



جمهورية العراق

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الانبار

كلية التربية للعلوم الصرفة

قسم الفيزياء

دراسة الخواص النووية لبعض الأنوية الاهتزازية باستعمال نموذج عزم القصور الذاتي GVM

بحث تقدمت به

سنديان خليل عمر عبد

الى عمادة كلية التربية للعلوم الصرفة / قسم الفيزياء

وهو جزء من متطلبات شهادة البكالوريوس

أشرف

أ.م.د علي خلف عبيد

2018 ميلادية

1439 هجرية

الفصل الأول

المقدمة

INTRODUCTION

1-1 مقدمة عامة : General Introduction

من خلال دراسة الانحلال الاشعاعي كان معروفا بان النوى الثقيلة الى حد ما تتفكك بواسطة انطلاق مكونات صغيرة كجسيمات الفا و بيتا وبناءا على ذلك فلا بد ان تكون النواة مركبة من جسيمات اولية صغيرة كجسيمات الفا مثلا ولكنها لم تكن معروفة انذاك في الفترة ما قبل 1932 ماهي تلك الجسيمات ؟.

وفي تلك السنة اكتشف (Chadwick) النيوترون ومنذ ذلك الحين اصبحت فكرة بناء النواة من النيوترونات والبروتونات مقبولة بشكل عام ، ومن خلال دراسة الانحلال الاشعاعي بواسطة جسيمات بيتا والتفاعل النووي بالحث عند الطاقات العالية برزت جسيمات اخرى في تركيب النواة كالالكترونات مثلا الا ان المعتقد السائد يشير بان هذه الجسيمات تظهر على النواة في لحظات الانبعاث فقط لذلك لايمكن اعتبارها من مكونات النواة [1].

2-1 النماذج النووية : Nuclear models

لقد اقترحت عدة نماذج نووية في محاولة لفهم وتفسير الخواص النووية وطبيعة التفاعلات بين النيوكليونات والنتائج التجريبية المستخلصة عن دراسة سلوك وتركيب النواة، عليه فقد اضطر العلماء الى فرض نماذج نووية ومن ثم تطبيق تلك النماذج على النتائج المستخلصة عملياً لغرض المقارنة وايجاد المدى الذي بعده يصبح النموذج غير متمكن من اعطاء التفسيرات العلمية الكاملة عن بعض خواص النواة ولكن في الوقت الحاضر لا يوجد نموذج نووي واحد يصلح للمدى الواسع للطاقات النووية لنواة معينة او للمدى الكامل من الاعداد الكتلية [2]، ولكل من هذه النماذج فائدة في مدى محدود من الطاقات او مدى محدود من الاعداد الكتلية ، وعليه فهناك عدد من النماذج النووية المفترضة تستطيع ان تفسر لنا بعض الخواص النووية كالبرم والطاقة وفق فرضيات محدده لكل منها وسنتطرق بأيجاز الى عدد من هذه النماذج وهي [3].

1-2-1 نموذج قطرة السائل : Liquid Drop Model

اقترح هذا النموذج من قبل [Von Weizsacker 1934] [4] والفرضية الاساسية التي بني عليها هي ان النواة يمكن اعتبارها شبيهة في سلوكها بقطرة من السائل مع توتر سطحي معين والنيوكليونات فيها تسلك سلوكا يشبه سلوك الجزيئات في السائل ، وتحلل النويات بانبعاث الدقائق يماثل تبخر الجزيئات من سطح السائل ولا علاقة لكثافة السائل بحجم القطرة ويصح ذلك من

حيث المبدأ في مادة النواة، فالتشابه بين النواة وقطرة السائل له عدة نواحي مفيدة ويستعمل كلما اقتضت الضرورة .

لقد نجح هذا النموذج في معالجة التفاعلات النووية في حدود طاقات لا تتجاوز 100MeV التي تتكون فيها نواة مركبة وتمكن النموذج ايضا في حساب طاقة الربط النووية وظاهرة الانشطار النووي (Nuclear fission phenomena) لكنه فشل في اعطاء تفسيراً لاستقرارية النواة وبعض الخواص النووية الاخرى كالزخوم الزاوية والعزوم المغناطيسية [5].

