم الأزواج (Pairing) الحاصل بين عدد من أزواج النيوكليونات متسببة في ظهور حزمة شبيهي الجسيمات (Two-quasiparticles) أو الحزمة ذات الأشباه الأربعة للجسيمات (Foure-quasiparticles) مسببة شذوذا عند زخوم زاوية معينه $L^{\pi} \geq 10^{+}$ في بعض النوى والتي تسبب ظاهرة (Back bending) [48]. ومن الممكن إيجاد عزم رباعي القطب الكهربائي الذاتي Q_0 بعد معرفة قيمة الاحتمالية من المعادلة الآتية: [49]

$$B(E_2, L \rightarrow L-2) = \frac{5}{16\pi} \frac{3}{2} \frac{(L-1)}{(2L-1)} \frac{L}{(2L+1)} e^2 Q_0^2 (L \rightarrow L-2) \dots \dots \dots (44-2)$$

ومن معادلة (٢-٣٨) يمكن إيجاد عزم رباعي القطب الكهربائي الذاتي Q_0 .

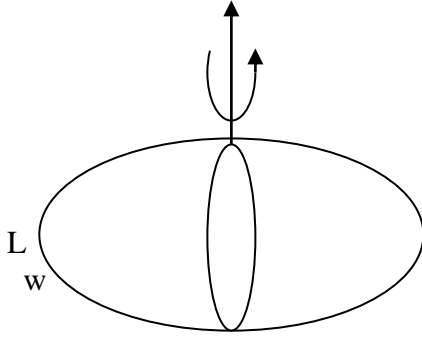
$$Q_0 = \left[\frac{16\pi B(E_2) \uparrow}{5e^2} \right]^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (45-2)$$

ولايجاد مربع الطاقة الدورانية نطبق الصيغة الآتية:

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

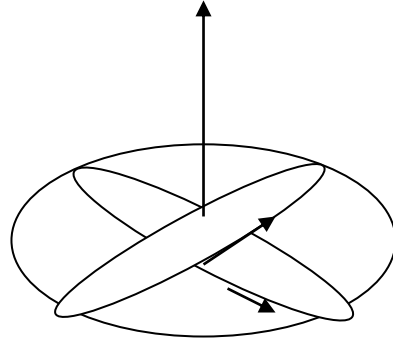
أما عزم القصور الذاتي $(\frac{2\nu}{\hbar^2})$ يحسب من المعادلة الآتية [49]:

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



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

Rotation of a prolate nucleus



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

Rotation of an oblate nucleus

شكل (٦-٢) الحركة الدورانية للنواة المتطاولة والمفلطحة , حيث أن \mathcal{I}_{\perp}^p و $\mathcal{I}_{\parallel}^o$ تمثل عزم القصور الذاتي للنوعين على التوالي [50] .

1-3 الحسابات: Calculation

عند دراسة الخواص النووية لنظائر الهافينيوم $^{180-188}\text{Hf}$ الزوجية- الزوجية تم تحديد سلوك كل نظير اعتمادا على النتائج النظرية المحسوبة باستعمال نموذج البوزونات المتفاعلة (IBM-1) ومقارنتها مع القيم العملية المتوفرة حيث أن مستويات الطاقة الواطئة ذات التماثل الموجب (Low-lying positive parity) في نوى الهافينيوم الزوجية- الزوجية التي يقترب فيها عدد النيوكليونات (بروتونات- نيوترونات) من منتصف القشرة الرئيسية (١٢٦-٨٢) تعد من النوى ذات الخواص الجماعية (Collective Properties) وتوصف بشكل عام بالتحديد الدوراني $SU(3)$.

أن من أهم الخواص في التركيب النووي هي خاصية التناظر (Symmetry) التي تحدد وبشكل واضح لما لشكل النواة من علاقة مؤثرة في تحديد الصفات النووية مثل مستويات الطاقة واحتمالية الانتقالات الكهرومغناطيسية المختزلة وعزم رباعي القطب الكهربائي وعزم القصور الذاتي ومربع الطاقة الدورانية .

١-٣ حساب مستويات الطاقة

أن مستويات الطاقة العملية لنظائر الهافينيوم $^{166-178}\text{Hf}$ تبين الطبيعة الانتقالية لهذا استعمل التحديدين الانتقاليين $O(6) \rightarrow SU(3)$ أما النظائر $^{170-180}\text{Hf}$ حيث كانت انتقالية بين التحديدين $SU(3) \rightarrow O(6)$ أي أن النوى تكون أشكالها بين التحديد الدوراني وتحديد كما غير المستقرة .

أن قيم المعاملات التي أعطت أفضل تطابق مع القيم العملية [54,53,52,51] مبينة في الجدول (١-٣) .

جدول (١-٣) المعاملات المستعملة في البرنامج (IBM-1) وبوحدات (MeV)

| المعاملات | ^{166}Hf | ^{168}Hf | ^{170}Hf | ^{172}Hf | ^{174}Hf | ^{176}Hf | ^{178}Hf | ^{180}Hf |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| P.P | 0.0128 | 0.0269 | 0.0095 | 0.004 | 0.006 | 0.0059 | 0.0122 | 0.0127 |
| L.L | 0.0 | 0.011 | 0.0094 | 0.0077 | 0.0077 | 0.0067 | 0.0077 | 0.0082 |
| Q.Q | -0.01 | -0.0108 | -0.0097 | -0.012 | -0.0106 | -0.0133 | -0.0123 | -0.0135 |
| T3.T3 | 0.0724 | 0.0611 | 0.0549 | 0.062 | 0.0745 | 0.0766 | 0.07 | 0.0649 |
| T4.T4 | 0.046 | 0.071 | 0.0655 | 0.0707 | 0.06 | 0.1002 | 0.0864 | 0.1174 |
| CH ₁ | -1.032 | -1.176 | -1.32 | -1.216 | -1.32 | -1.32 | -1.323 | -1.32 |

أما القيم النظرية لطاقات المستويات المستعملة لهذه النظائر موضحة بالأشكال من (١-٣)

إلى (٨-٣) ومقارنتها مع القيم العملية [54,53,52,51] حيث كانت متوافقة معها .

بالإضافة إلى ذلك تم تعيين الزخم الزاوي والتماثل لبعض مستويات الطاقة التي لم تعين بصورة

أكيدة وإيجاد زخم وتماثل بعض المستويات الأخرى التي لم يسبق تحديدها عمليا وكالاتي :

١- نواة ^{166}Hf

حدد مستوي الطاقة 1.006MeV بزخم وتماثل مقداره 3_1^+ إذ لم يكن مؤكداً عملياً

[52,51] وكذلك تم تحديد مستوي الطاقة 1.023MeV بزخم وتماثل مقداره 4_2^+ بدلا من

القيمة $(3_2^+, 4_2^+)$ المحدده عملياً.

٢- نواة ^{168}Hf

عينت مستويات الطاقة 0.94MeV و 1.03MeV و 1.158MeV غير المحدده عملياً

[51] بصورة أكيدة بزخم وتماثل مقداره $2_4^+, 3_1^+, 0_2^+$ وعلى التوالي.

٣- نواة ^{170}Hf

تم تحديد مستويات الطاقة 1.088MeV و 1.22MeV غير المحدده عمليا [53,51] بصورة أكيدة بزخم وتمائل مقداره $4_3^+, 3_1^+$ وعلى التوالي.

٤- نواة ^{172}Hf

حدد مستوي الطاقة 1.03MeV بزخم وتمائل مقداره 3_1^+ إذ تم يكن مؤكدا عمليا [51] بالإضافة إلى ذلك تم تحديد مستويات طاقا جديدة 1.03MeV و 1.57MeV بزخم وتمائل مقداره $10_1^+, 8_1^+$ وعلى التوالي . اذ لم تكن محددة عمليا.

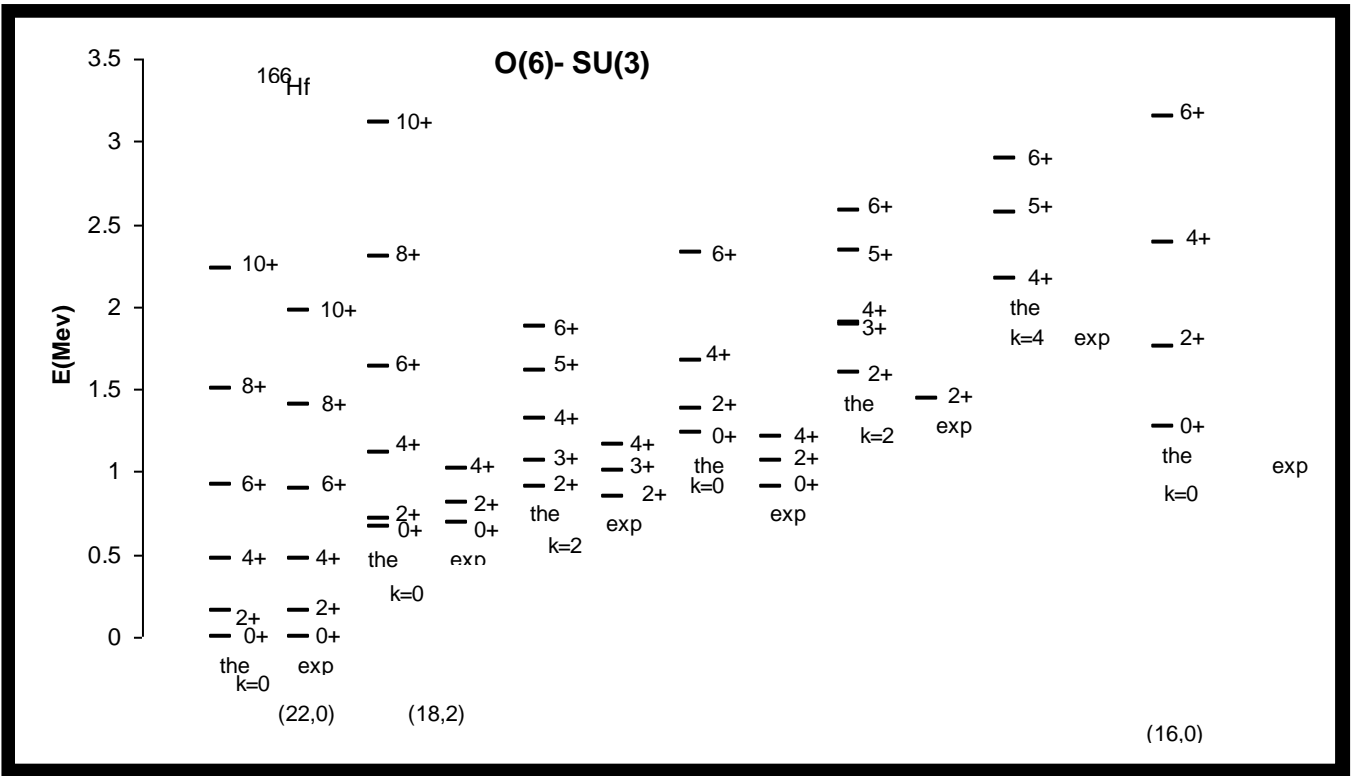
٥- نواة ^{174}Hf

حدد مستوي الطاقة 1.3MeV بزخم وتمائل مقداره 3_1^+ إذ لم يكن محدد عمليا بصورة أكيدة [51] كما تم تحديد مستوي طاقة جديد 1.308MeV بزخم وتمائل مقداره 6_2^+ اذ لم يكن محدد عمليا.

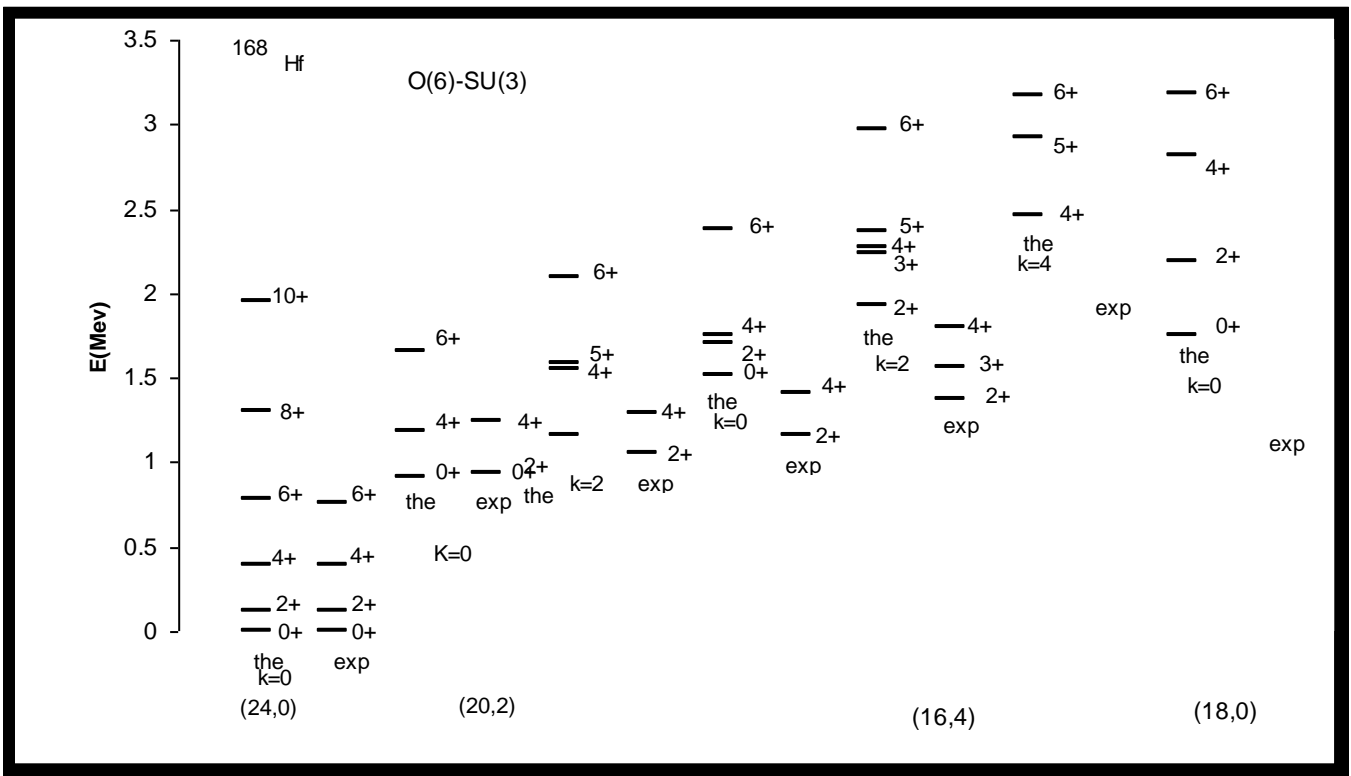
٦- نواة ^{176}Hf

تم توقع مستويين للطاقة 1.49MeV و 1.5MeV بزخم وتمائل مقداره $10_1^+, 4_2^+$ [51] وعلى التوالي.

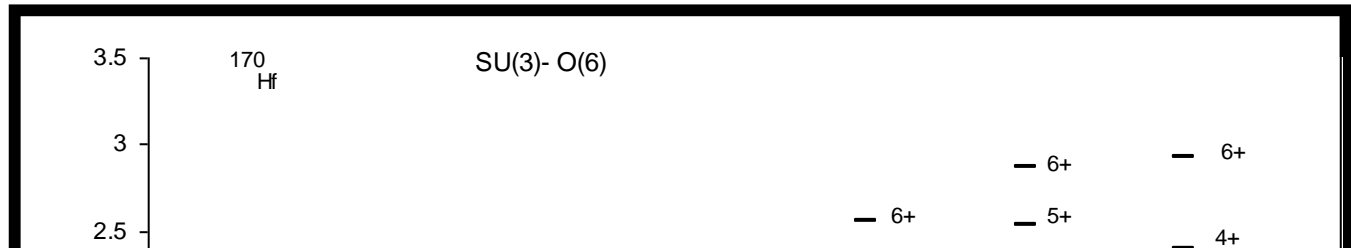
من خلال نتائج مستويات الطاقة التي تم الحصول عليها باستعمال البرنامج IBM-1 يمكن رسم طيف الطاقة النظري ومقارنتها مع النتائج العملية [54,53,52,51] الخاصة بكل نظير.



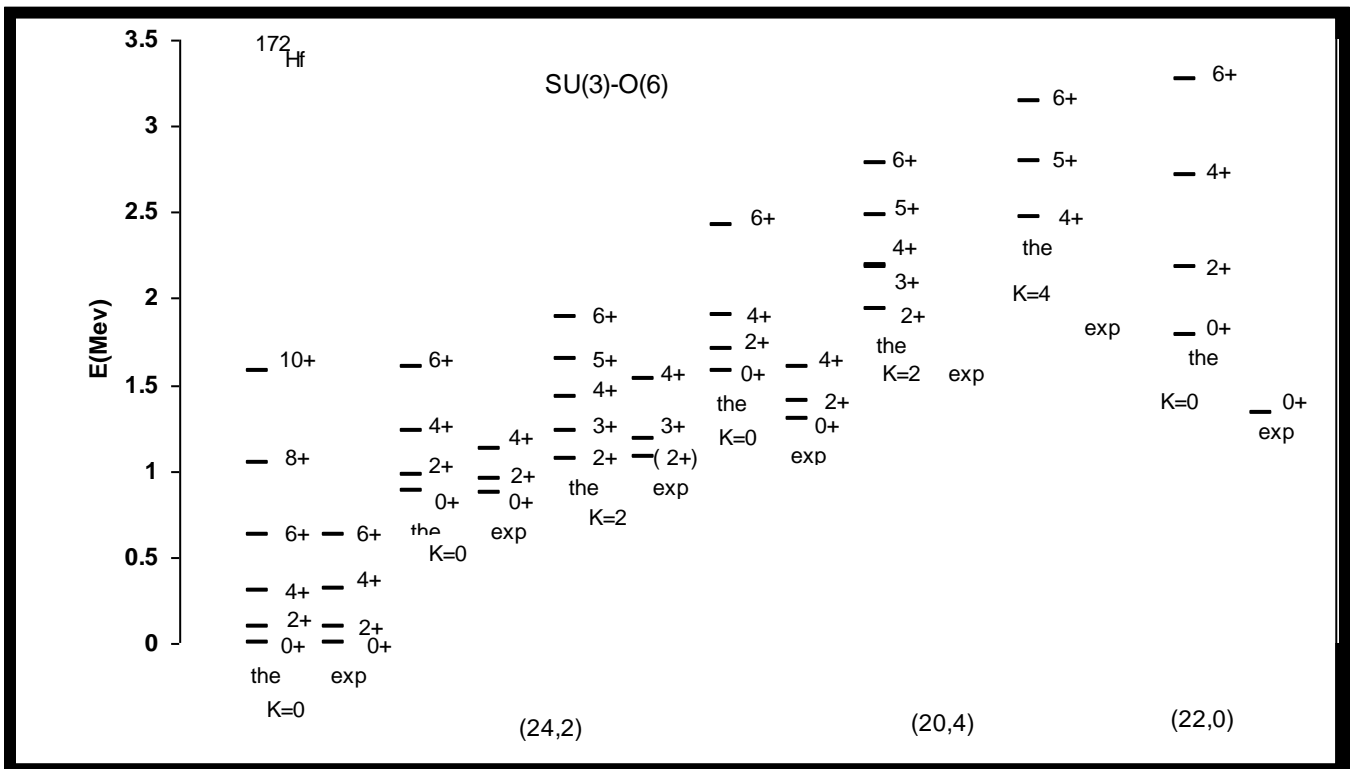
شكل (٣-١) مقارنة بين القيم النظرية والعملية [52,51] لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ^{166}Hf .