1-2-2 نموذج القشرة النووي: Nuclear Shell Model

اقتراح هذا النموذج من قبل [1935 W-Elsasier] [6] والفرضية الاساسية التي يعتمد عليها هذا النموذج هي ان كل النيوكليون يتحرك مستقلا عن النيوكليونات الاخرى ويؤثر عليه معدل المجال النووي الناتج عن تأثير كافة النيوكليونات الاخرى اي انه يفترض بأن النيوكليونات تدور بمدارات خاصة بها داخل النواة وان تفاعلها في ما بينها ضعيف جدا ولهذا السبب يسمى احيانا بنموذج الدقيقة المستقلة (Independent particle) ويعد هذا النموذج من افضل النماذج النووية في ذلك الوقت ويستخدم عادة في مجالات الطاقة الواطئة وشأنه شأن نموذج قطرة السائل فهو غير صالح للطاقات العالية اي اكبر من (100MeV) وفرضياته عكس فرضيات نموذج قطرة السائل وقد تمكن هذا النموذج من تفسير استقرارية النواة الا انه فشل في تفسير البرم النووي للمستوى الارضي للنوى الزوجية -الزوجية والذي يساوي صفر دائما كما انه لم يعالج التأثير الذي يشوه الشكل الكروي للنواة الناتج عن النيوكليونات خارج القشرة المغلقة (Closed Shell) الذي يؤدي الى ظهور تأثيرات جماعية Collective effect بينهما متمثلة بالحركة الدورانية والحركة الاهتزازية والانتقالية لكل منها وهذا ما تمت معالجته وفق النموذج التجميعي [Collective effect][5].

1-2-3 نموذج دقائق الفا : Particle modela-

يعتمد هذا النموذج على فرضية ان دقائق الفا تكون مجاميع ثنائية داخل النواة ، وليس من الضروري ان تكون لدقائق الفا هذه كيان دائمي فهي قد تتبادل الدقائق فيما بينها، وفائدة نموذج دقائق الفا محدودة وتكون في الغالب في منطقة الاعداد الكتلية الصغيرة حيث يمكن تمثيل العدد الكتلي A بالرمز 4n ويمثل n مضاعفا صحيحا للواحد فمن الممكن اعتبارا C^{12} مثلا

كمجموعة من ثلاث دقائق الفا التفاعل فيما بينها ضعيف ، ولكن هناك عيبا هاما حتى في هذا المدى الضيق اذ ان Be^{α} غير مستقرة ابدا بينما يتطلب نموذج دقائق الفا ان تكون مستقرة وقد نجح نموذج الذرات نجاحا معتدلا في معالجة النويات التي عددها الكتلي $A=4n+1$ وذلك باعتبارها n من التراكيب المغلقة ودقيقة ثقيلة اضافية او واحدة ناقصة من هذا التركيب المغلق، ولكن النموذج يفشل فشلا تاما في النويات التي عددها الكتلي $A=4n+2$ [7] .

4-2-1 نموذج الدقائق المطردة:

يفترض هذا النموذج الذي اقترحه [1973] (wigner) ان حركة النيوكليونات الفردية لا يمكن تعقيها بالتفصيل وانما يجب ان تعالج احصائيا، وذلك بسبب التفاعلات الشديدة بين النيوكليونات الناتجة من القوى النووية الخاصة ، وقد نجح هذا النموذج نجاحا معتدلا في تفسير الطاقة الرابطة للنويات ولكن غالبية الادلة التجريبية الاخرى لا تتفق مع النتائج التي تنبأ بها هذا النموذج [7].

5-2-1 النموذج التجميعي collective model :

بالرغم من النجاح الذي حققه نموذج قطرة السائل ونموذج القشرة لكنهما فشلا في تفسير بعض الخواص النووية التي ذكرت سابقا فقد حاول العلماء فيما بعد الجمع بين النموذجين لتفسير الظواهر الفيزيائية النووية ومنهم العالم [8] 1953 Boher and Mottelson حيث اقترحا نموذج الحركة التجميعية Collective Motion model الذي قاد الى تقسيم النواة الى نيوكليونات مركزية (القلب) (core) ونيوكليونات خارج المركز حيث تتعامل النيوكليونات المركزية (القلب) كقطرة سائل تتفاعل مع النيوكليونات الخارجية في القشرات غير الممتلئة unfilled shells، ان التفاعل القوي بين النيوكليونات الخارجية والقلب (core) يعمل على تشويه القلب بفعل القوة المركزية [5].

ان نموذج الحركة التجميعية يفترض أن التشويه (deformation) الذي يصيب النواة يعتمد على زيادة عدد النيوكليونات وان التفاعل فيما بينهما يكون تجميعيا لذا فإن دوران النواة يكون صغيرا مقارنة بدوران النيوكليون الواحد وكلما زاد عدد النيوكليونات تزداد قوة كولوم فتصبح النواة اكثر ليونة (Softer) وبالتالي يكون شكل النواة ببيضويا (Ellipsoid) .