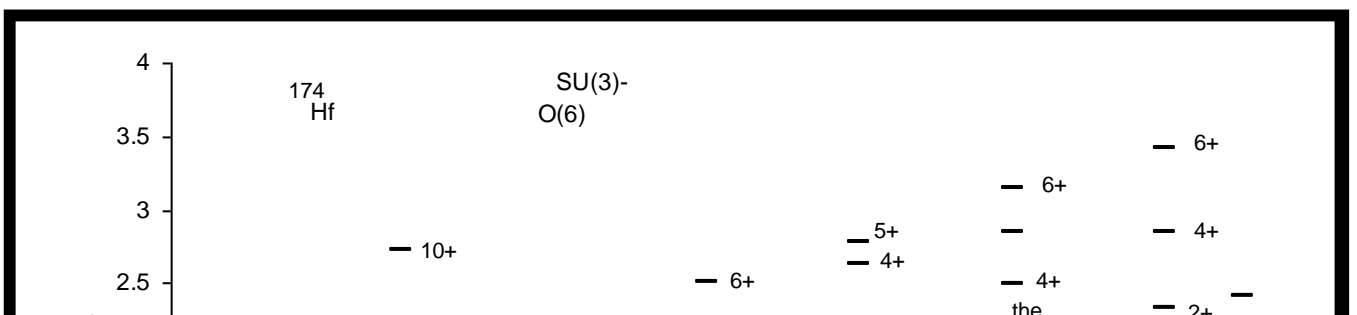
شكل (٣-٢) مقارنة بين القيم النظرية والعملية [٥١] لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ^{168}Hf .



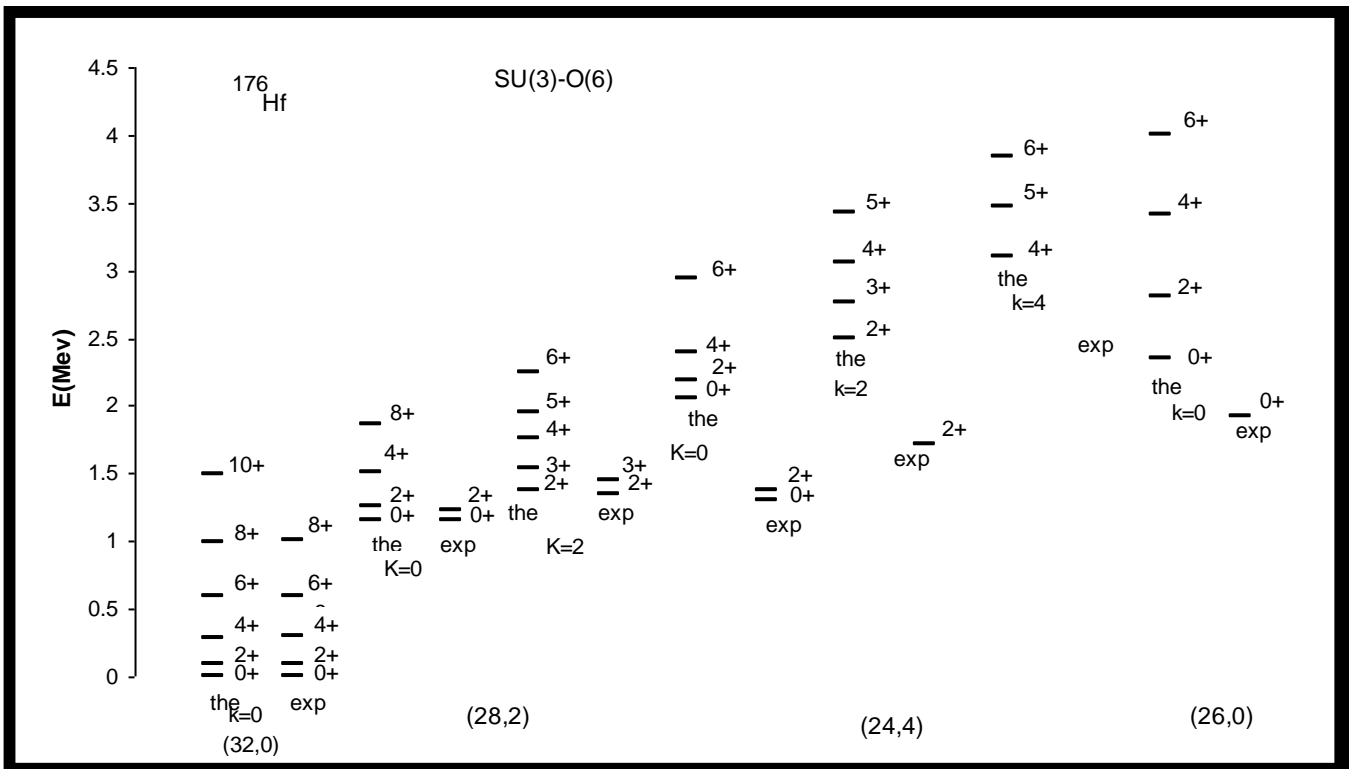
شكل (٣-٣) مقارنة بين القيم النظرية والعملية [53,51] لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ^{170}Hf .



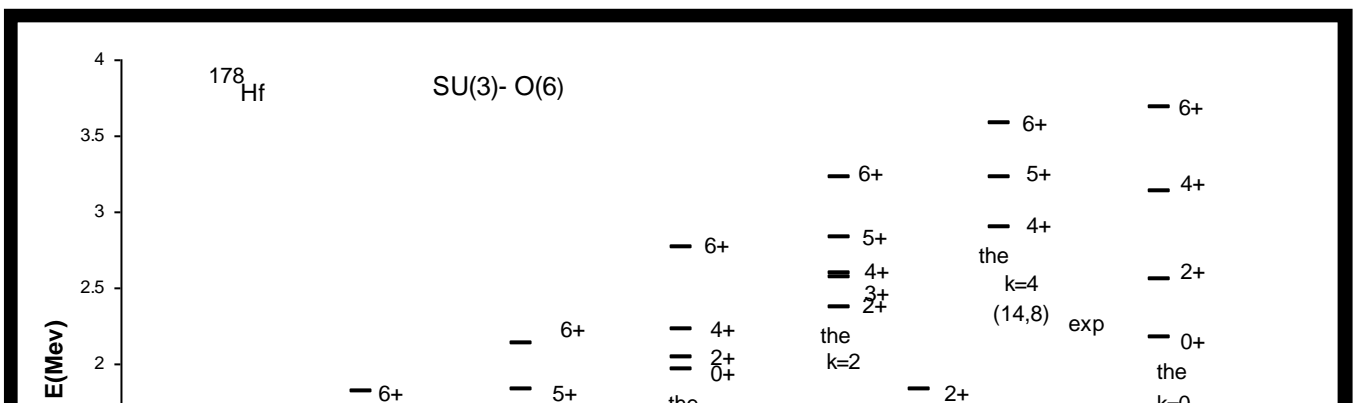
شكل (٤-٣) مقارنة بين القيم النظرية والعملية [51] لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ^{174}Hf .



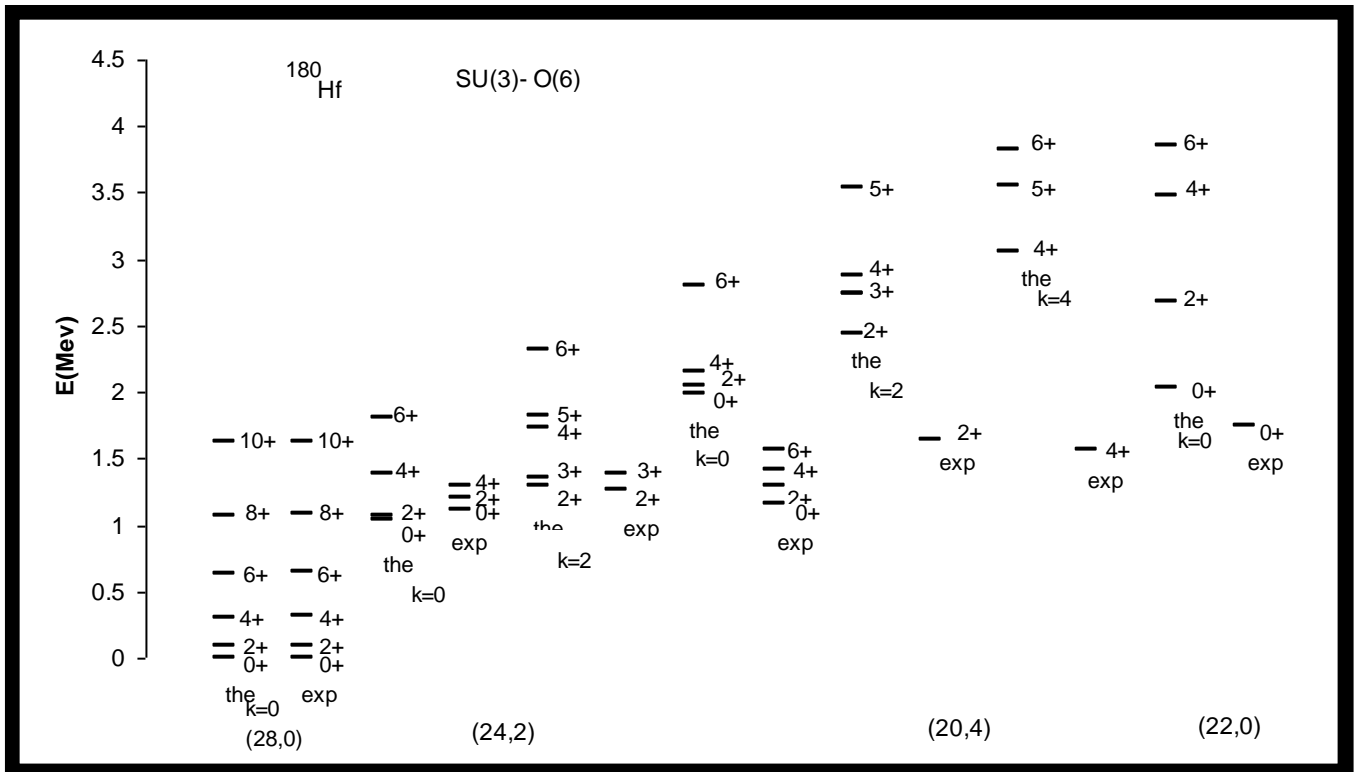
شكل (٥-٣) مقارنة بين القيم النظرية والعملية [٥١] لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ^{176}Hf .



شكل (٦-٣) مقارنة بين القيم النظرية والعملية [٥١] لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ^{176}Hf .



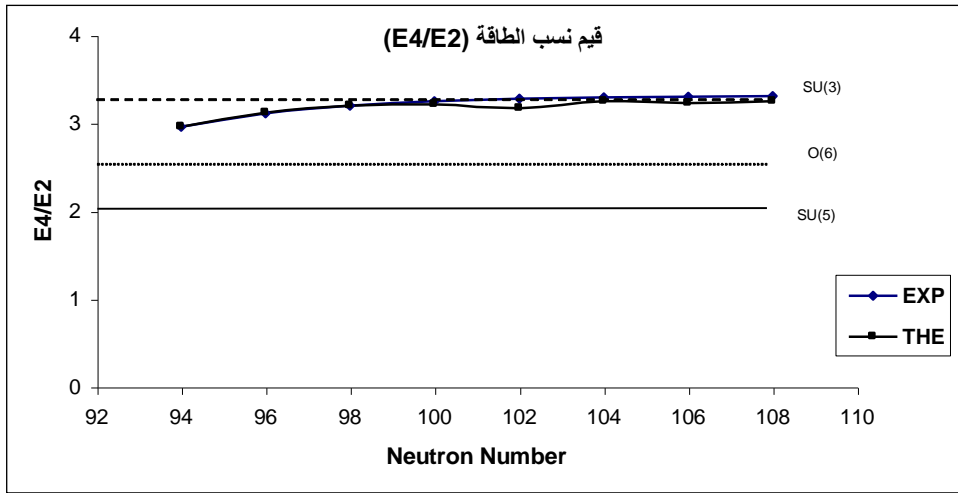
شكل (٧-٣) مقارنة بين القيم النظرية والعملية [٥١] لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ^{178}Hf .



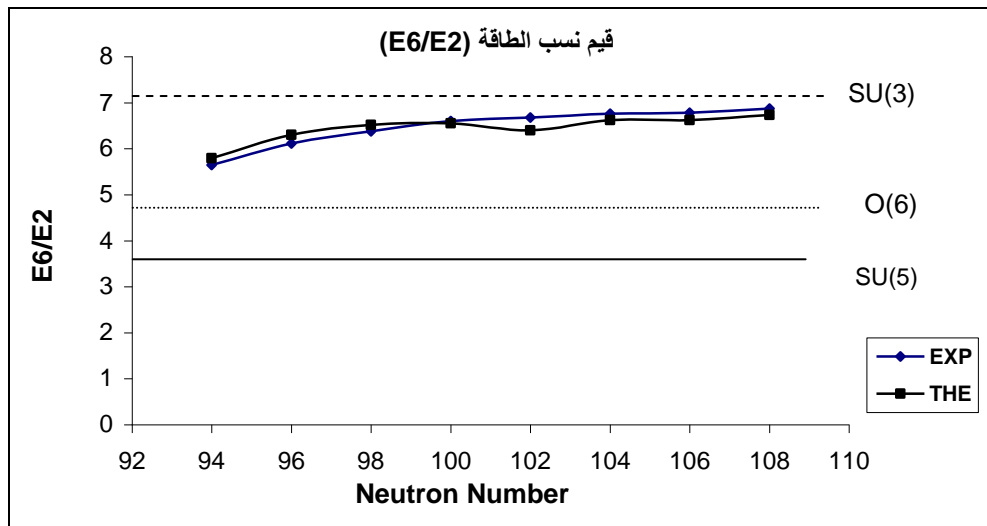
شكل (٨-٣) مقارنة بين القيم النظرية والعملية [54,51] لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ^{180}Hf .

كما تم حساب قيم نسب الطاقة $\frac{E0_2^+}{E2_1^+}, \frac{E8_1^+}{E2_1^+}, \frac{E6_1^+}{E2_1^+}, \frac{E4_1^+}{E2_1^+}$ لنوى الهافينيوم $^{166-180}\text{Hf}$ ومقارنتها مع

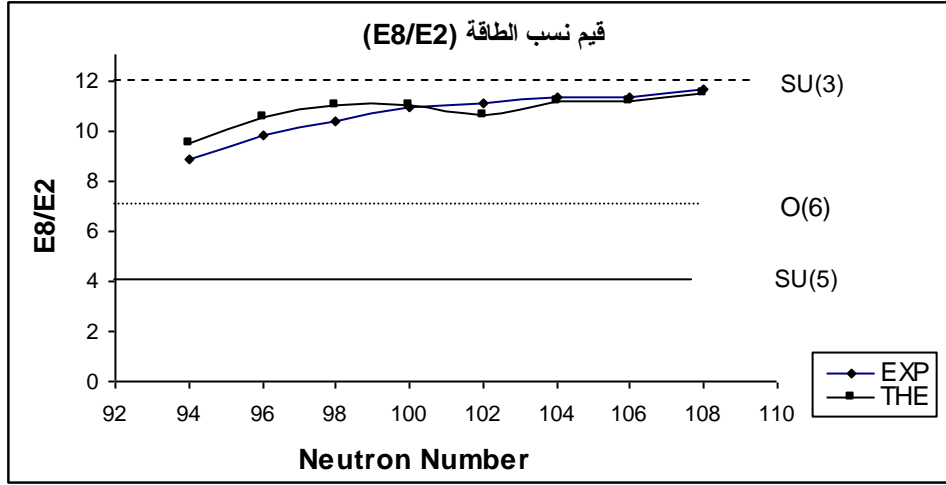
ما يقابلها من القيم العملية [54,53,52,51] والقيم النموذجية الخاصة بكل تحديد [55,29] والموضحة بالإشكال من (9-3) إلى (12-3).



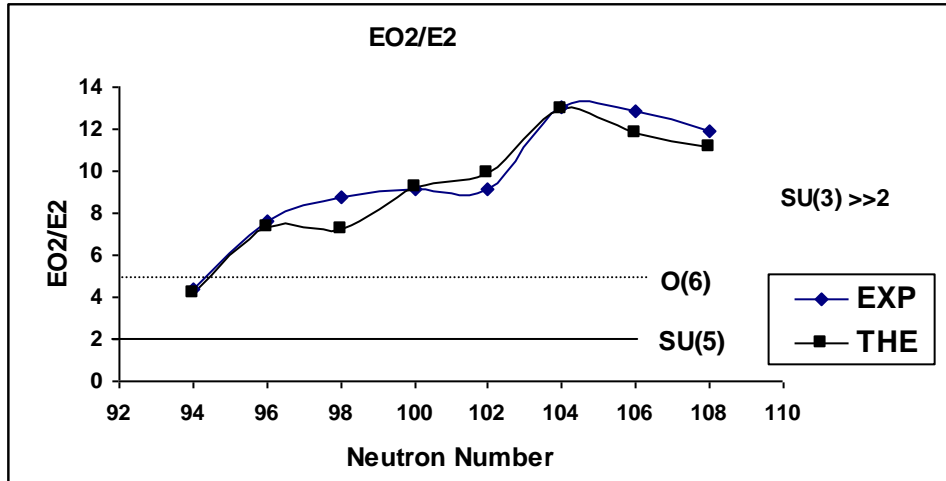
شكل (٩-٣) قيم نسب الطاقة E_{4^+}/E_{2^+} العملية [54,53,52,51] والنظرية الخاصة بنظائر $^{180-166}\text{Hf}$ مع القيم النموذجية [55,29] لكل تحديد.



شكل (١٠-٣) قيم نسب الطاقة E_{6^+}/E_{2^+} العملية [54,53,52,51] والنظرية الخاصة بنظائر $^{180-166}\text{Hf}$ مع القيم النموذجية [55,29] لكل تحديد.



شكل (١١-٣) قيم نسب الطاقة E_{8^+} / E_{2^+} العملية [54,53,52,51] والنظرية الخاصة بنظائر $^{180-166}\text{Hf}$ مع القيم النموذجية [55,29] لكل تحديد.



شكل (١٢-٣) قيم نسب الطاقة $E_{0_2^+} / E_{2_1^+}$ العملية [54,53,52,51] والنظرية الخاصة بنظائر $^{180-166}\text{Hf}$ مع القيم النموذجية [55,29] لكل تحديد.