6-2-1 نموذج البوزونات المتفاعلة: Interacting Boson Model (IBM)

بعد ان اظهرت النماذج النووية السابقة عدم امكانيتها في كشف وتحديد بعض الخواص النووية وعدم تطابق بعض نتائجها مع النتائج العملية التي تم الحصول عليها من خلال دراسة التفاعلات النووية فقد اقترح نموذج البوزونات المتفاعلة عام (1973) من قبل Fesh bach [9] and Iachell ثم طور فيما بعد من قبل Arima and Iachello 1974 [10] الذي يعتمد على بعض المفاهيم والاسس التي تم تطبيقها في النماذج النووية السابقة واستطاع هذا النموذج ان يصف خصائص مستويات الطاقة في النواة الزوجية - الزوجية الموجبة التماثل ($+ \pi$) ذات الاعداد الكتلية المتوسطة والثقيلة عدا الانوية المغلقة القشرة (closed shell) اوشبه المغلقة التي تمت معالجتها كبوزونات (Bosons) ويعتمد هذا النموذج على نظرية الزمر (Sub group theory).

7-2-1 نموذج رباعي القطب الكهربائي : Electric Quadrupole moment

ينتج توزيع الشحنات والتيارات الكهربائية عزوما كهربائية ومغناطيسية متعددة القطبية تتحدد بواسطة (2^L). فعندما يكون ($L=0$) أي ان الحركة المدارية تساوي صفرا فان ($2^0=1$) وهذا يعني تكون مجال كهربائي أحادي القطبية (monopole) يعرف بالمجال الكولومي الناتج عن التوزيع الكروي المنتظم للشحنة الكهربائية في النواة. وعندما يكون ($L=1$) أي ان هناك حركة مدارية للشحنة الكهربائية في مدارات مغلقة ينتج عنها مجال مغناطيسي ثنائي القطبية (dipole). وعندما يكون ($L=2$) ينتج العزم الكهربائي رباعي القطب (Quadrupole) وهكذا. ويعرف العزم الكهربائي رباعي القطب بأنه مقدار الانحراف (Deviation) عن التوزيع الكروي المتناظر للشحنة الكهربائية داخل النواة (البروتونات).

ان النوى المختلفة إما أن تكون نوى كروية (Spherical Nuclei) او نوى غير كروية وتسمى النوى المشوهة (Deformed Nuclei). ويكون توزيع الشحنة في النوى الكروية متناظراً كروياً، وتقع هذه النوى بالقرب من القشرات المغلقة التي تتحدد بالأعداد السحرية للبروتونات او النيوترونات (2, 8, 20, 28, 50, 82, 126). لقد سميت هذه الأعداد بالأعداد السحرية لان النوى التي يكون فيها عدد البرونات Z او عدد النيوترونات N مساوياً لأحد هذه الأعداد تشكل قشرات مغلقة وتكون أكثر استقراراً وان طاقات الربط للنكليونات في هذه النوى تكون عالية وان هذه النوى يكون لها عدد كبير من النظائر المستقرة. ان العزم الكهربائي رباعي القطب في النوى الكروية يكون ذا قيمة صغيرة قد تصل إلى الصفر في النوى الزوجية - الزوجية ذات

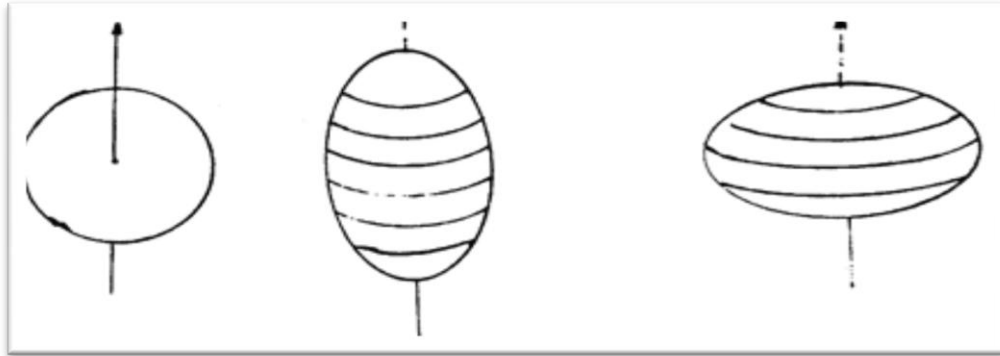
الأعداد السحرية . أما النوى المشوهة فتقع في وسط المسافة التي تتحدد بالقشرات المغلقة وتمتلك هذه النوى المشوهة عزوما كهربائية رباعية القطب ذوات قيم كبيرة وكلما ازداد التشوه ازدادت قيمة عزم رباعي القطب الكهربائي ويعطى العزم الكهربائي رباعي القطب بالعلاقة :