٣-٣ حساب القيم المختزلة لاحتمالية الانتقال الكهربائي رباعي القطب $B(E_2)$:

من اجل الحصول على مقدار كبير من المعلومات عن النوى تطلب الأمر دراسة الانتقالات الكهربية رباعية القطب باستعمال البرنامج (IBMT-1) وقد تم تحديد قيم (β_2, α_2) في المعادلة (4-2) وفي الدراسة الحالية حددت المعاملات بالاعتماد على القيم العملية للانتقالات $B(E_2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ بشكل أساسي حيث استعملت المعاملات E_2SD و E_2DD [31] وهي :

$$E_2SD = \alpha_2 \dots \dots \dots (1-3)$$

$$E_2DD = \sqrt{5}\beta_2 \dots \dots \dots (2-3)$$

ومن الممكن إيجاد قيمة α_2 من معادلة (18-2) بعد حساب قيمة الاحتمالية $B(E_2) \downarrow$ من المعادلة الآتية [54] :

$$B(E_2) \downarrow = \frac{56.57}{E_\gamma^5 t_{1/2} [1 + \alpha_{tot}]} (e^2 b^2) \dots \dots \dots (3-3)$$

حيث أن E_γ تمثل طاقة انتقال أشعة كما بوحدة (keV) وتمثل $t_{1/2}$ عمر النصف للمستوي 2_1^+ .

أما α_{tot} معامل التحول الداخلي الكلي (Total Internal Conversion Coefficient) وقد تم الحصول عليه من الجدول [56] أو من العلاقة الآتية [49] :

$$B(E_2) \downarrow = B(E_2) \uparrow g \dots \dots \dots (4-3)$$

بعد استخراج قيمة $B(E_2) \uparrow$ من الجداول [49] حيث ان g تمثل عامل التحويل ويمكن تعريفه من المعادلة الآتية :

$$g = (2I_f + 1) / (2I_i + 1) \dots \dots \dots (5-3)$$

حيث أن I_f, I_i يمثلان الزخم الزاوي للمستوي الابتدائي والنهائي على التوالي , يبين الجدول (2-3) قيم المعاملات B_2DD, B_2SD و $B(E_2)$ المستعملة في البرنامج .

جدول (٢-٣) قيم $B(E_2)$ و E_2SD و E_2DD لنظائر $^{166-180}\text{Hf}$ المستعملة في البرنامج (IBMT-code)

| النظائر | E_2SD (eb) | E_2DD (eb) | $B(E_2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ ($e^2 b^2$) [49,42] |
|---------|-----------------|-----------------|--|
|---------|-----------------|-----------------|--|

| | | | |
|-------------------|---------|----------|--------|
| ¹⁶⁶ Hf | 0.11176 | -0.33058 | 0.692 |
| ¹⁶⁸ Hf | 0.11433 | -0.33819 | 0.8581 |
| ¹⁷⁰ Hf | 0.1154 | -0.34136 | 1.0001 |
| ¹⁷² Hf | 0.099 | -0.29285 | 0.878 |
| ¹⁷⁴ Hf | 0.09353 | -0.277 | 0.9601 |
| ¹⁷⁶ Hf | 0.0993 | -0.2938 | 1.054 |
| ¹⁷⁸ Hf | 0.09757 | -0.2886 | 0.9639 |
| ¹⁸⁰ Hf | 0.1115 | -0.3298 | 0.93 |

أما قيم الاحتمالية $B(E_2)$ النظرية المستخرجة باستعمال البرنامج لنظائر Hf ¹⁶⁶⁻¹⁸⁰ موضحة بالجدول من (3-3) إلى (10-3) .

جدول (3-3) قيم $B(E_2)$ النظرية لنظير ¹⁶⁶Hf المستخرجه باستعمال البرنامج IBMT-Code والقيم العملية المقابلة لها.

| $i \rightarrow f$ | $B(E_2) \downarrow e^2b^2$ القيم النظرية | $B(E_2) \downarrow e^2b^2$ القيم العملية [49,42] |
|---------------------------|---|---|
| $2_1^+ \rightarrow 0_1^+$ | 0.692 | 0.692 |
| $2_1^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.046 | ----- |
| $2_2^+ \rightarrow 0_1^+$ | 0.0222 | ----- |
| $2_2^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.1479 | ----- |
| $2_3^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.3318 | ----- |
| $2_3^+ \rightarrow 0_3^+$ | 0.0587 | ----- |
| $2_4^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.0319 | ----- |
| $2_4^+ \rightarrow 0_3^+$ | 0.1775 | ----- |
| $2_1^+ \rightarrow 2_2^+$ | 0.0426 | ----- |
| $4_1^+ \rightarrow 2_1^+$ | 0.9965 | 0.991 |
| $4_1^+ \rightarrow 2_2^+$ | 0.018 | ----- |
| $4_1^+ \rightarrow 2_3^+$ | 0.0389 | ----- |
| $4_2^+ \rightarrow 2_1^+$ | 0.0438 | ----- |
| $4_2^+ \rightarrow 2_2^+$ | 0.28 | ----- |
| $4_2^+ \rightarrow 2_3^+$ | 0.1994 | ----- |

جدول (4-3) قيم $B(E_2)$ النظرية لنظير ¹⁶⁸Hf المستخدمه باستعمال البرنامج IBMT-Code والقيم العملية المقابلة لها.

| $i \rightarrow f$ | $B(E_2) \downarrow e^2b^2$ | |
|---------------------------|----------------------------|-----------------------|
| | القيم النظرية | القيم العملية [49,42] |
| $2_1^+ \rightarrow 0_1^+$ | 0.8581 | 0.858 |
| $2_1^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.0513 | ----- |

| | | |
|---------------------------|--------|-------|
| $2_2^+ \rightarrow 0_1^+$ | 0.0113 | ----- |
| $2_2^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.0942 | ----- |
| $2_3^+ \rightarrow 0_1^+$ | 0.0166 | ----- |
| $2_3^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.4634 | ----- |
| $2_3^+ \rightarrow 0_3^+$ | 0.0259 | ----- |
| $2_4^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.0123 | ----- |
| $2_4^+ \rightarrow 0_3^+$ | 0.1317 | ----- |
| $2_1^+ \rightarrow 2_2^+$ | 0.0138 | ----- |
| $4_1^+ \rightarrow 2_1^+$ | 1.2282 | 1.268 |
| $4_1^+ \rightarrow 2_3^+$ | 0.0656 | ----- |
| $4_2^+ \rightarrow 2_1^+$ | 0.029 | ----- |
| $4_2^+ \rightarrow 2_2^+$ | 0.2883 | ----- |
| $4_2^+ \rightarrow 2_3^+$ | 0.1322 | ----- |

جدول (5-3) قيم $B(E_2)$ النظرية لنظير ^{170}Hf المستخدمه باستعمال البرنامج IBMT-Code والقيم العملية المقابله لها

| $i \rightarrow f$ | $B(E_2) \downarrow e^2b^2$ | |
|---------------------------|----------------------------|-----------------------|
| | القيم النظرية | القيم العملية [49,42] |
| $2_1^+ \rightarrow 0_1^+$ | 1 | 1.0 |
| $2_1^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.0512 | ----- |
| $2_2^+ \rightarrow 0_1^+$ | 0.0171 | ----- |
| $2_2^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.2722 | ----- |
| $2_3^+ \rightarrow 0_1^+$ | 0.0125 | ----- |
| $2_2^+ \rightarrow 0_3^+$ | 0.0129 | ----- |
| $2_3^+ \rightarrow 0_1^+$ | 0.3782 | ----- |
| $2_3^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.1218 | ----- |
| $2_4^+ \rightarrow 0_1^+$ | 0.0239 | ----- |
| $2_4^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.3395 | ----- |
| $2_4^+ \rightarrow 0_3^+$ | 0.0241 | ----- |
| $2_1^+ \rightarrow 2_2^+$ | 1.4305 | 1.443 |
| $4_1^+ \rightarrow 2_1^+$ | 0.0235 | ----- |
| $4_1^+ \rightarrow 2_2^+$ | 0.055 | ----- |
| $4_1^+ \rightarrow 2_3^+$ | 0.0353 | ----- |
| $4_2^+ \rightarrow 2_1^+$ | 0.4982 | ----- |
| $4_2^+ \rightarrow 2_2^+$ | 0.2408 | ----- |
| $4_2^+ \rightarrow 2_3$ | ----- | ----- |

جدول (6-3) قيم $B(E_2)$ النظرية لنظير ^{172}Hf المستخدمه باستعمال البرنامج IBMT-Code والقيم العملية المقابله لها

| $i \rightarrow f$ | $B(E_2) \downarrow e^2 b^2$ | |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| | القيم النظرية | القيم العملية [49,42] |
| $2_1^+ \rightarrow 0_1^+$ | 0.878 | 0.878 |
| $2_1^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.0339 | ----- |
| $2_2^+ \rightarrow 0_1^+$ | 0.0236 | ----- |
| $2_2^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.6501 | ----- |
| $2_2^+ \rightarrow 0_3^+$ | 0.0579 | ----- |
| $2_3^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.0364 | ----- |
| $2_3^+ \rightarrow 0_3^+$ | 0.0275 | ----- |
| $2_4^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.0316 | ----- |
| $2_4^+ \rightarrow 0_3^+$ | 0.375 | ----- |
| $2_1^+ \rightarrow 2_2^+$ | 0.0353 | ----- |
| $4_1^+ \rightarrow 2_1^+$ | 1.3671 | ----- |
| $4_1^+ \rightarrow 2_2^+$ | 0.0456 | ----- |
| $4_2^+ \rightarrow 2_1^+$ | 0.0312 | ----- |
| $4_2^+ \rightarrow 2_2^+$ | 0.9366 | ----- |
| $4_2^+ \rightarrow 2_3^+$ | 0.0254 | ----- |

جدول (7-3) قيم $B(E_2)$ النظرية لنظير ^{174}Hf المستخرجه باستعمال البرنامج IBMT-Code والقيم العملية المقابله لها

| $i \rightarrow f$ | $B(E_2) \downarrow e^2 b^2$ | |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| | القيم النظرية | القيم العملية [49,42] |
| $2_1^+ \rightarrow 0_1^+$ | 0.9601 | 0.96 |
| $2_1^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.0339 | ----- |
| $2_2^+ \rightarrow 0_1^+$ | 0.0236 | ----- |
| $2_2^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.6501 | ----- |
| $2_2^+ \rightarrow 0_3^+$ | 0.0579 | ----- |
| $2_3^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.0364 | ----- |
| $2_3^+ \rightarrow 0_3^+$ | 0.0275 | ----- |
| $2_4^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.0316 | ----- |
| $2_4^+ \rightarrow 0_3^+$ | 0.375 | ----- |
| $2_1^+ \rightarrow 2_2^+$ | 0.0353 | ----- |
| $4_1^+ \rightarrow 2_1^+$ | 1.3671 | ----- |
| $4_1^+ \rightarrow 2_2^+$ | 0.0456 | ----- |
| $4_2^+ \rightarrow 2_1^+$ | 0.0312 | ----- |
| $4_2^+ \rightarrow 2_2^+$ | 0.9366 | ----- |
| $4_2^+ \rightarrow 2_3^+$ | 0.0254 | ----- |

جدول (8-3) قيم $B(E_2)$ النظرية لنظير ^{176}Hf المستخدمه باستعمال البرنامج IBMT-Code والقيم العملية المقابله لها

| $i \rightarrow f$ | $B(E_2) \downarrow e^2 b^2$ | |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------|
| | القيم النظرية | القيم العملية [49,42] |

| | | |
|---------------------------|--------|-------|
| $2_1^+ \rightarrow 0_1^+$ | 1.054 | 1.054 |
| $2_1^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.0431 | ----- |
| $2_2^+ \rightarrow 0_1^+$ | 0.022 | ----- |
| $2_2^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.5098 | ----- |
| $2_2^+ \rightarrow 0_3^+$ | 0.0405 | ----- |
| $2_3^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.2013 | ----- |
| $2_3^+ \rightarrow 0_3^+$ | 0.0744 | ----- |
| $2_4^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.023 | ----- |
| $2_4^+ \rightarrow 0_3^+$ | 0.3342 | ----- |
| $2_1^+ \rightarrow 2_2^+$ | 0.0358 | ----- |
| $4_1^+ \rightarrow 2_1^+$ | 1.5053 | ----- |
| $4_1^+ \rightarrow 2_2^+$ | 0.0405 | ----- |
| $4_1^+ \rightarrow 2_3^+$ | 0.0285 | ----- |
| $4_2^+ \rightarrow 2_1^+$ | 0.034 | ----- |
| $4_2^+ \rightarrow 2_2^+$ | 0.7952 | ----- |
| $4_2^+ \rightarrow 2_3^+$ | 0.122 | ----- |

جدول (9-3) قيم $B(E_2)$ النظرية لنظير ^{178}Hf المستخدمه باستعمال البرنامج IBMT-Code والقيم العملية المقابله له

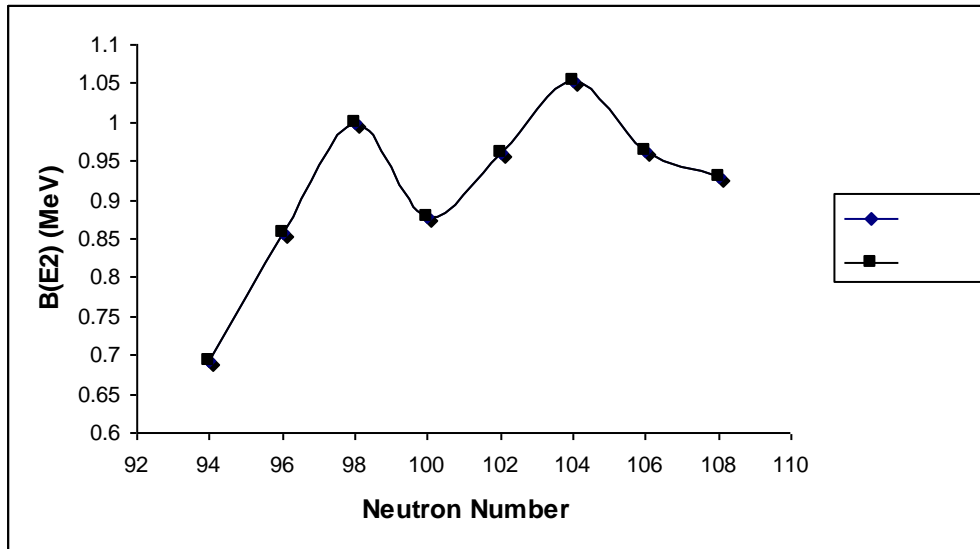
| $i \rightarrow f$ | $B(E_2) \downarrow e^2 b^2$ | |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| | القيم النظرية | القيم العملية [49,42] |
| $2_1^+ \rightarrow 0_1^+$ | 0.9639 | 0.964 |
| $2_1^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.0383 | ----- |
| $2_2^+ \rightarrow 0_1^+$ | 0.0135 | ----- |
| $2_2^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.2547 | ----- |
| $2_3^+ \rightarrow 0_1^+$ | 0.0124 | ----- |
| $2_3^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.4024 | ----- |
| $2_3^+ \rightarrow 0_3^+$ | 0.0871 | ----- |
| $2_4^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.0185 | ----- |
| $2_4^+ \rightarrow 0_3^+$ | 0.2749 | ----- |
| $2_1^+ \rightarrow 2_2^+$ | 0.0147 | ----- |
| $4_1^+ \rightarrow 2_1^+$ | 1.3736 | ----- |
| $4_1^+ \rightarrow 2_2^+$ | 0.0164 | ----- |
| $4_1^+ \rightarrow 2_3^+$ | 0.0441 | ----- |
| $4_2^+ \rightarrow 2_1^+$ | 0.0292 | ----- |
| $4_2^+ \rightarrow 2_2^+$ | 0.5086 | ----- |
| $4_2^+ \rightarrow 2_3^+$ | 0.2341 | ----- |

جدول (10-3) قيم $B(E_2)$ النظرية لنظير ^{180}Hf المستخدمه باستعمال البرنامج IBMT-Code والقيم العملية المقابله لها

| $i \rightarrow f$ | $B(E_2) \downarrow e^2 b^2$ | |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| | القيم النظرية | القيم العملية [49,42] |
| $2_1^+ \rightarrow 0_1^+$ | 0.93 | 0.93 |
| $2_1^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.0525 | ----- |

| | | |
|---------------------------|--------|-------|
| $2_2^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.1847 | ----- |
| $2_3^+ \rightarrow 0_1^+$ | 0.0228 | ----- |
| $2_3^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.3967 | ----- |
| $2_3^+ \rightarrow 0_3^+$ | 0.1459 | ----- |
| $2_4^+ \rightarrow 0_2^+$ | 0.0128 | ----- |
| $2_4^+ \rightarrow 0_3^+$ | 0.3062 | ----- |
| $2_1^+ \rightarrow 2_2^+$ | 0.021 | ----- |
| $4_1^+ \rightarrow 2_1^+$ | 1.3379 | ----- |
| $4_1^+ \rightarrow 2_2^+$ | 0.0149 | ----- |
| $4_1^+ \rightarrow 2_3^+$ | 0.0735 | ----- |
| $4_2^+ \rightarrow 2_1^+$ | 0.0236 | ----- |
| $4_2^+ \rightarrow 2_2^+$ | 0.3986 | ----- |
| $4_2^+ \rightarrow 2_3^+$ | 0.1863 | ----- |

وهناك مقارنة بين القيم النظرية والعملية لاحتمالية الانتقال الكهربائي موضحة في الشكل (3-13)



شكل (3-13) مقارنة بين القيم العملية [49,42] والنظرية لاحتمالية الانتقال الكهربائي B(E2)

إما قيم نسب الانتقالات الكهربائية رباعية القطب $B(E_2) (R'', R', R)$ لنظائر $^{166-180}\text{Hf}$ تعرف على أنها النسبة بين احتمالية انتقالين كهربائيين رباعي قطب وان الهدف من ايجاد هذه النسبة هو دراسة شكل النواة والتناظر الديناميكي الذي تنتمي اليه نظائر Hf [35] في هذا البحث والشكل (3-14) يوضح قيم نسب الانتقالات الكهربائية رباعية القطب $B(E_2) (R, R')$ لنظائر $^{166-180}\text{Hf}$ حيث أن:

$$R = \frac{B(E_2, 4_1^+ \rightarrow 2_1^+)}{B(E_2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)} \dots \dots \dots (6-3)$$

$$R' = \frac{B(E_2, 2_2 \rightarrow 2_1^+)}{b(E_2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)} \dots\dots\dots(7-3)$$

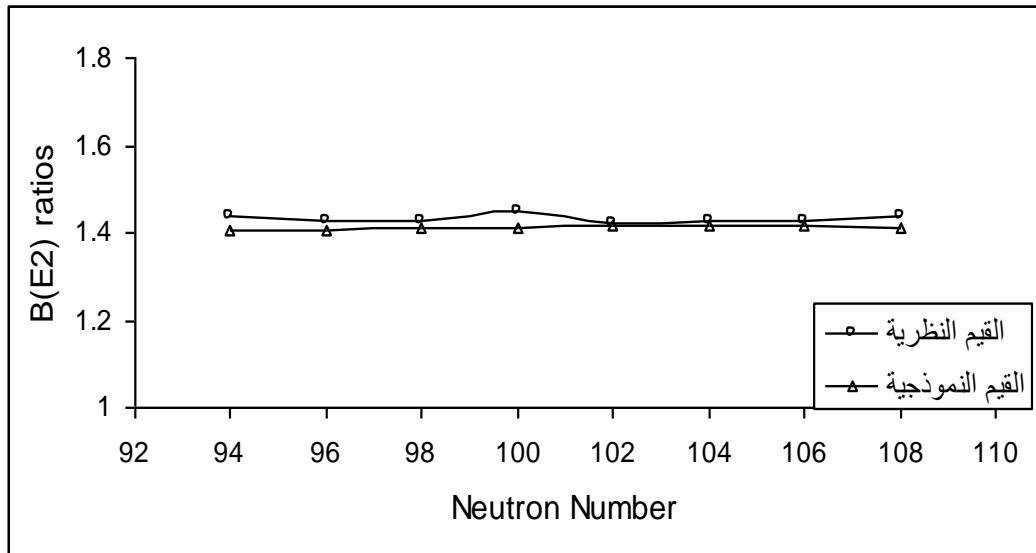
$$R'' = \frac{B(E_2, 0_2^+ \rightarrow 2_1^+)}{B(E_2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)} \dots\dots\dots(8-3)$$

ولأنواع التحديدات الثلاثة كالآتي :

$$R = R' = R'' = 2[(N-1)/N] = 2 \dots\dots\dots SU(5) \dots\dots\dots(9-3)$$

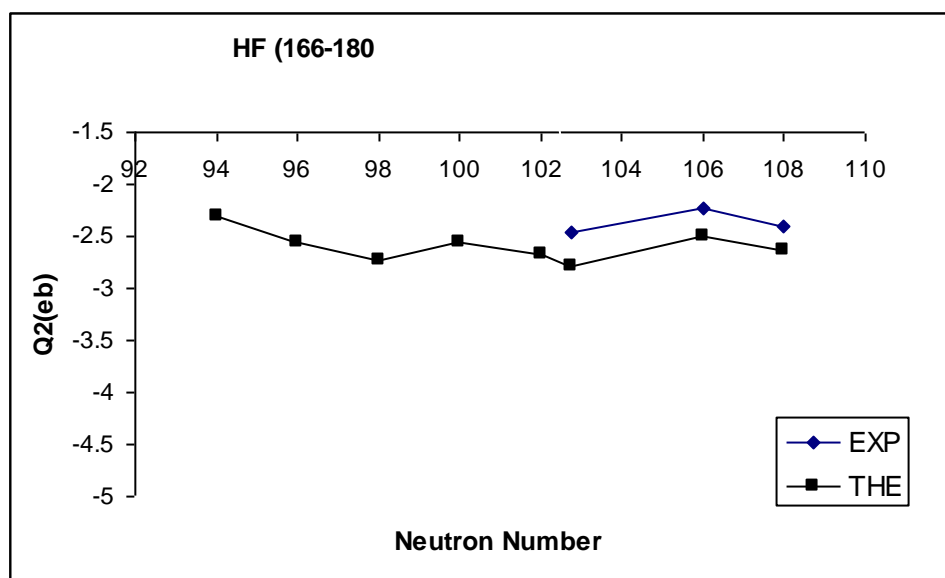
$$R = \frac{10(N-1)(2N+5)}{7N(2N+3)} \approx 1.4, R = R' = 0 \dots\dots\dots SU(3) \dots\dots\dots(10-3)$$

$$R = R' = \frac{10(N-1)(N+5)}{7N(N+4)} \approx 1.4, R'' = 0 \dots\dots\dots O(6) \dots\dots\dots(11-3)$$



شكل (٣-١٤) يبين مقارنة بين نسب الانتقالات الكهرومغناطيسية المختزلة $B(E2)$ النظرية لنظائر $^{166-180}\text{Hf}$ والقيم النموذجية للتحديد $SU(3)$ [35].

أما عزم رباعي القطب الكهربائي (Q) فهو خاصية أخرى من الخواص التي تمتلكها النوى , ويعرف على انه الانحراف (Deviation) عن التوزيع الكروي المتناظر للشحنة الكهربائية داخل النواة ويمكن أن يعطي فكرة عن شكل النواة هل ان شكلها كروي أم أن لها أشكال أخرى والشكل (3-14) يوضح عزم رباعي القطب الكهربائي للمستوي الأول 2_1^+ للقيم النظرية الحالية مقارنة مع القيم العملية [58,57].



شكل (٣-١٥) قيم عزم رباعي القطب الكهربائي $Q(eb)$ العملية [58,57] والنظرية لنظائر $^{166-180}\text{Hf}$

5-3 طاقة جهد السطح: Potential Energy Surface

إن الوصف الهندسي للحركة الجماعية للنواة يساعد في وصف المستويات المثيجة للنوى المشوهة تعزيراً لسلوكها بدراسة عزم القصور الذاتي للحركة الجماعية للبوزونات . أن طاقة جهد السطح قد تم حسابها بعد تحديد معاملات (parameters) مؤثر دالة هاملتون لكل نظير من نظائر ^{166}Hf ويبين الجدول (٣-١١) المعاملات المستعملة في برنامج حساب طاقة جهد السطح $V(\beta, \gamma)$.

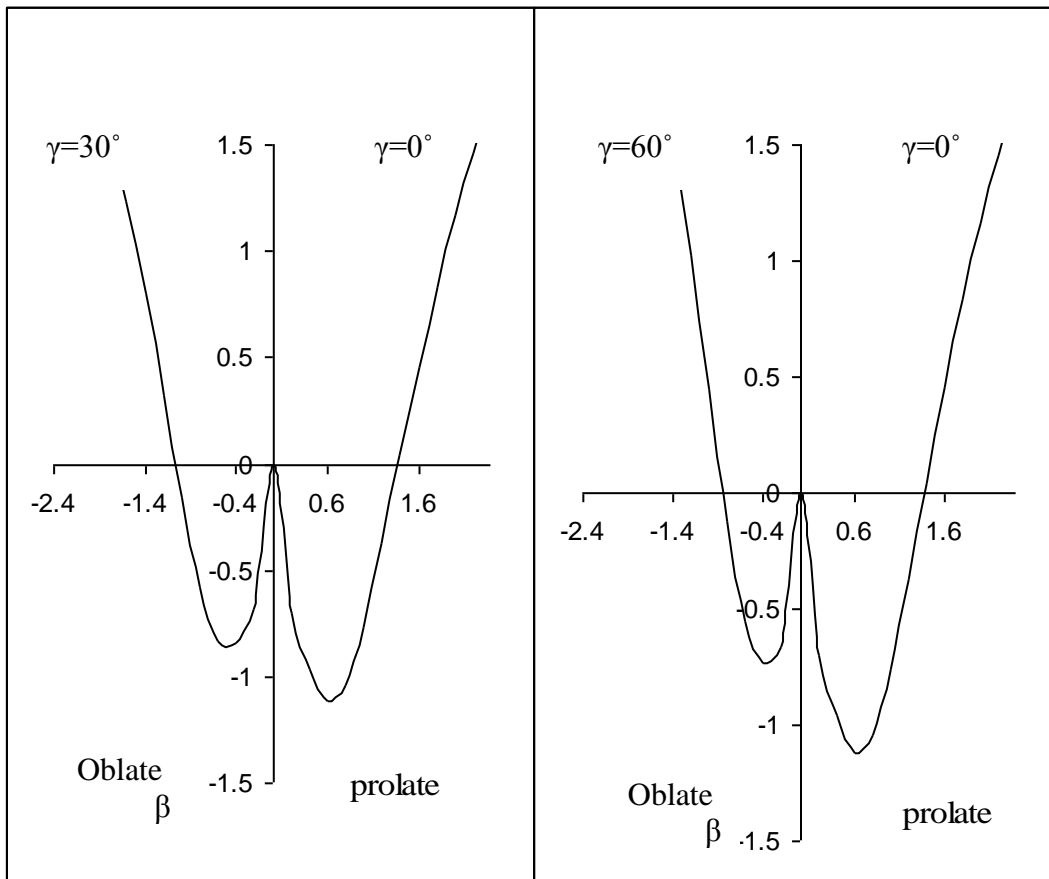
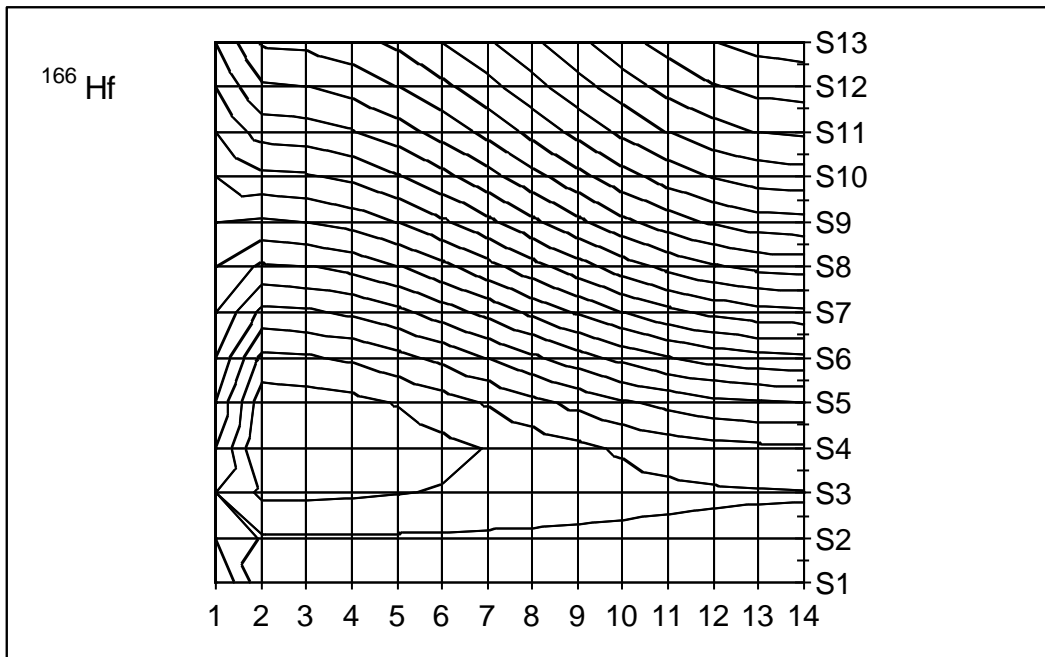
جدول (١١-٣) المعاملات المستعملة في البرنامج (IBM-1) لإيجاد جهد السطح لنظائر
 $^{166-180}\text{Hf}$

| Isotopes | N | ϵ_s | ϵ_d | A_1 | A_2 | A_3 | A_4 |
|-------------------|----|--------------|--------------|-------|--------|--------|-------|
| ^{166}Hf | 11 | -0.05 | 0.236 | 0.024 | -0.022 | -0.046 | 0.00 |
| ^{168}Hf | 12 | -0.054 | 0.254 | 0.039 | -0.027 | -0.057 | 0.00 |
| ^{170}Hf | 13 | -0.049 | 0.225 | 0.031 | -0.027 | -0.044 | 0.00 |
| ^{172}Hf | 14 | -0.060 | 0.230 | 0.032 | -0.031 | -0.050 | 0.00 |
| ^{174}Hf | 15 | -0.053 | 0.230 | 0.027 | -0.030 | -0.045 | 0.00 |
| ^{176}Hf | 16 | -0.067 | 0.291 | 0.046 | -0.038 | -0.056 | 0.00 |
| ^{178}Hf | 15 | -0.061 | 0.266 | 0.041 | -0.035 | -0.055 | 0.00 |
| ^{180}Hf | 14 | -0.068 | 0.214 | 0.057 | -0.038 | -0.060 | 0.00 |

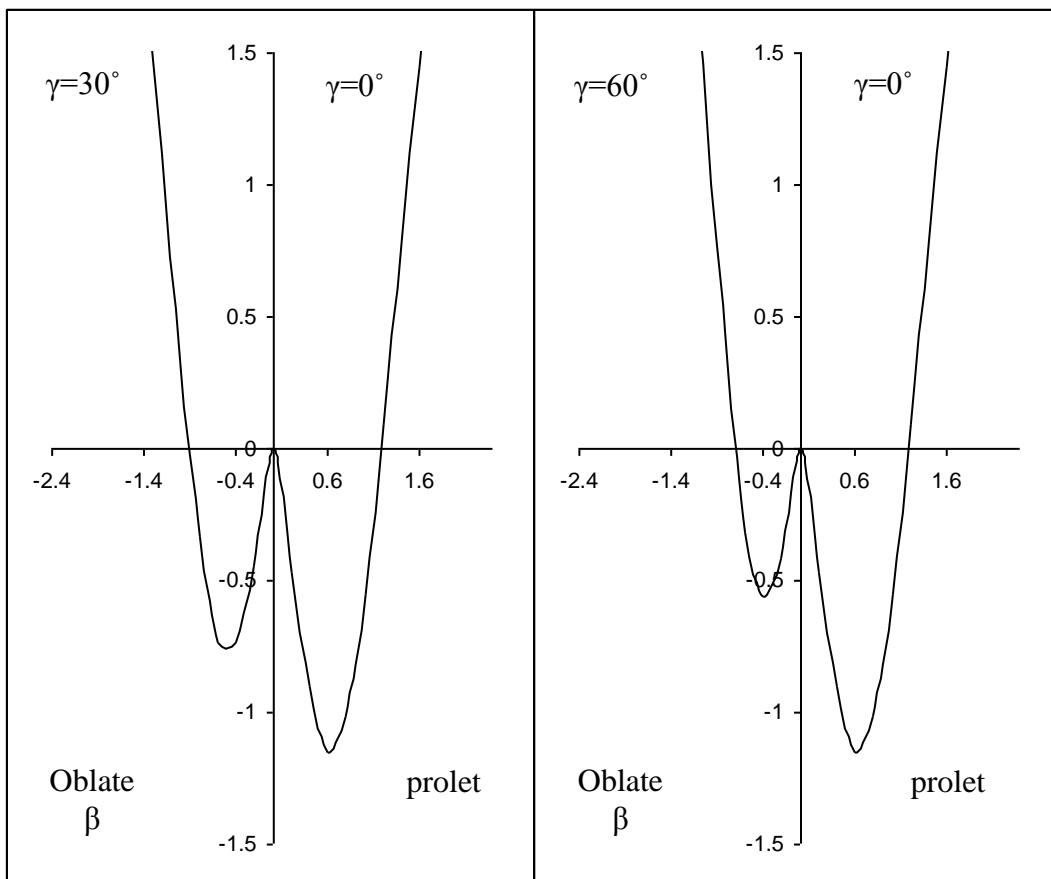
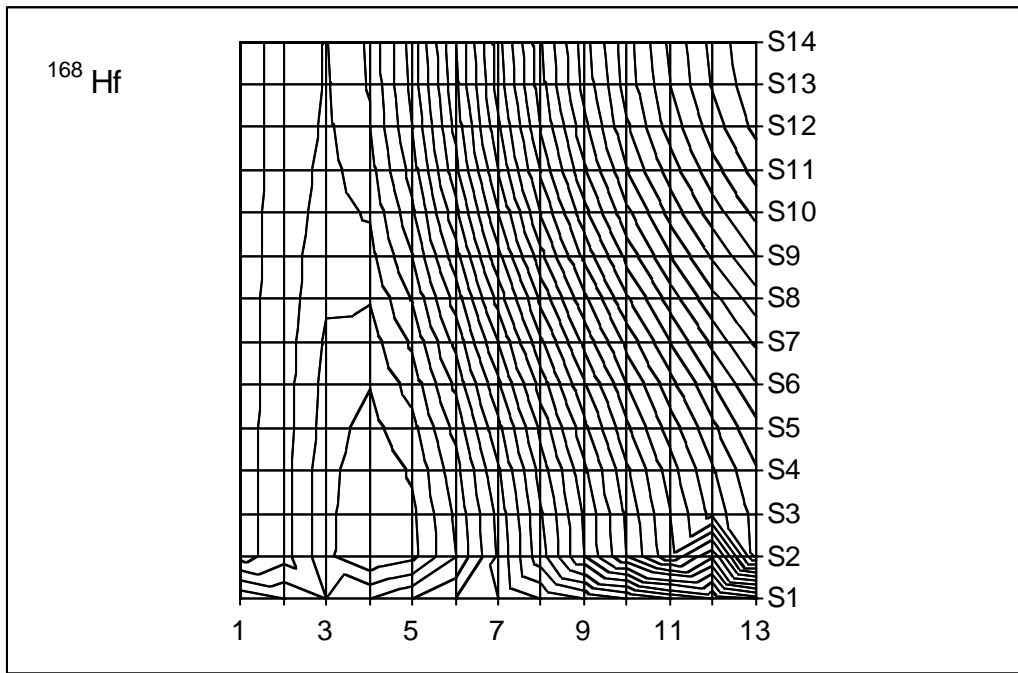
جهد السطح
 الشكل
 للنواة وهي
 دالة
 [59]
 المتغيرين)
 تم حساب
 السطح
 المعاملات
 الجدول

أن طاقة
 تعطي
 النهائي
 تتوافق مع
 هاملتون
 بدلالة
 (β, γ) وقد
 طاقة جهد
 باستعمال
 المبينة في

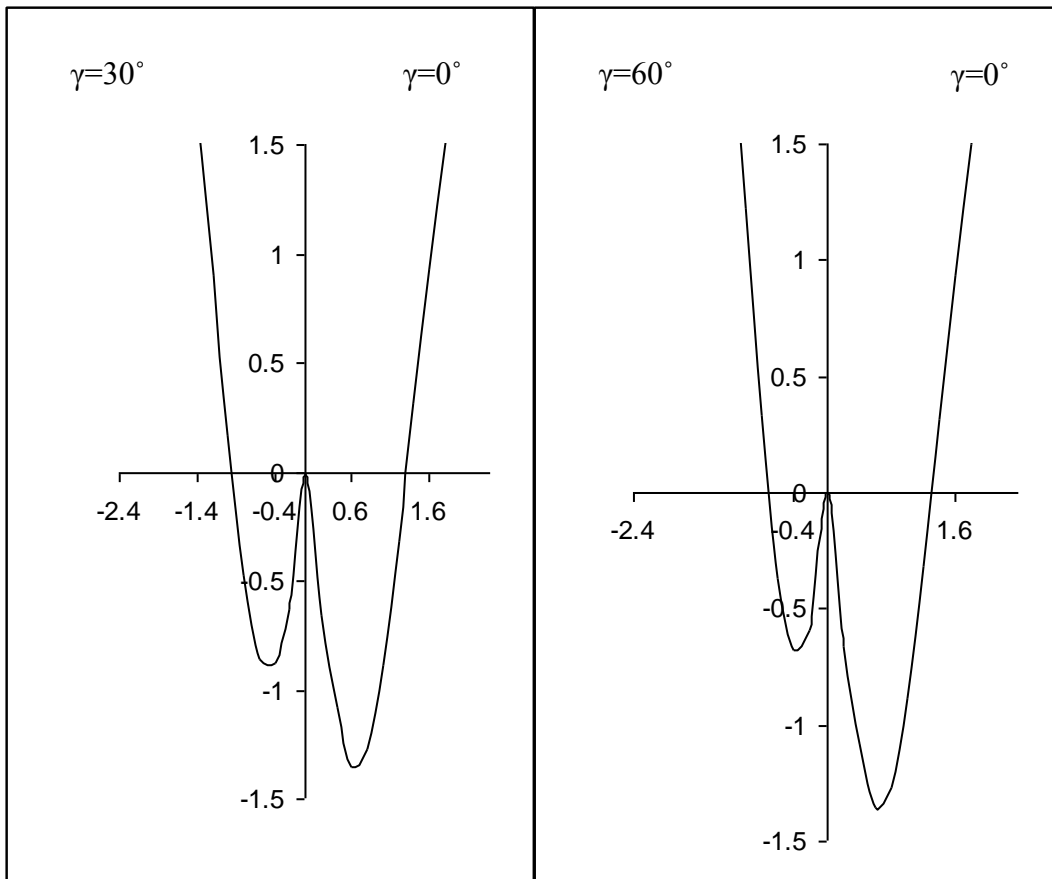
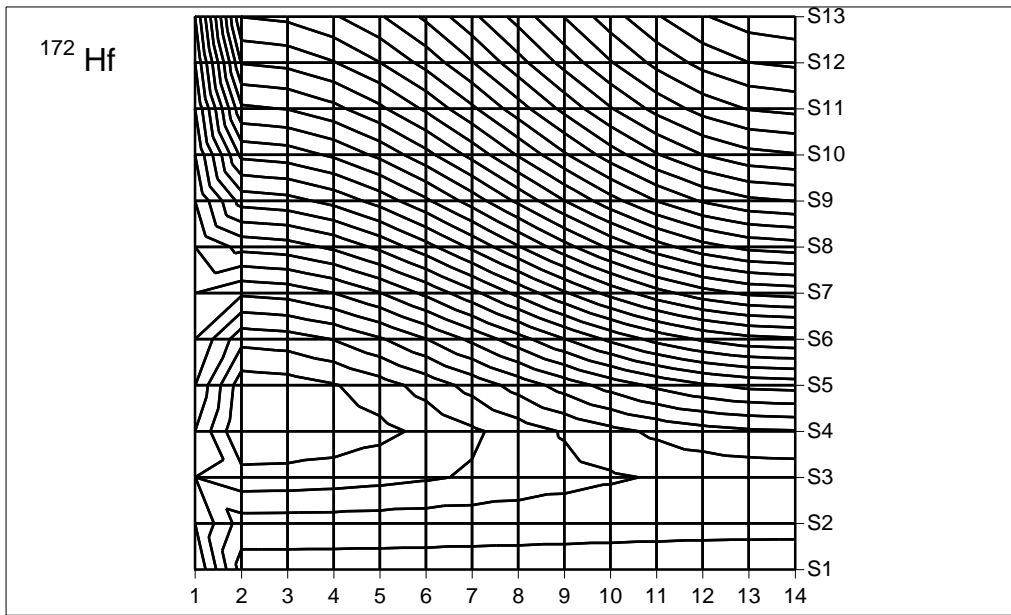
(١١-٣) باستعمال البرنامج IBM-1 وان الإشكال من (3-16) إلى (3-23) توضح الخطوط
 الكنتورية Counter plots لكل نظير من نظائر $^{166-180}\text{Hf}$ الزوجية - الزوجية مع تناظراتها
 المحورية لكل من $\gamma=0^0$ و $\gamma=30^0$ و $\gamma=60^0$ لطاقة جهد السطح.