$$Q_0 = \frac{3}{\sqrt{5\pi}} R_{av}^2 . Z\beta(1 + 0.16\beta) \quad (1-1)$$

اذ $R_{av} = R_0 A^{1/3}$ يمثل متوسط نصف قطر النواة و $(R_0 = 1.4 \text{ fm})$ و β معامل التشوه ويعطى بالعلاقة:

$$\beta = \frac{4}{3} \sqrt{\frac{\pi}{5}} \left(\frac{\Delta R}{R_{av}} \right) \quad (1-2)$$

اذ ان $\Delta R = b - a$ ويمثل a شبه المحور الصغير (Semi-minor axis) في النواة المشوهة و b يمثل شبه المحور الكبير (Semi-major axis) . ففي النوى الكروية يكون $a = b$ وعزم رباعي القطب الكهربائي مساويا للصفر ($Q_0 = 0$) ، أما في النوى المشوهة فيكون العزم الكهربائي رباعي القطب موجبا ($Q_0 > 0$) إذا كان $b > a$ وتأخذ النواة الشكل البيضوي المتطاول (Prolate Shape) . فيما يكون العزم الكهربائي رباعي القطب سالبا ($Q_0 < 0$) عندما يكون $b < a$ وتأخذ النواة في هذه الحالة الشكل البيضوي المفلطح (Oblate Shape) (الشكل 1-1) .



الشكل الكروي ($Q_0 < 0$) الشكل المفلطح ($Q_0 > 0$) الشكل المتطاول ($Q_0 = 0$)

الشكل (1-1) يوضح شكل النواة تبعا للعزم الكهربائي رباعي القطب

الفصل الثاني

الأسس النظرية

THEORETICAL

FOUNDATION

1-2 مؤثرات الخلق والفناء في نموذج IBM-1 :

CREATION AND ANNIHILATION OPERATORS IN IBM -1

في نموذج IBM-1 افترض كل من Arima and Iachello [11] ان مستويات الطاقة الجماعية الواطئة للأنوية المشوهة يمكن وصفها من خلال بوزونات المستوي الارضي (S) وبوزونات المستوى المتهيج (d) والذي يأخذ خمس حالات هي $L=0, \pm 1, \pm 2$ اي $2(L=2)+1$ ونتيجة للتفاعل الذي يحصل بين بوزونات s , d يحدث نوعين من المؤثرات هما مؤثرات الخلق (المولدة) (Creation operators) $(\hat{s}^\dagger, \hat{d}^\dagger)$ ومؤثرات الفناء (الخافضة) (Annihilation operators) (\hat{s}, \hat{d}) والتي تحقق علاقات التبادل (commutator) بين مؤثرات البوزونات بالشكل (Bose)

$$[\hat{s}, \hat{s}^\dagger] = 1; [\hat{s}, \hat{s}] = [\hat{s}^\dagger, \hat{s}^\dagger] = 0 \quad \dots\dots (2-1)$$

$$[\hat{d}_\mu, \hat{d}_\mu^\dagger] = \delta_{\mu\mu'}; [\hat{d}_\mu, \hat{d}_\mu] = [\hat{d}_\mu^\dagger, \hat{d}_\mu^\dagger] = 0 \quad \dots\dots (2-2)$$

$$[\hat{s}, \hat{d}_\mu^\dagger] = [\hat{s}, \hat{d}_\mu] = [\hat{s}^\dagger, \hat{d}_\mu^\dagger] = [\hat{s}^\dagger, \hat{d}_\mu] = 0 \quad \dots\dots (2-3)$$

2-2 المؤثر الهملتوني في نموذج البوزونات المتفاعلة-1:

The Hamiltonian operator in (IBM-1)