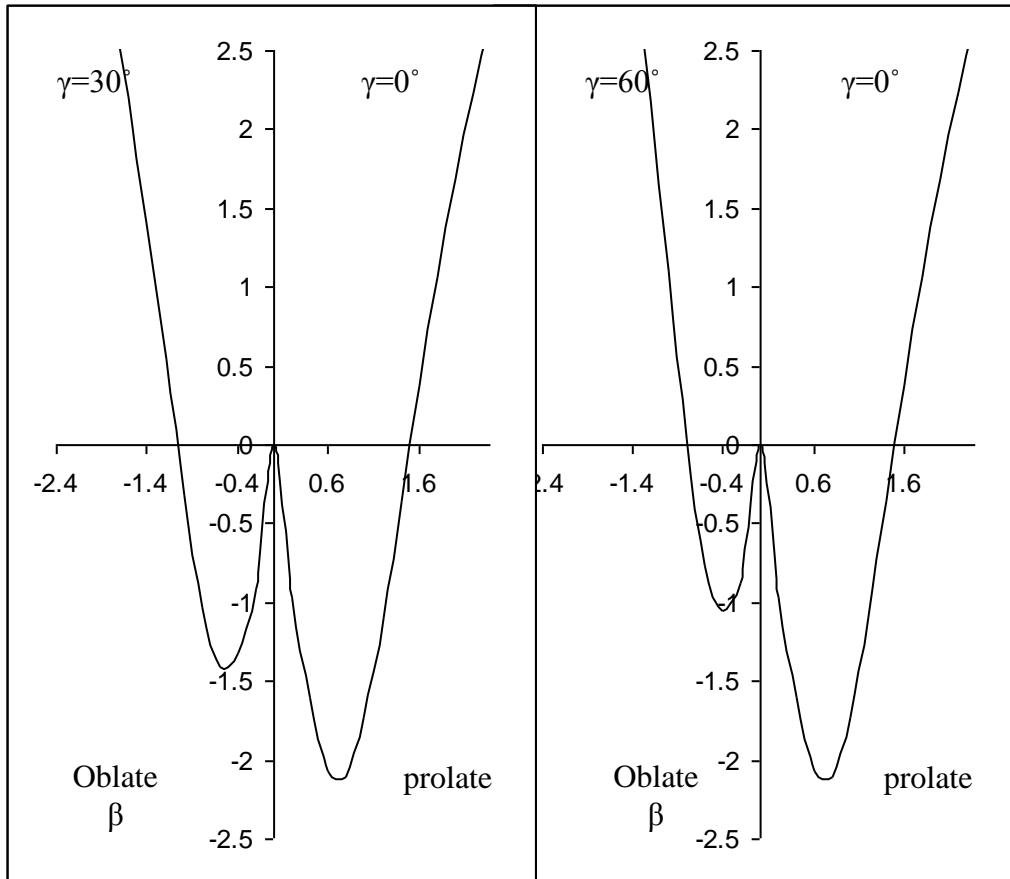
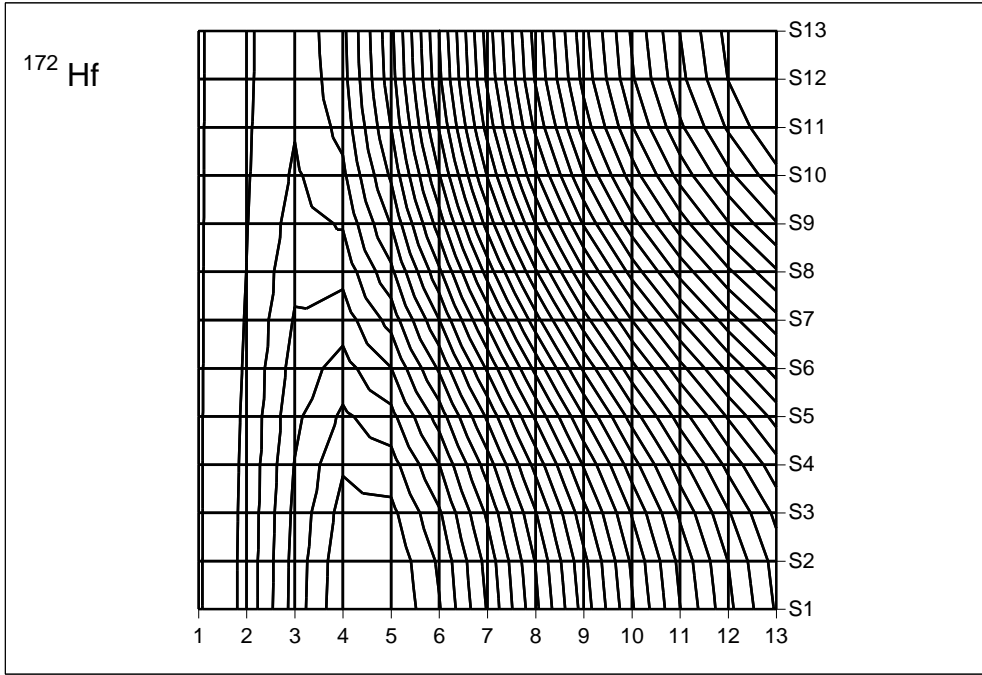
الشكل (١٦-٣) الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري للنظير ^{166}Hf



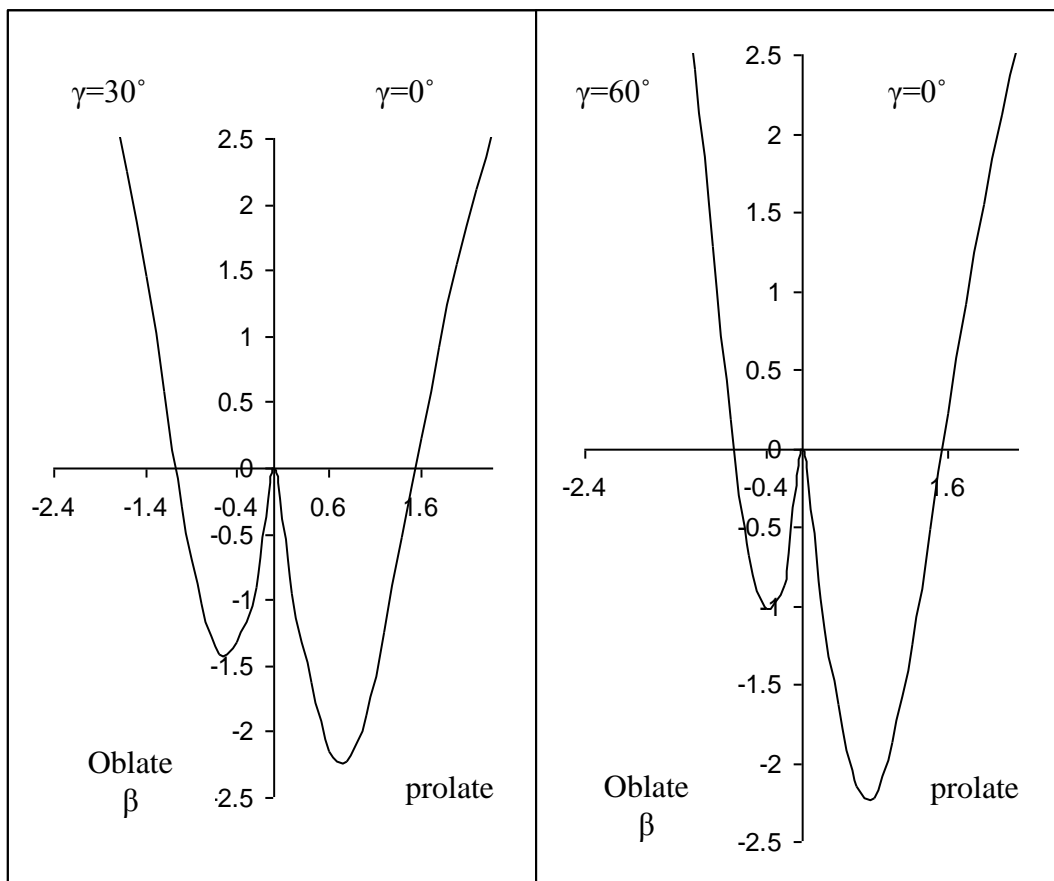
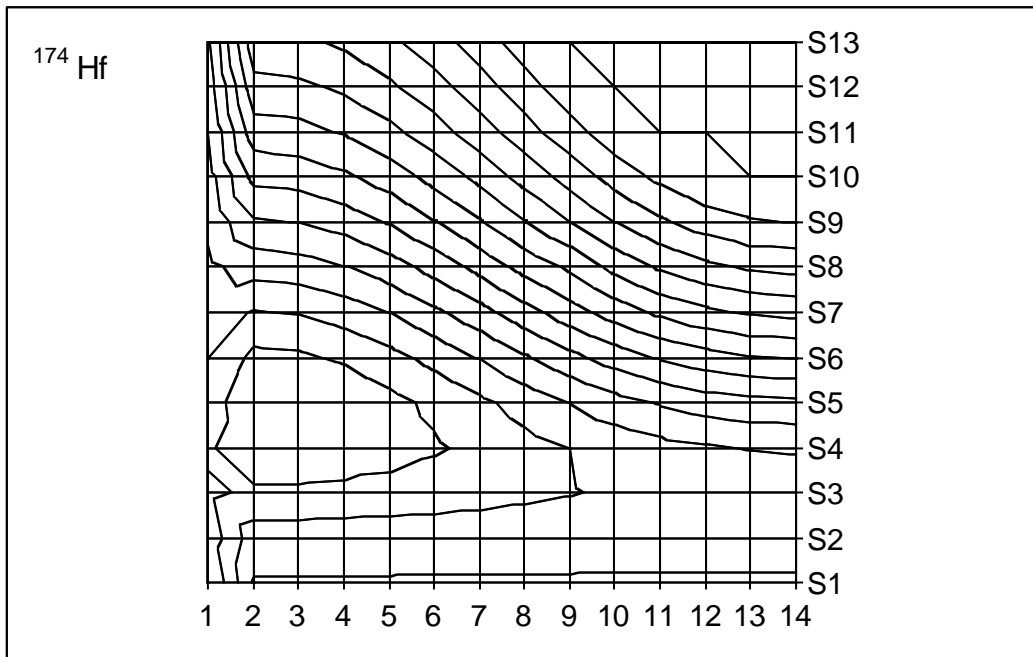
الشكل (٣-١٧) الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري للنظير ^{168}Hf



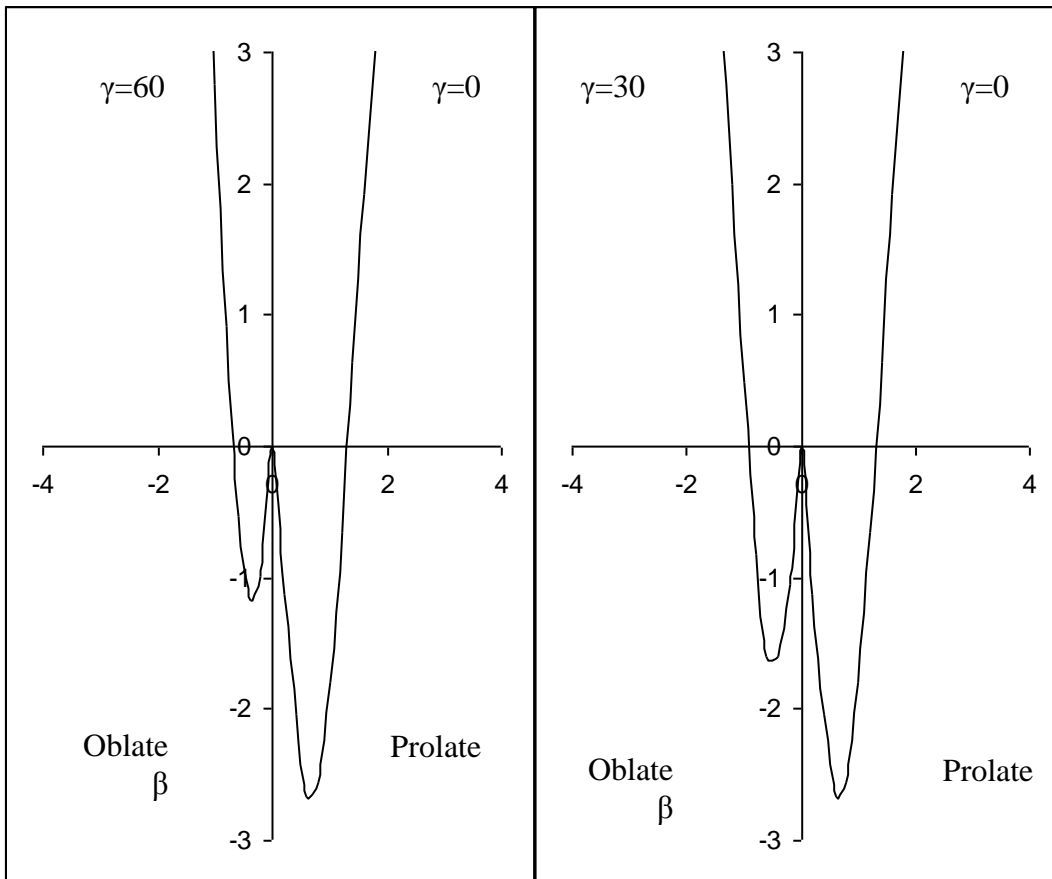
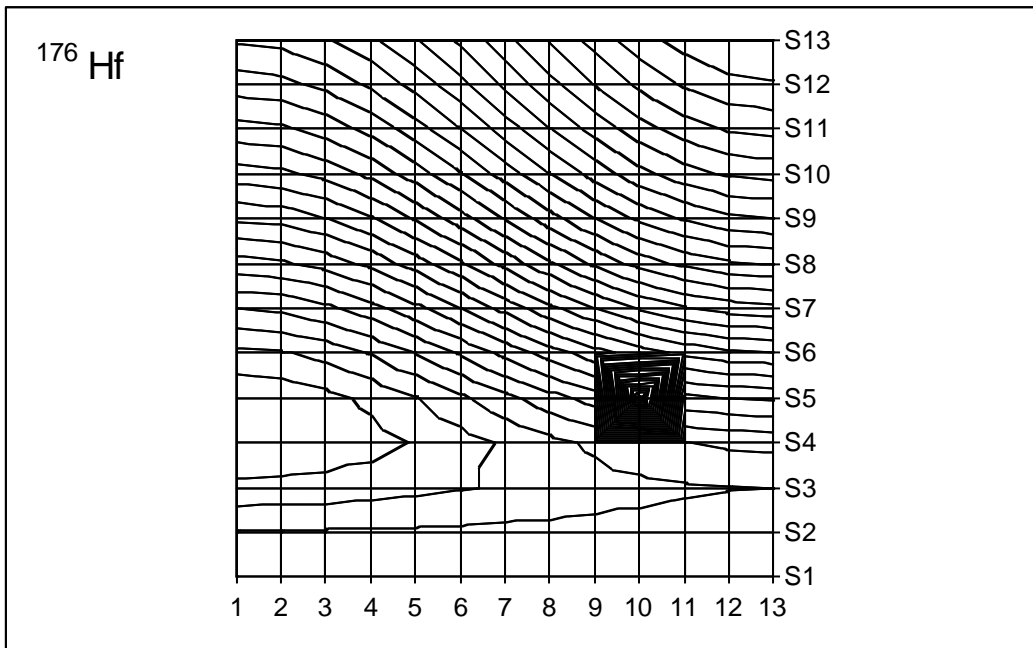
الشكل (٣-١٨) الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري للنظير ^{170}Hf