ان الصيغة الأكثر ملائمة لمؤثر دالة هاملتون هي الصيغة التي افترضها Arima and

[11] Iachello

$$\begin{aligned} \hat{H} = & \varepsilon_s (\hat{s}^\dagger \hat{s}) + \varepsilon_d \left(\sum_m \hat{d}^\dagger \hat{d}_m \right) + \sum_{L=0,2,4} \frac{1}{2} (2L+1)^{1/2} C_L \left[(d^\dagger d)^{(L)} \left(\tilde{d} \tilde{d} \right)^{(L)} \right]^{(0)} \\ & + V_2 \left[(d^\dagger d^\dagger)^{(2)} \left(\tilde{d} \tilde{s} \right)^{(2)} + (s^\dagger d^\dagger)^{(2)} \left(\tilde{d} \tilde{d} \right)^{(2)} + \left(\frac{1}{2} \right)^{1/2} V_0 \left[(d^\dagger d^\dagger)^{(0)} \left(\tilde{s} \tilde{s} \right)^{(0)} + (s^\dagger s^\dagger)^{(0)} \left(\tilde{d} \tilde{d} \right)^{(0)} \right]^{(0)} \right] \\ & + U_2 \left[(d^\dagger d^\dagger)^{(2)} \left(\tilde{d} \tilde{s} \right)^{(2)} \right]^{(0)} + \left(\frac{1}{2} \right) U_0 \left[(s^\dagger s^\dagger)^{(0)} \left(\tilde{s} \tilde{S} \right)^{(0)} \right]^{(0)} \dots\dots\dots (2-4) \end{aligned}$$

ان مؤثر دالة هاملتون في المعادلة (2-4) يتضمن معاملين $\varepsilon_d, \varepsilon_s$ يصفان الجسيم المنفرد

وثلاثة معاملات تصف الجسيمين المتفاعلين متمثلة بـ $c_L (L = 0, 2, 4)$

واربع معاملات تصف الجسيمين المتفاعلين متمثلة بـ $V_L (L=0, 2), U_L (L=0, 2)$

وجميع هذه المعاملات تعتمد على عدد البوزونات N ويساوي $(n_s + n_d)$.

ان المعادلة (2-4) يمكن كتابتها بعدة صيغ ولكن اكثرها شيوعا هي الصيغة :

$$\hat{H} = \varepsilon \hat{n}_d + a_0 (\hat{P}^\dagger \cdot \hat{P}) + a_1 (\hat{L}^\dagger \cdot \hat{L}) + a_2 (\hat{Q}^\dagger \cdot \hat{Q}) + a_3 (\hat{T}_3^\dagger \cdot \hat{T}_3) + a_4 (\hat{T}_4^\dagger \cdot \hat{T}_4) \dots \dots \dots (2-5)$$

حيث ان $\varepsilon = \varepsilon_d - \varepsilon_s$ وتمثل الفرق بين طاقة البوزونات (d,s) وللسهولة اعتبرت ان طاقة

البوزون s تساوي صفر ($\varepsilon_s = 0$) وان

$$\left. \begin{aligned} \hat{n}_d &= (\hat{d}^\dagger \cdot \hat{d}) \\ \hat{P} &= 1/2(\hat{d} \cdot \hat{d}) - 1/2(\hat{s} \cdot \hat{s}) \\ \hat{L} &= \sqrt{10}[\hat{d}^\dagger \times \hat{d}]^{(\ell)} \\ \hat{Q} &= [(\hat{d}^\dagger \times \hat{s}) + (\hat{s}^\dagger \times \hat{d})] - \frac{\sqrt{7}}{2}[\hat{d}^\dagger \times \hat{d}]^{(2)} \\ \hat{T}_3 &= [\hat{d}^\dagger \times \hat{d}]^{(3)} \\ \hat{T}_4 &= [\hat{d}^\dagger \times \hat{d}]^{(4)} \end{aligned} \right\} \dots \dots (2-6)$$

المعاملات $a_4 \dots \dots \dots a_0$ فانها تعبر عن قوة تفاعل الازواج والزخم الزاوي ورباعي القطب

الكهربائي وثمانى القطب والقطب السادس عشر بين البوزونات على التوالي .

3-2 التناظرات الديناميكية:- Dynamical Symmetries

تسمى التحديدات الثلاثة التي عندها يمكن حل مسألة القيم الذاتية لهاملتون IBM-1 تحليليا والمتمثلة بالمعادلة (2-5) بالتناظرات الديناميكية [12]، إذ يمكن تقسيم نموذج البوزونات

المتفاعلة الأول (IBM-1) إلى ثلاث سلاسل (Chains) في ضوء حل مسألة القيم الذاتية لهاملتون IBM-1 وهذه السلاسل هي [13]:-

$$\begin{array}{l}
 \text{U}(6) \begin{cases} \nearrow \text{SU}(5) \supset \text{O}(5) \supset \text{O}(3) \supset \text{O}(2) \text{-----I} \\ \rightarrow \text{SU}(3) \supset \text{O}(3) \supset \text{O}(2) \text{-----II} \\ \searrow \text{O}(6) \supset \text{O}(5) \supset \text{O}(3) \supset \text{O}(2) \text{-----III} \end{cases}
 \end{array}$$