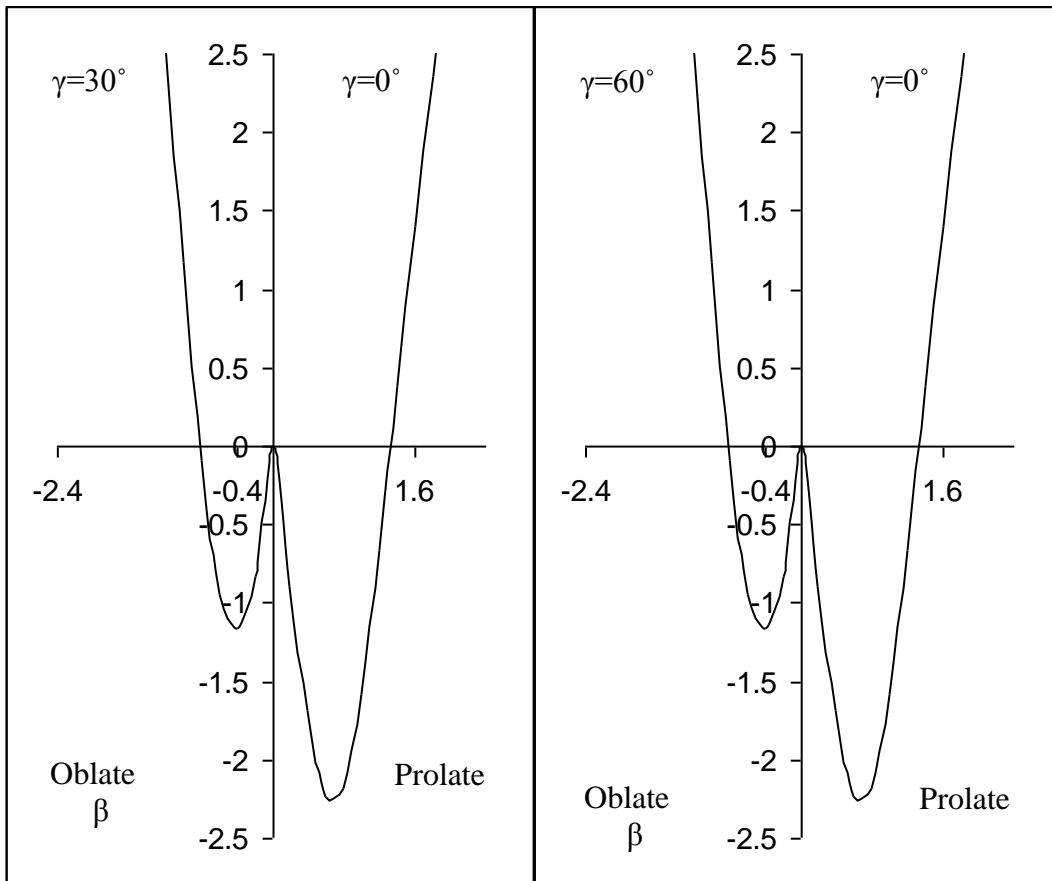
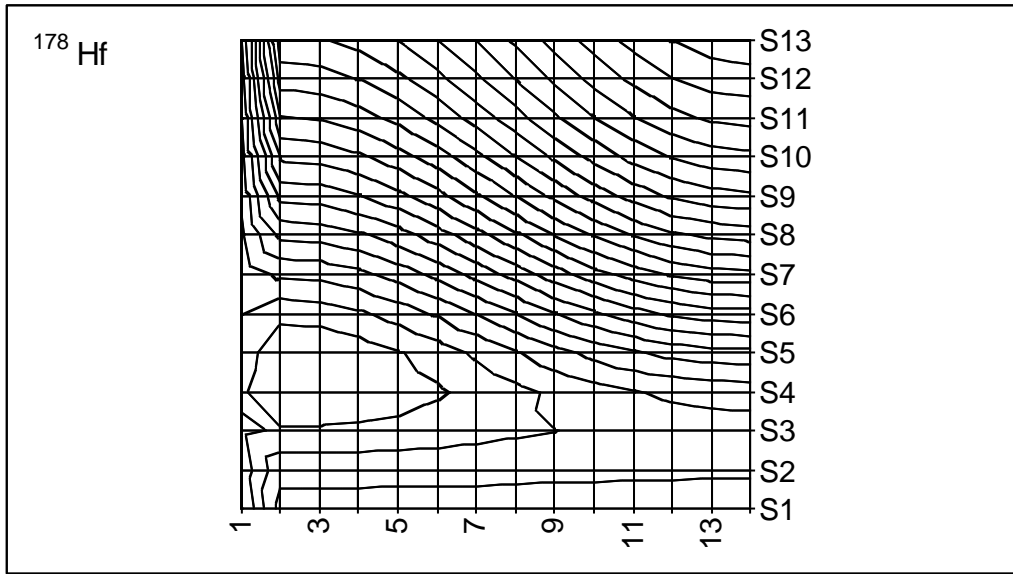
الشكل (٣-١٩) الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري للنظير ^{172}Hf



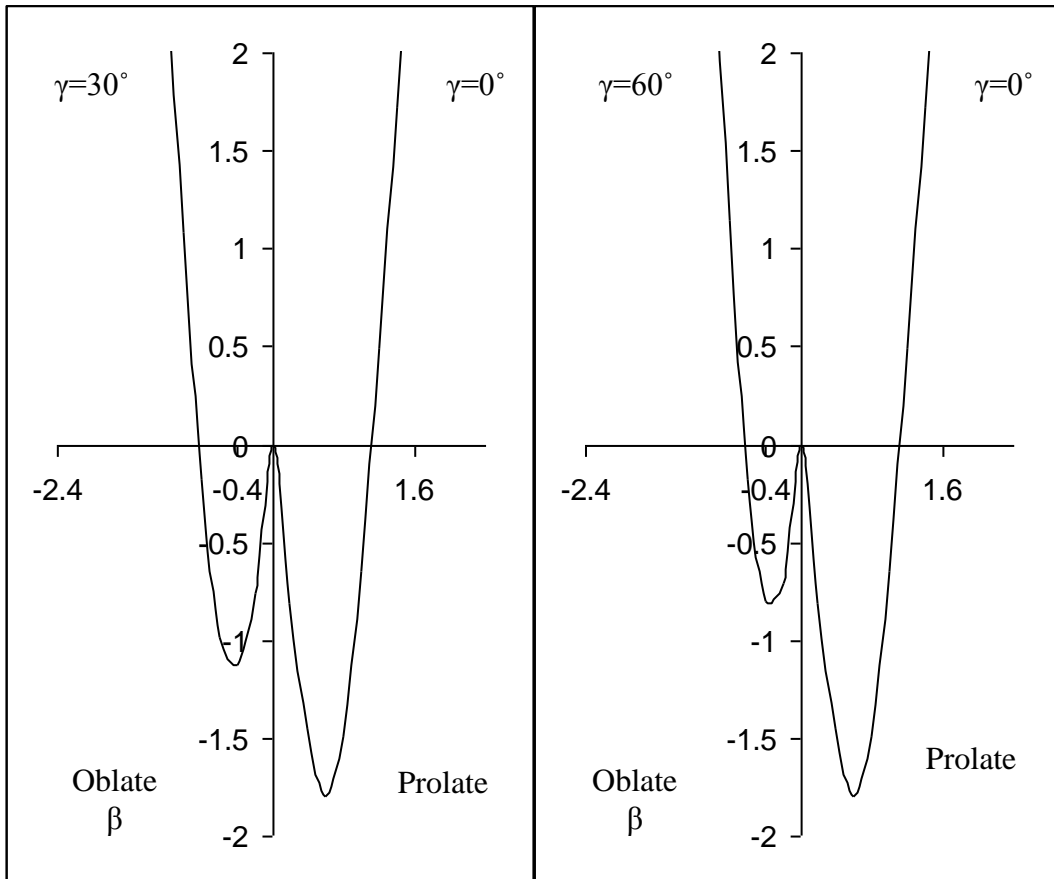
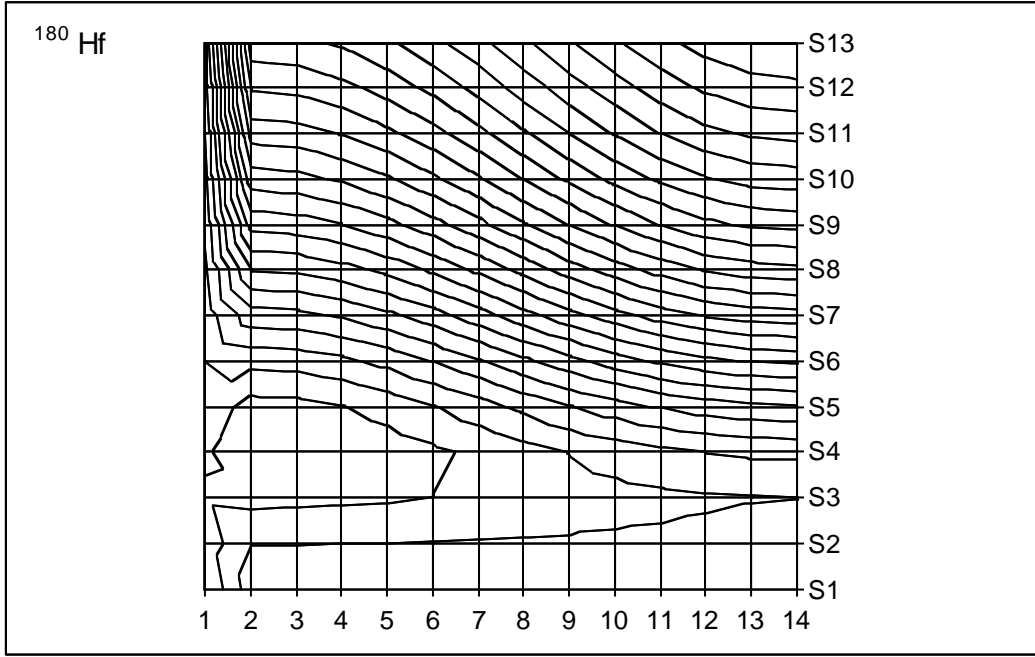
الشكل (٣-٢٠) الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري للنظير ^{174}Hf



الشكل (٣-٢١) الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري للنظير ^{176}Hf



الشكل (٣-٢٢) الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري للنظير ^{178}Hf



الشكل (٣-٢٣) الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري للنظير ^{180}Hf

٥-٣ دراسة الحركة الدورانية في النواة وعزم القصور الذاتي

يمكن ايجاد الحركة الدورانية وذلك باستعمال المعادلة (٤٠-٢) بعد ايجاد مستويات الطاقة باستعمال البرنامج (IBM-1). اما عزم القصور الذاتي يمكن ايجاده باستعمال المعادلة (٤١-٢) بعد معرفة قيمة الزخم الزاوي L عند كل مستوي طاقة . وهناك مقارنة بين القيم العملية [٤٩] والنظرية لمربع الطاقة الدورانية وعزم القصور الذاتي وحسب الجداول الموضحة.

جدول (١٢-٣) قيم الانتقالات النظرية والعملية [٤٩] وعزم القصور الذاتي ومربع الطاقة الدورانية لنظير ^{166}Hf .

| القيم النظرية | | | القيم العملية | | |
|---------------------------------|---|-------------------------------------|---------------------------------|---|-------------------------------------|
| i→f | $\hbar^2\omega^2$ (Mev) ² | $29/\hbar^2$ (Mev) ⁻¹ | i→f | $\hbar^2\omega^2$ (Mev) ² | $29/\hbar^2$ (Mev) ⁻¹ |
| 2 ⁺ →0 ⁺ | 0.0084 | 37.81 | 2 ⁺ →0 ⁺ | 0.0084 | 37.8 |
| 4 ⁺ →2 ⁺ | 0.0258 | 44.87 | 4 ⁺ →2 ⁺ | 0.0255 | 45.0 |
| 6 ⁺ →4 ⁺ | 0.0467 | 51.53 | 6 ⁺ →4 ⁺ | 0.0517 | 48.93 |
| 8 ⁺ →6 ⁺ | 0.0658 | 58.88 | 8 ⁺ →6 ⁺ | 0.0860 | 51.28 |
| 10 ⁺ →8 ⁺ | 0.0802 | 67.38 | 10 ⁺ →8 ⁺ | 0.1310 | 52.70 |

جدول (١٣-٣) قيم الانتقالات النظرية والعملية [٤٩] وعزم القصور الذاتي ومربع الطاقة الدورانية لنظير ^{168}Hf .

| القيم النظرية | | | القيم العملية | | |
|---------------------------------|---|-------------------------------------|---------------------------------|---|-------------------------------------|
| i→f | $\hbar^2\omega^2$ (Mev) ² | $29/\hbar^2$ (Mev) ⁻¹ | i→f | $\hbar^2\omega^2$ (Mev) ² | $29/\hbar^2$ (Mev) ⁻¹ |
| 2 ⁺ →0 ⁺ | 0.0051 | 48.43 | 2 ⁺ →0 ⁺ | 0.0051 | 48.5 |
| 4 ⁺ →2 ⁺ | 0.0183 | 53.3 | 4 ⁺ →2 ⁺ | 0.0181 | 52.54 |
| 6 ⁺ →4 ⁺ | 0.0396 | 55.95 | 6 ⁺ →4 ⁺ | 0.0353 | 59.28 |
| 8 ⁺ →6 ⁺ | 0.0536 | 57.48 | 8 ⁺ →6 ⁺ | 0.0528 | 65.7 |
| 10 ⁺ →8 ⁺ | 0.107 | 58.25 | 10 ⁺ →8 ⁺ | 0.0687 | 72.8 |

جدول (٣-١٤) قيم الانتقالات النظرية والعملية [٤٩] وعزم القصور الذاتي ومربع الطاقة الدورانية لنظير ^{1٧٠}Hf.

| القيم النظرية | | | القيم العملية | | |
|---------------------------------|---|-------------------------------------|---------------------------------|---|-------------------------------------|
| i→f | $\hbar^2\omega^2$ (Mev) ² | $29/\hbar^2$ (Mev) ⁻¹ | i→f | $\hbar^2\omega^2$ (Mev) ² | $29/\hbar^2$ (Mev) ⁻¹ |
| 2 ⁺ →0 ⁺ | 0.0034 | 59.79 | 2 ⁺ →0 ⁺ | 0.00335 | 59.82 |
| 4 ⁺ →2 ⁺ | 0.013 | 63.59 | 4 ⁺ →2 ⁺ | 0.0129 | 63.38 |
| 6 ⁺ →4 ⁺ | 0.028 | 65.87 | 6 ⁺ →4 ⁺ | 0.0263 | 68.66 |
| 8 ⁺ →6 ⁺ | 0.048 | 67.54 | 8 ⁺ →6 ⁺ | 0.041 | 74.96 |
| 10 ⁺ →8 ⁺ | 0.072 | 67.96 | 10 ⁺ →8 ⁺ | 0.0538 | 82.25 |

جدول (3-15) قيم الانتقالات النظرية والعملية [٤٩] وعزم القصور الذاتي ومربع الطاقة الدورانية لنظير ^{1٧٢}Hf.

| القيم النظرية | القيم العملية |
|---------------|---------------|
|---------------|---------------|

| i→f | $\hbar^2\omega^2$ (Mev) ² | $29/\hbar^2$ (Mev) ⁻¹ | i→f | $\hbar^2\omega^2$ (Mev) ² | $29/\hbar^2$ (Mev) ⁻¹ |
|---------------------------------|---|-------------------------------------|---------------------------------|---|-------------------------------------|
| 2 ⁺ →0 ⁺ | 0.00302 | 63.07 | 2 ⁺ →0 ⁺ | 0.00303 | 62.96 |
| 4 ⁺ →2 ⁺ | 0.0117 | 66.67 | 4 ⁺ →2 ⁺ | 0.029 | 65.41 |
| 6 ⁺ →4 ⁺ | 0.0259 | 69.226 | 6 ⁺ →4 ⁺ | 0.026 | 94.10 |
| 8 ⁺ →6 ⁺ | 0.0453 | 70.96 | 8 ⁺ →6 ⁺ | ----- | ----- |
| 10 ⁺ →8 ⁺ | 0.0703 | 71.89 | 10 ⁺ →8 ⁺ | ----- | ----- |

جدول (3-16) قيم الانتقالات النظرية والعملية [٤٩] وعزم القصور الذاتي ومربع الطاقة الدورانية لنظير ¹⁷⁴Hf .

| القيم النظرية | | | القيم العملية | | |
|---------------------------------|---|-------------------------------------|---------------------------------|---|-------------------------------------|
| i→f | $\hbar^2\omega^2$ (Mev) ² | $29/\hbar^2$ (Mev) ⁻¹ | i→f | $\hbar^2\omega^2$ (Mev) ² | $29/\hbar^2$ (Mev) ⁻¹ |
| 2 ⁺ →0 ⁺ | 0.0034 | 58.99 | 2 ⁺ →0 ⁺ | 0.00277 | 65.78 |
| 4 ⁺ →2 ⁺ | 0.0127 | 62.88 | 4 ⁺ →2 ⁺ | 0.0113 | 67.83 |
| 6 ⁺ →4 ⁺ | 0.0283 | 66.17 | 6 ⁺ →4 ⁺ | 0.0247 | 70.79 |
| 8 ⁺ →6 ⁺ | 0.0374 | 68.97 | 8 ⁺ →6 ⁺ | 0.0408 | 74.74 |
| 10 ⁺ →8 ⁺ | 0.0724 | 70.90 | 10 ⁺ →8 ⁺ | 0.057 | 79.78 |

جدول (3-17) قيم الانتقالات النظرية والعملية [٤٩] وعزم القصور الذاتي ومربع الطاقة الدورانية لنظير ¹⁷⁶Hf .

| القيم النظرية | القيم العملية |
|---------------|---------------|
|---------------|---------------|

| i→f | $\hbar^2\omega^2$ (Mev) ² | $29/\hbar^2$ (Mev) ⁻¹ | i→f | $\hbar^2\omega^2$ (Mev) ² | $29/\hbar^2$ (Mev) ⁻¹ |
|---------------------------------|---|-------------------------------------|---------------------------------|---|-------------------------------------|
| 2 ⁺ →0 ⁺ | 0.0026 | 67.58 | 2 ⁺ →0 ⁺ | 0.0026 | 67.87 |
| 4 ⁺ →2 ⁺ | 0.0104 | 70.79 | 4 ⁺ →2 ⁺ | 0.0108 | 67.08 |
| 6 ⁺ →4 ⁺ | 0.0232 | 73.13 | 6 ⁺ →4 ⁺ | 0.024 | 71.71 |
| 8 ⁺ →6 ⁺ | 0.032 | 74.63 | 8 ⁺ →6 ⁺ | 0.0407 | 74.81 |
| 10 ⁺ →8 ⁺ | 0.064 | 75.39 | 10 ⁺ →8 ⁺ | ----- | ----- |

جدول (3-18) قيم الانتقالات النظرية والعملية [٤٩] وعزم القصور الذاتي ومربع الطاقة الدورانية لنظير ^{1٧٨}Hf.