وفيما يأتي عرض للتحديدات الثلاثة :-

1-3-2 التحديد الاهتزازي SU(5) :- The Vibrational Limit SU(5)

يسمى التناظر الديناميكي وفق السلسلة (I) **Dynamical Symmetry (I)** بالتحديد الاهتزازي SU(5) الذي يعد من أول التحديدات التي عرضها (Arima and Iachello) والذي تكون فيه طاقة البوزون (ε) أكبر بكثير من طاقة التفاعل (V) إذ يعطي الهاملتون الخاص به الشكل الآتي [10]:-

$$\hat{H}^{(I)} = \varepsilon \hat{n}_d + a_1 \hat{L} \cdot \hat{L} + a_3 \hat{T}_3 \cdot \hat{T}_3 + a_4 \hat{T}_4 \cdot \hat{T}_4 \text{-----} (2-7)$$

وفي هذا النوع من التحديد نجد إن المؤثرين (\hat{Q} , \hat{P}) غير فعالين كما مبين في المعادلة (2-7) ،

2-3-2 التحديد الدوراني SU(3) :- The Rotational Limit SU(3)

يسمى التناظر الديناميكي وفق السلسلة (II) **Dynamical Symmetry (II)** بالتحديد الدوراني SU(3) الذي يعد ثاني التحديدات التي عرضها (Arima and Iachello) والذي تكون فيه طاقة البوزون (ε) أصغر بكثير من طاقة التفاعل (V) ($V \gg \varepsilon$) إذ تمثل (V) طاقة تفاعل عزم رباعي القطب (Q.Q) بين البوزونات، وتعطى دالة هاملتون للتحديد بالمعادلة [14]:

$$\hat{H}^{(II)} = a_1 \hat{L} \cdot \hat{L} + a_2 \hat{Q} \cdot \hat{Q} \text{-----} (2-8)$$

نلاحظ بأن تفاعل ثنائي الزخم الزاوي (L.L) إضافة الى تفاعل رباعي القطب الكهربائي (Q.Q) بين البوزونات هي المهيمنة في هذا التحديد.

القيمة المختزلة لإحتمالية الانتقال الكهربائي رباعي القطب B(E2) بين مستويات الحالة الأرضية فإنها تُعطى بالعلاقة [11] :-

$$B(E 2, L+2 \rightarrow L) = \alpha_2^2 \frac{3}{4} \frac{(L+2)(L+1)}{(2L+3)(2L+5)} (2N-L)(2N+L+3) \text{-----} (2-9)$$

ولهذا فان:-

$$B(E2; 2_1^+ \rightarrow 0_1^+) = \alpha_2^2 \frac{1}{5} N(2N+3) \text{-----} (2-10)$$

يمكن تعريف عزم رباعي القطب الكهربائي كما في المعادلة الآتية [14] :-

$$Q_L = -\alpha_2 \sqrt{\frac{16\pi}{40}} \frac{L}{2L+3} (4N+3) \text{-----} (2-11)$$

3-3-2 تحديد O(6) :- γ - Unstable

يسمى التناظر الديناميكي وفق السلسلة (III) (III) **Dynamical Symmetry**

بالتحديد كما غير المستقر (γ -unstable) إذ يكون تفاعل الازدواج ($\hat{P} \cdot \hat{P}$) الحاصل بين البوزونات هو المهيمن نسبة إلى طاقة البوزونات أي أن ($V \gg \epsilon$)، إما دالة هاملتون لهذا التحديد تعطى بالعلاقة [15] :-

$$\hat{H}^{(III)} = a_0 \hat{P} \cdot \hat{P} + a_1 \hat{L} \cdot \hat{L} + a_3 \hat{T}_3 \cdot \hat{T}_3 \text{-----} (2-12)$$

تعرف القيمة المختزلة لإحتمالية الانتقال الكهربائي رباعي القطب B(E2) بالعلاقة [16] :-

$$B(E2; L+2 \rightarrow L) = \alpha_2^2 \frac{(L+2)}{2(L+5)} \frac{1}{4} (2N-L)(2N+L+8) \text{----} (2-13)$$

أو

$$B(E2; 2_1^+ \rightarrow 0_1^+) = \alpha_2^2 \frac{1}{5} N(N+4) \text{-----} (2-14)$$