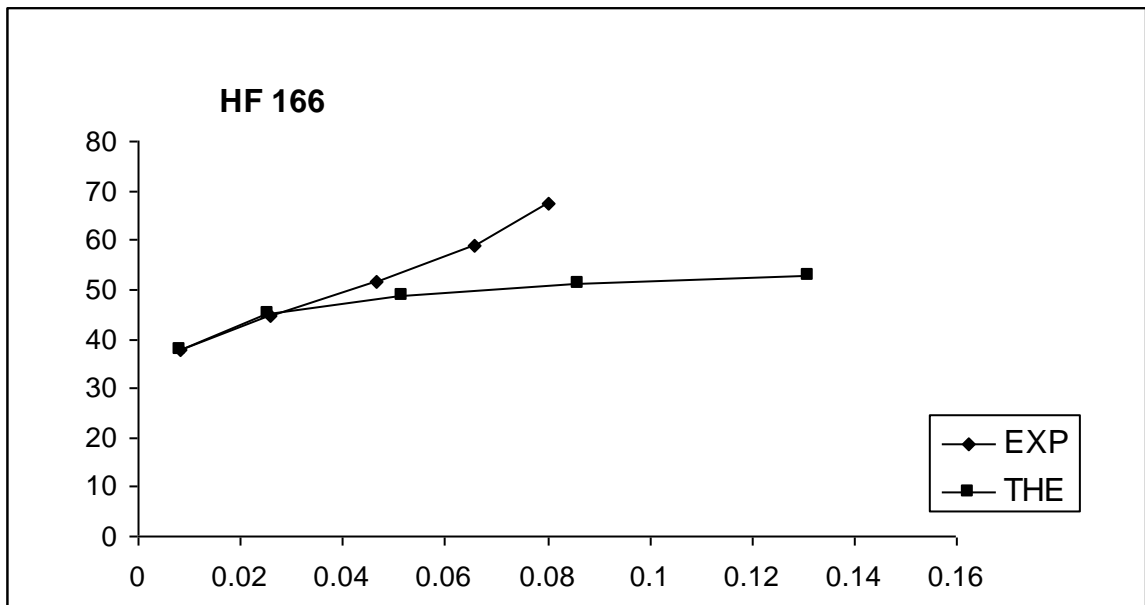
| القيم النظرية | | | القيم العملية | | |
|---------------------------------|---|-------------------------------------|---------------------------------|---|-------------------------------------|
| i→f | $\hbar^2\omega^2$ (Mev) ² | $29/\hbar^2$ (Mev) ⁻¹ | i→f | $\hbar^2\omega^2$ (Mev) ² | $29/\hbar^2$ (Mev) ⁻¹ |
| 2 ⁺ →0 ⁺ | 0.0029 | 64.24 | 2 ⁺ →0 ⁺ | 0.00289 | 64.44 |
| 4 ⁺ →2 ⁺ | 0.0115 | 67.26 | 4 ⁺ →2 ⁺ | 0.0121 | 65.6 |
| 6 ⁺ →4 ⁺ | 0.0256 | 69.53 | 6 ⁺ →4 ⁺ | 0.0272 | 67.57 |
| 8 ⁺ →6 ⁺ | 0.035 | 71.1 | 8 ⁺ →6 ⁺ | 0.0461 | 70.36 |
| 10 ⁺ →8 ⁺ | 0.07 | 71.97 | 10 ⁺ →8 ⁺ | ----- | ----- |

جدول (3-19) قيم الانتقالات النظرية والعملية [٤٩] وعزم القصور الذاتي ومربع الطاقة الدورانية لنظير ^{1٨٠}Hf.

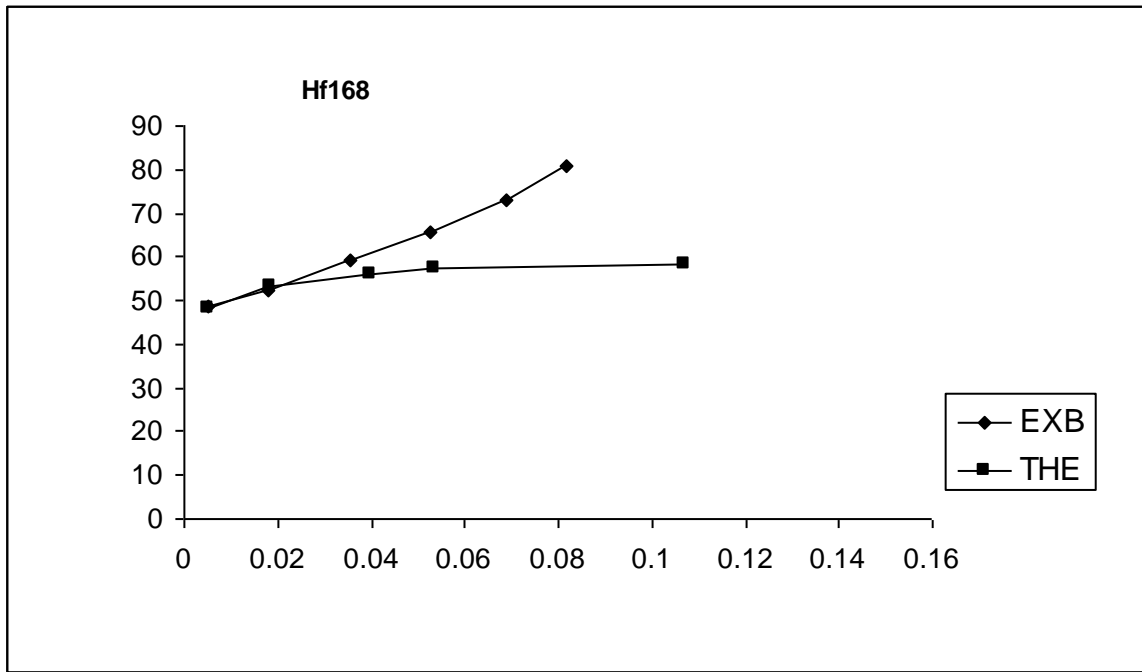
| القيم النظرية | | | القيم العملية | | |
|---------------|---|-------------------------------------|---------------|---|-------------------------------------|
| i→f | $\hbar^2\omega^2$ (Mev) ² | $29/\hbar^2$ (Mev) ⁻¹ | i→f | $\hbar^2\omega^2$ (Mev) ² | $29/\hbar^2$ (Mev) ⁻¹ |

| | | | | | |
|------------------------|--------|-------|------------------------|--------|-------|
| $2^+ \rightarrow 0^+$ | 0.0029 | 64.31 | $2^+ \rightarrow 0^+$ | 0.0029 | 64.31 |
| $4^+ \rightarrow 2^+$ | 0.0116 | 66.86 | $4^+ \rightarrow 2^+$ | 0.0123 | 65.02 |
| $6^+ \rightarrow 4^+$ | 0.027 | 67.79 | $6^+ \rightarrow 4^+$ | 0.0283 | 66.2 |
| $8^+ \rightarrow 6^+$ | 0.0385 | 67.9 | $8^+ \rightarrow 6^+$ | 0.0498 | 67.69 |
| $10^+ \rightarrow 8^+$ | 0.0796 | 67.59 | $10^+ \rightarrow 8^+$ | ----- | ----- |

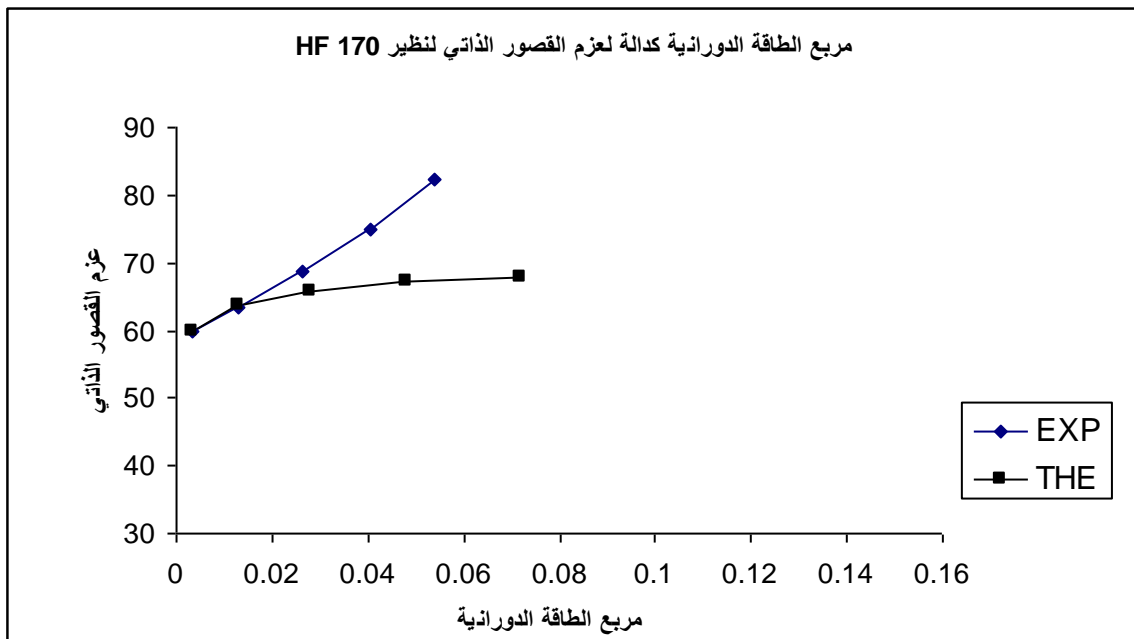
ومن خلال النتائج التي حصلنا عليها من الجداول الموضحة من (3-12) إلى (19-3) يمكن المقارنة بين القيم النظرية والعملية لمربع الطاقة الدورانية وعزم القصور الذاتي وكما في الأشكال التالية:



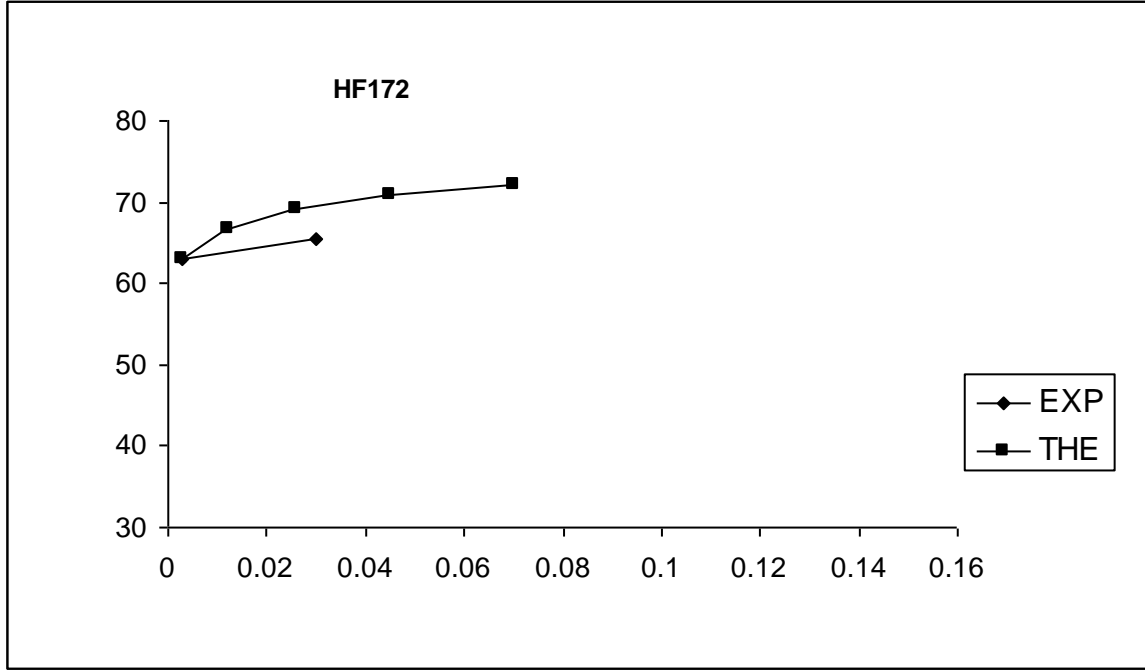
شكل (٢٤-٣) مقارنة بين القيم العملية [٤٩] والنظرية لعزم القصور الذاتي $2\nu/\hbar^2$ لنظير ^{166}Hf .



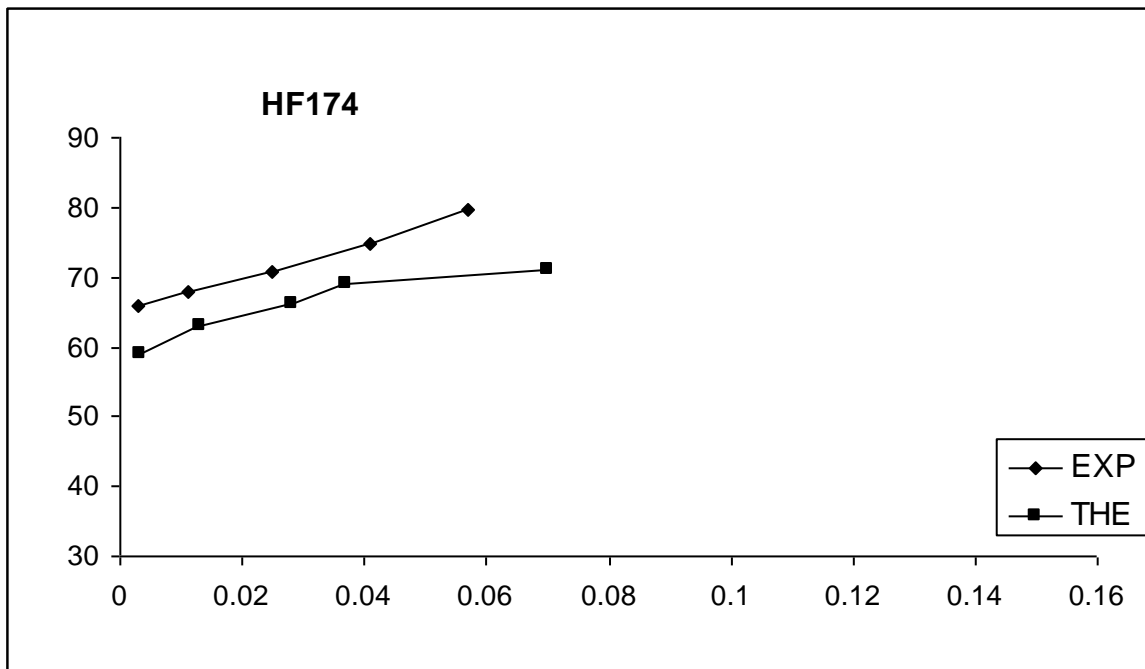
شكل (٢٥-٣) مقارنة بين القيم العملية [٤٩] والنظرية لعزم القصور الذاتي $2\nu/\hbar^2$ لنظير ^{168}Hf .



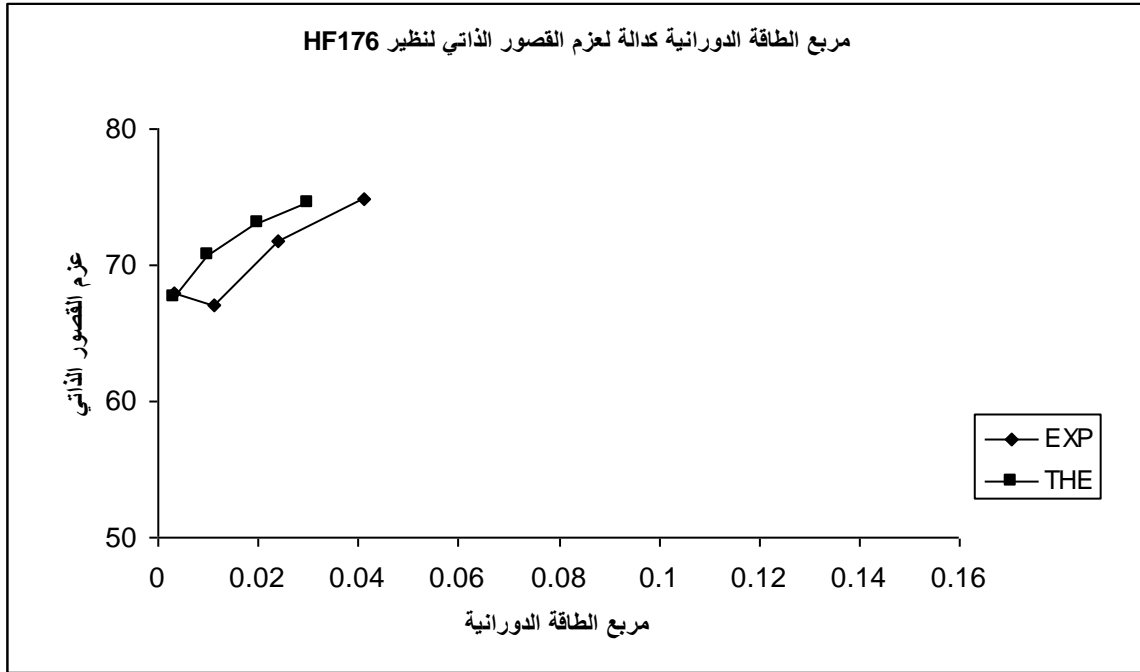
شكل (٢٦-٣) مقارنة بين القيم العملية [٤٩] والنظرية لعزم القصور الذاتي $2\nu/\hbar^2$ لنظير ^{17}Hf .



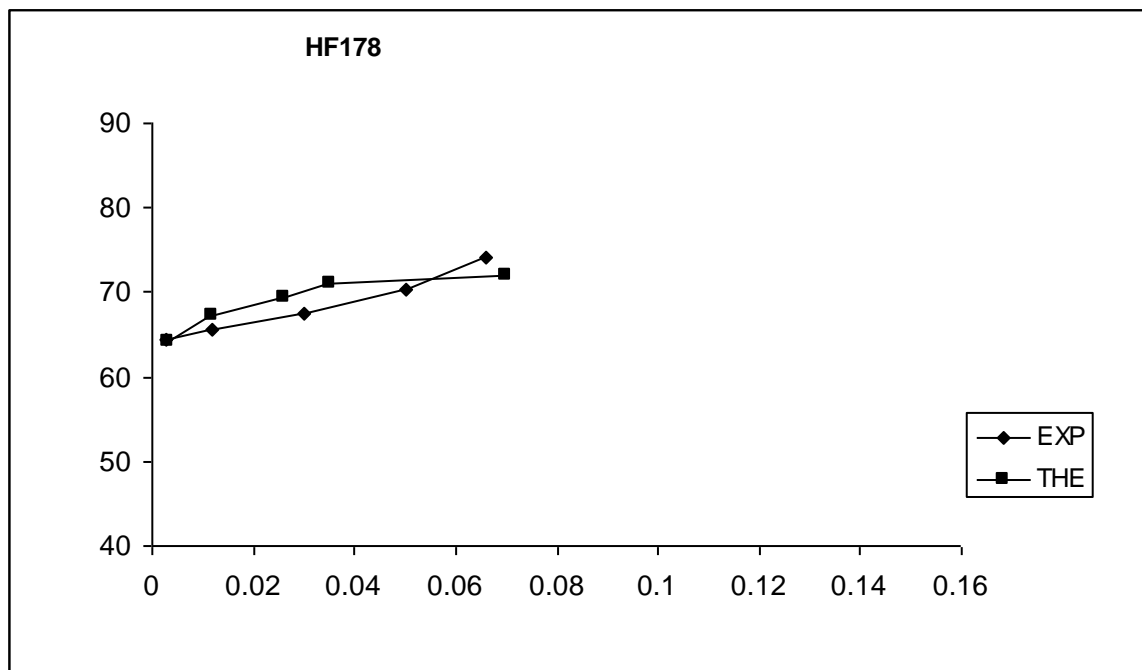
شكل (٢٧-٣) مقارنة بين القيم العملية [٤٩] والنظرية لعزم القصور الذاتي $2\nu/\hbar^2$ لنظير ^{172}Hf .



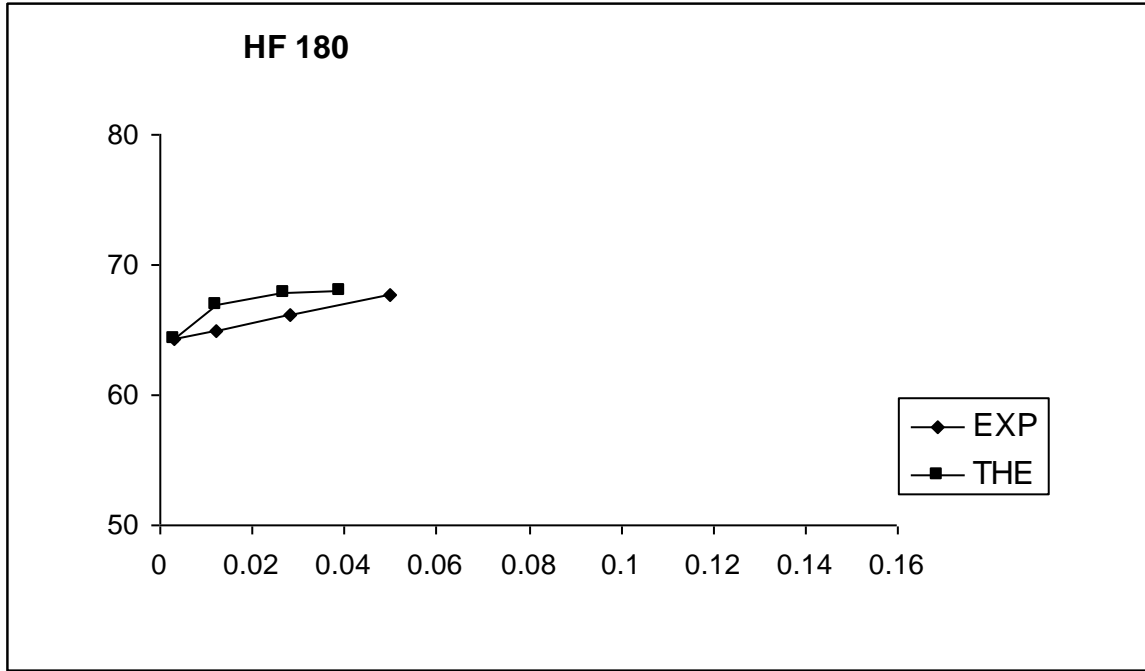
شكل (٢٨-٣) مقارنة بين القيم العملية [٤٩] والنظرية لعزم القصور الذاتي $2\nu/\hbar^2$ لنظير ^{174}Hf



شكل (٢٩-٣) مقارنة بين القيم العملية [٤٩] والنظرية لعزم القصور الذاتي $2\nu/\hbar^2$ لنظير ^{176}Hf



شكل (٣٠-٣) مقارنة بين القيم العملية [٤٩] والنظرية لعزم القصور الذاتي $2v/\hbar^2$ لنظير ^{178}Hf



شكل (٣-٣١) مقارنة بين القيم العملية [٤٩] والنظرية لعزم القصور الذاتي $2\nu/\hbar^2$ لنظير ^{180}Hf

1-4 نظائر Hf 166-180

ان نوى $^{166-180}\text{Hf}$ الزوجيه-الزوجيه تتكون من (72) بروتون منها (22) بروتون خارج القشرة المغلقة (50) و(94-108) نيوترون.

وحيث ان عدد البروتونات اكثر من عدد نصف الغلاف الرئيسي (66) فان عدد بورونات البروتونات تحسب من عدد الفجوات (hole) وليس من عدد الجسيمات (particle) حتى الوصول الى القشرة المغلقة الرئيسييه (82).

اما بالنسبه لعدد النيوترونات فيقع بين منتصف القشرتين المغلفتين (82-126) حيث ان عدد نصف الغلاف الرئيسي هو (104) ومن خلال هذا الرقم يتبين ان عدد بوزونات النيوترونات يحسب من عدد الجسيمات باستثناء النويتين الاخيرتين يحسب من عدد الفجوات (hole) ولهذا فان العدد الكلي للبوزونات سيكون مساويا لـ(16-11) بوزون وعلى التوالي.

ان وقوع عدد البروتونات والنيوترونات لهذه النوى بالقرب من منتصف القشرات المغلقة (82-50) و(82-126) وعلى التوالي يشير الى التصرف الدوراني حيث ان هذه الصفة غير موجودة بالتحديد الاهتزازي $SU(5)$ [59,58,37] وبالرجوع الى الجدول (3-1) الذي يوضح المعاملات المستعملة في البرنامج (IBM-1) نجد ان المعامل a_0 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 لوحظ سيطرة عزم رباعي القطب الكهربائي على بقية المعاملات.

2-4 مستويات الطاقة Energy Levels

عند الرجوع إلى مخططات الانحلال [54,53,52,51] لنظائر $^{180-166}\text{Hf}$ لوحظ هنالك نقصان تدريجي مستمر بطاقات تهيج المستوي الأول 2_1^+ مع زيادة تدريجية لنسبة مستوي الطاقة $\frac{E4_1^+}{E2_1^+}$ حيث تكون قليلة في نظائر الهافينيوم الأولى ثم تزداد تدريجيا وصولا إلى نظير ^{180}Hf وهذا يؤكد أن نظائر الهافينيوم الغنية بالنيوترونات تزداد نسبة التشوة تدريجيا [60,59] 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 [55,29] وحسب الجدول (٤-١) وكما في الأشكال الموضحة من (٣-٩) إلى (٣-١٢) انتماء هذه النوى إلى المنطقة الانتقالية وحسب الصيغة الهاملتونية المتمثلة بالمعادلة (٢-٣٥) وفيها يعتمد بالدرجة الأساس على النسبة $\frac{a_0}{a_2}$ إذ تؤدي هذه النسبة دورا كبيرا في السيطرة على معالم هذه المنطقة , فإذا كانت قيمتها كبيرة هذا يعني أن الخواص تكون قريبة من التحديد $O(6)$ وإذا كانت متوسطة تكون انتقالية بين الاثنيين [30] ومن خلال النتائج التي حصل عليها تبين إنها قيمة متوسطة في النظيرين $^{166-168}\text{Hf}$ و اقل من الواحد في بقية النظائر وعندما حلت معادلات القيم الذاتية للتحديدات الثلاثة $o(6), SU(3), SU(5)$ وحسب المعادلات (2-8), (2-16), (2-22) أعطت اقتراب جيد إلى التحديد

SU(3) , ومن الدلائل الأخرى على التحديد الدوراني هو اقتراب عدد البروتونات والنيوترونات من منتصف القشرات المغلقة وأيضا مستويات طيف الطاقة تكون متقاربة ثم تبتعد تدريجيا أما بخصوص طيف الطاقة الذي حصل عليه من النتائج النظرية ألموضحه بالإشكال من (3-1) إلى (3-8) يبين تطابقا جيدا مع جميع الحزم العملية [54,53,52,51] وخاصة الحزم الأرضية (Ground State) باستثناء الحزم العليا فيظهر هناك اختلاف بين النتائج العملية والنظرية وهذا سببه أمرين الأول أن الحزم الدورانية ذات البرم العالي , مثلا الحزم ألمكونه من جسيمين تزوج مع الحزم الدورانية في المستوى الأرضي ضاغطة المستويات المتتالية إذ تسبب تقاطع هذه الحزم مع بعضها وتحدث ظاهرة الانحناء الخلفي (Backbending) , والثاني في مستويات البرم العالي تكون النواة أكثر تشوه بسبب انضغاط المستويات المتتالية مع بعضها [61] .

جدول (1-4) يبين نسب مستويات الطاقة النموذجية [55,29] لكل تحديد .

| التحديد | $\frac{E4_1^+}{E2_1^+}$ | $\frac{E6_1^+}{E2_1^+}$ | $\frac{E8_1^+}{E2_1^+}$ | $\frac{E0_2^+}{E2_1^+}$ |
|---------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| SU(5) | 2.3 | 3 | 4 | 2 |
| SU(3) | 3.33 | 7 | 12 | $\gg 2$ |
| O(6) | 2.5 | 4.5 | 7 | 4.5 |

3-4 احتمالية الانتقالات الكهربائية المختزلة B(E2)

Reduced electric transitions probability B(E2)

تبين ألمعادله (3-3) حساب قيمة الاحتمالية المختزلة $B(E2) \downarrow$ أما ألمعادلتين

(2-3) و(1-3) توضح حساب قيمة المعاملات (E2SD&E2DD) والمبينة في الجدول (2-3) حيث استعملت هذه المعاملات في البرنامج (IBMT) والجدول من (3-10) إلى (3-3) تبين القيم المختزلة لنظائر $^{166-180}\text{Hf}$ حيث اظهرت تطابقا جيدا مع النتائج العملية المتوفرة كما في الشكل (3-13) وان هذه النتائج بينت الخاصية الانتقالية لهذه النوى من خلال الصفات ألمعروفه للتحديد O(6) و SU(3) .

ألفه الممييزة للتحديد O(60) 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 [34,29] وان قيمة هذا الانتقال موضحة في الجداول من (3-3) إلى (3-10) ولجميع نظائر الهافينيوم, أما بخصوص الصفة المميزة للتحديد $SU(3)$ هو 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 [49,42] كما في الشكل (3-13), إذ بينت هذه النتائج الخاصية الانتقالية بين التحديد الدوراني وتحديد γ -Unstable $SU(3)$ و $O(6)$.

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 Q_2^+ انها

تساوي

(-2.31, -2.55, -2.74, -2.55, -2.66, -2.78, -2.66, -2.63) وعلى التوالي والمبينة في الشكل (3-15) حيث اظهرت تقاربا جيدا مع النتائج العملية بعض النظائر [58,57] 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 الأشكال الكنتورية والمخططات التناظرية لزوايا التناظر المحوري ($\gamma=0, \gamma=30, \gamma=60$) المبينة في الأشكال من (3-16) إلى (3-23) أتضح أن هذه النوى انتقالية بين التحديدين $O(6)$ و $SU(3)$. لتوافقها مع الأشكال النموذجية للتحديدين كما في الشكل (2-5) [45], حيث تم رسم طاقة جهد السطح كدالة لمعامل التشوه ($\beta = 0 \text{---} 2.4$) إذ تبين أن اقل قيمة لطاقة جهد السطح تحدث عند (-1.17MeV) عندما يكون شكل النواة بيضويا متطاولا عند $\beta=0.4$ و $\gamma=0^\circ$ لنظير ^{176}Hf , أما عندما يكون شكل النواة بيضويا مفلطحاً فان اقل قيمه لطاقة جهد السطح يحدث عند -2.67MeV عندما $\beta=-0.6$ و $\gamma=60^\circ$ لنظير ^{176}Hf .

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 تشوهات رباعيات أقطاب كبيرة للحالات المتهيجة الواطئة للنوى وان الدوران يجب أن لايعتبر دوران جسم صلد فان السطح الكروي للنواة سوف يدور وان المستويات المدارية لجميع النيوكلونات تدور أيضا.

اذ 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 4 حيث أن النيوكلونات تنجرف مع السطح في أثناء الحركة الدورانية وقد وجد عمليا أن عزم القصور الذاتي يزداد بزيادة ثابت التشوه β [62] وتوضح الأشكال من (٣-٢٤) إلى (٣-٣١) مقارنة بين النتائج النظرية والعملية [49] لعزم القصور الذاتي ولكن هناك فرقا تكراريا يزداد بزيادة طاقة التهيج وهذا الفرق يمكن تفسيره على انه ناتج عن زيادة عزم القصور الذاتي بزيادة الزخم الزاوي للدوران , وذلك بتأثير القوة الطاردة المركزية.

5-4 المقترحات

- 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-2) 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

- 1- C. F. Von Weizsacker, Z. Phys. Vol. 6, 431, (1935)
- 2- W. J. Elsasser, Phys. Vol. 4, 549, (1933)
- 3- W. Meyerhof, "Elements of Nuclear Phys. ", Mc Graw-Hill, (1967)
- 4- H. A. Enge. " Introduction to nuclear Phys. ", (1983)
- 5- A. Bohr and B. R. Mottelson, Nuclear Structure, Vol. 11, (1975), Benjamin, Reading, Massachusetts
- 6- K. S. Krane, " Introductory Nuclear Phys. ", (1988), John Wiley and Sons
- 7- F. Iachello, and A. Arima, Phys. , Lett. B53, 309, (1974)
- 8- A. Arima, T. Otsuka, F. Iachello, and I. Talmi, Phys. , Lett. B66, 205, (1977)
- 9- R. F. Casten, A. Gelberg and P. Von Brentano, Phys. Rev. C36, 1225, (1987)
- 10- B. Bochev, S. Iliev, R. Kalpakcheva, S. A. Karamian, T. Kutsarova, Feeding and Lifetimes of yrast Levels in Hf Nuclei, Nucl. Phys. A282, 159, (1976)
- 11- F. W. N. Deboer, P. F. A. Goudsmit, 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. , A263, 397, (1976)

12- P. M. Walker, G. D. Dracoulis, A. Johnson and J. R. Leigh, High-spin states and Two-Quasiparticle structure in ^{172}Hf , Nucl. Phys. , A293, (1977)

13- P. Christmas and P. Cross, Relative intensities of γ -rays from E_2 Transitions in the decay of $^{180\text{m}}\text{Hf}$, Nucl. Instruments and Methods, 174, 571, (1980)

14- J. C. Lisle, J. D. Garrett, G. B. Hagemann, B. Herskind and S. Ogaza, Strongly interacting bands in ^{170}Hf , Nucl. Phys. , A360, 281, (1981)

15- R. Alarcao, P. Chowdhury and E. H. Seabury, P. M. Walker and C. Wheldon, D. Seweryniak and I. Wiedenhoever, Phys. Rev. C, Vol. 59, No. 3, (1999)

16- R. C. Dehaan and A. Aprahamian, H. g. Börner, C. Doll and M. Jentschel, A. M. Bruce and S. R. Lesher, J. Res. Nat. Inst. stand. Technol. , Vol. 105, 125, (2000)

17-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. 638, no. 1, (2002)

18-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. Aaritsen, 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. B560, 24, (2003).

- 19- Sven Aberg, An Investigation of yrast traps in some prolate Hf isotopes, Nucl. Phys. , A306, 89, (1978)
- 20- J. Van Klinken, W. Z. Venema, R. V. R. Janssens and G. T. Emery, K-forbidden Decays in ^{178}Hf , M_4 Decay of An yrast state, Nucl. Phys. A339, 189, (1979)
- 21- 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. , A349, 1, (1980)
- 22-A. Aprahamian et al, J. Phys. G, Nucl. Part. Phys. 25, 685, (1999)
- 23HAMro, 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. B506, 39, (2001)
- 24-Yang Sun, Xian-Rong Zhou, Gui-Lu long, En-Guang Zhau, Philip M. Walker, Nuclear Structure, Isomers, Projected shell model, Phys. Lett. B589, (2004)
- 25- Bao-An Bian, Yao-Min Di, Gui-Lu long, Yang Sun, Javid a. Sheikh, arxiv:Nucl-th/0504046, Vol. 1, (2005)
- 26- L. I. Abou-Salem, K. E. Abd Elmageed, Acta Physica Polonica B, Vol. 36, No. 6, (2005)
- 27- F. Iachello and A. Arima, Phys. Lett. , B53, 309, (1974)
- 28- C. Decoster, K. Hegde, B. Decroix, P. Vanisacker, J. Jolie, H. Lehmann, J. Wood, Nucl. Phys. A600, 251, (1996)

- 29- R. Casten and D. Warner, Rev. Mod. Phys. , 60, 389, (1988)
- 30- K. Abrahams, K. Allaart, and A. dieperink, B. Phys. 67, 53, (1981)
- 31-A. Abdul Ameer, Investigations of Nuclear Energy Levels in ^{82}Kr , ^{76}Se and ^{194}Pt , Ph. D Thesis, London University, (1991)
- 32-W. Chou, N. Zamfir, and R. casten, Phys. , Rev. , C92, 1, (2000)
- 33-A. Arima and F. Iachello, Ann. Phys. , 111, 201, (1978)20-R. Dalarcao, P. Chowdhury and E. H. Seabury, P. M. Walker and
- 34- A. Arima and F. Iachello, Ann. Phys. , 123, 468, (1979)
- 35-F. Iachello and A. Arima, The Interacting boson Model, Cambridge University Press, Cambridge, (1987)
- 36- K. S. Krane and J. M. Shobaki, Phys. Rev. C, 16, 4, (1977)
- 37- A. Arima and F. Iachello, Ann. Phys. , 99, 253, (1976)
- 38- L. R. Medsker and L. H. Fry, Phys. Rev. C, 16, 4, (1977)
- 39- A. Bohr and B. R. Mottelson, Medd. Dan. Vid. Selk Mat. Fys.Vol. 27, P. 16 (1953)
- 40-A. Bohr and B. R. Mottelson, Nuclear Structure, Vol. 1, Benjamin (1969)
- 41- T. Venkova and W. Andrejtscheff, Atomic Data and Nuclear Data Tables, Vol. 26, No. 2, P. 94 (1971)
- 42- S. Raman et al, Atomic Data and Nuclear Data Tables, Vol. 36, No. 1, 7, (1987)
- 43- A. Arima and F. Iachello, Ann. Phys. , 115, 325, (1978)
- 44-D. Bondatsos, "Intracting Boson Models of Nuclear Structure", Ed. David, Stanford, Pub. In the United State, By Oxford University Press, New York, (1988)
- 45- P. Van Isacher and J. Q. Chen, Phys. Rev. C, 24, 684, (1981)

- 46- L. E. H. Trainer, and R. K. Gupta, J. Phys. , Vol. 49, 133, (1971)
- 47- K. S. Krane, "Introductory Nuclear Physics", Ed. Halliday
, D. Pub. John. wiley, P142-145, (1987)
- 48- B. L. Birbrair, Phys. Lett. b, Vol. 39, 489, (1972)
- 49- Ts. Venkova and W. Andrejtscheff, Atomic Data and Nuclear Data
Tables, vol. 26, 95, (1981)
- 50- A. Arima and F. Iachello, In advances in Nuclear Physics, Edt. J. W.
Negele, and Evogt, Plenum, New York, Vol. 13, 139, (1984)
- 51- C. Leclerecl and V. Shirly, Tabele of Isotopes, Wiley, New York,
(1978)
- 52- A. E. Ignatochkin, E. N. Shurshikov and Yu. F. Jaborov, Nuclear Data
Sheets, Vol. 52, No. 2, P. 365, (1987)
- 53- Zhou Chunmei, Nuclear Data Sheets, Vol. 50, No. 2, P. 351, (1987)
- 54- E. Browne, Nuclear Data Sheets, Vol. 52, No. 1, P. 127, (1987)
- 55- M. Kadem Al-Janaby, Astudy of nuclear Structure of $^{98-108}\text{Ru}$ even-
even Isotopes by the IBM-1, M. Sc. Thesis, Babylon University, (2005)
- 56- F. Rosel, H. M. Fries, K. Alder, and H. C. Pauli, Atomic Data and
Nuclear Data Tables, Vol. 21, Nos. 4-5, P319 (1978)
- 57- P. Raghavan, Atomic Nuclear Data Tables, Vol. 42, 189, (1989)
- 58- N. J. Stone, Table of Nuclear Magnetic Dipole and Electric
Quadrupole Moments, P101, (2001)
- 59- W. D. Hamilton, The Electromagntic Interaction in Nuclear
Spectroscopy, American Elsevier Publishing Company, New York, (1975)
- 60- S. Landsberger, R. Lecomte, P. Paradis, and S. Monaro, Phys. Rev. C,
21, 2, (1980)
- 61- K. Hara, S. Iwasaki, Nucl. Phys. A, Vol. 2, A348, (1980)

62-A. N. K, "Introduction of Nuclear Physics", Mousel Univ. , (1986).

**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 2006

Saffer 1427