ومن قواعد الاختبار لهذا التحديد يمكن إستنتاج أن قيم عزم رباعي القطب الكهربائي تساوي صفراً

$$QL = 0 \text{-----} (2-15)$$

إذ يمكن أن نستنتج من المعادلة (2-13) النسبة الخاصة في حالة التحديد O(6) [16] :-

$$\frac{B(E2, 4_1^+ \rightarrow 2_1^+)}{B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)} = \frac{10}{7} \frac{(N-1)(N+5)}{N(N+4)} < \frac{10}{7} \text{-----} (2-16)$$

5-2 المناطق الانتقالية في نموذج البوزونات المتفاعلة- الأول

Translation Regions in IBM-1

هناك بعض النوى يمكن وصفها بدقة بإحدى التحديدات التي ذُكرت سابقاً وهي النوى الخالصة، إلا أن معظم النوى تبتعد بخواصها عن هذه التحديدات لتقع بين خواص تحديدين أو ثلاثة لتكون مناطق انتقالية [11] ، إن التحديدات الثلاثة التي عُرِضَتْ سابقاً مفيدة جداً طالما أنها تعطي مجموعة من الحلول التحليلية التي يمكن اختبارها عملياً إلا أن معظم النوى تبتعد بصفاتها عن الحدود الواضحة لهذه التحديدات إذ نجد أن معظم أطيف النوى لا تتوافق مع أيٍّ من التحديدات الثلاثة المذكورة آنفاً وعلية فإن الهاملتوني قد يكتب بدلالة مؤثرات تحديدين وأحياناً قد يكتب بدلالة جميع المؤثرات. لذلك من الممكن تقسيم النوى إلى أربعة أصناف انتقالية هي [17]:-

1- الصنف A :- Class A

النوى في هذا الصنف تمتلك صفات انتقالية بين التحديدين (I) و (II) وتعطى دالة هاملتون بالصيغة [16] :-

$$\hat{H}^{(I+II)} = \varepsilon \hat{n}_d + a_1 \hat{L} \cdot \hat{L} + a_2 \hat{Q} \cdot \hat{Q} \text{-----} (2-17)$$

خواص النوى في هذا الصنف تعتمد على النسبة (ε / a₂) فعندما تكون هذه النسبة كبيرة فإن الخواص تقترب من التحديد SU(5) وعندما تكون هذه النسبة صغيرة فالخواص تقترب من التحديد SU(3) ، وإذا كانت متوسطة فإن الحل سيكون بين التحديدين ، والشئ نفسه سوف يحدث بالنسبة لنسب الانتقالات الكهرومغناطيسية كالنسبة [14].

$$R = \frac{B(E2, 2_2^+ \rightarrow 0_1^+)}{B(E2, 2_2^+ \rightarrow 2_1^+)} \text{-----} (2-18)$$

إذ أن النسبة تعد بين القيمتين R=0 في التحديد SU(5) و R=7/10 في SU(3).

2- الصنف B :- Class B

تمتلك النوى في هذا الصنف خواص انتقالية بين التحديدين (II) و (III) وتعطى دالة هاملتون بالصيغة [14] :-

$$\hat{H}^{(II+III)} = a_0 \hat{P} \cdot \hat{P} + a_1 \hat{L} \cdot \hat{L} + a_2 \hat{Q} \cdot \hat{Q} \text{-----} (2-19)$$

تعتمد خواص النوى في هذا الصنف على النسبة (a_0 / a_2) فعندما تكون هذه النسبة كبيرة فإن الخواص ستكون اقرب للتحديد $O(6)$ وعندما تكون صغيرة فإن الخواص ستكون اقرب للتحديد $SU(3)$.

أما نسبة الانتقال الكهرومغناطيسي (R) لهذا الصنف فإنها تأخذ قيمةً متوسطة ما بين $R=0$ للتحديد $O(6)$ و $R=7/10$ للتحديد $SU(3)$ [11].

3 - الصنف C :- Class C

تمتلك النوى في هذا الصنف صفات انتقالية بين التحديد (I) و (III) ودالة هاملتون [17] :-

$$\hat{H}^{(I+III)} = \epsilon \hat{n}_d + a_0 \hat{P} \cdot \hat{P} + a_1 \hat{L} \cdot \hat{L} + a_3 \hat{T}_3 \cdot \hat{T}_3 \text{-----} (2-20)$$

تعتمد خواص النوى في هذا الصنف على النسبة (ϵ / a_0) فعندما تكون النسبة كبيرة فإن هذا يعني أن النواة قريبة في خواصها من التحديد $SU(5)$ وعندما تكون صغيرة فإنه يعني أن النواة قريبة في خواصها من التحديد $O(6)$.

4 - الصنف D :- Class D

النوى في هذا الصنف تمتلك خواص متوسطة بين التحديدات (I) و (II) و (III) والهاملتون [15] :-

$$\hat{H}^{(I+II+III)} = \epsilon \hat{n}_d + a_0 \hat{P} \cdot \hat{P} + a_1 \hat{L} \cdot \hat{L} + a_2 \hat{Q} \cdot \hat{Q} + a_3 \hat{T}_3 \cdot \hat{T}_3 + a_4 \hat{T}_4 \cdot \hat{T}_4 \text{---} (2-21)$$

6-2 مستويات الحركة الدورانية النووية: Nuclear Rotational Motion State

ان في الحركة الدورانية الناتجة عن نموذج الحركة التجميعية يجب ان لا نعامل النواة كأنها جسيم صلد لان السطح البيضيوي للنواة المشوهه يدور مع جميع النيوكليونات المساوية عدديا الى العدد الكتلي A باعتبارها دقائق حرة في حركتها ، وعلى هذا الاساس فإن الحركة الدورانية للنواة تؤدي الى تغيير مواقع كثير من النويات وعليه اعتبرت الحركة الدورانية على انها حركة

جماعية ناتجة عن حركة النيوكليونات وحركة النواة والتي تسبب دوران عدد من النيوكليونات حول محور يختلف عن محور التناظر النووي وعلى هذا الاساس بني نموذج الحركة الجماعية [2] . يعتبر التهيج الناتج عن الحركة الدورانية مسؤولا عن المستويات المهيجة في المواقع الدنيا للنويات مع عزم رباعي القطب ذو قيمة كبيرة اي ان ظاهرة الانحراف عن الشكل الكروي للنواة متميزة في النوى الدورانية ويكون التذبذب في هذه الحالة صغيرا لدرجة يمكننا تقريبا ان نعامل الحركة الداخلية للنويات والحركة الدورانية لها بصورة منفصلة ، اما طيف الطاقة الدورانية فيمكن ايجاده من [8].

$$E(L) = \frac{(RL)^2}{2\theta} = \frac{\hbar^2}{2\theta} \{ L (L + 1) - K^2 \} \dots\dots\dots(2-22)$$

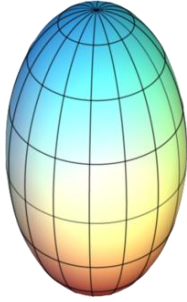
$$|\bar{L}|^2 = [L (J + 1) - K^2] \hbar^2 \dots\dots\dots(2-23)$$

حيث L الزخم الزاوي للحركة الجماعية حيث θ عزم القصور الذاتي للنواة حول محور الدوران والذي يمثل العمود القائم على محور التماثل والمار في مركز ثقل النواة ، اما k تمثل مسقط الزخم الزاوي الكلي على امتداد محور التماثل Z وتكون قيمتها محددة في كل حالة من هذه الحالات وجد ان θ اقل من قيمته لحركة الجسيم الصلب في حدود (2 الى 4) مرات والسبب يعود الى ان دوران النوية قد ينسحب مع سطح النواة في الحركة الدورانية كما وجد عمليا ان نسبة عزم القصور الذاتي θ الى نسبة عزم القصور الذاتي لجسيم صلب θ_{ridid} تزداد بزيادة ثابت الانحراف δ ، وبالنسبة للنوى التي فيها ثابت التشويه صغير جدا لا تمتلك طيف دوراني على الاطلاق .

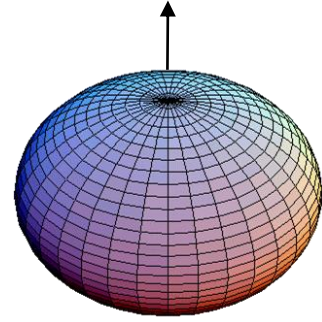
ان الدوران الذي ينشأ فوق المستوى الارضي وكذلك اهتزازات بيتا تكون $k=0$ بالنسبة للنوى الزوجية - الزوجية المشوهة وان تعاقب البرم النووي يكون $J^\pi = 0^+, 2^+, 4^+, \dots\dots\dots$

اما اهتزازات حزمة كما تكون فيها $k = 2$ وتعاقب البرم النووي يكون $J^\pi = 2^+, 3^+, 4^+, \dots\dots\dots$ حيث يكون تبادل تناظري للنواة . ان التطابق بين قيم θ النظرية والعملية تأتي من تنظيم قيم θ ولكن هناك فرقا تكراريا بين القيم العملية والنظرية يزداد بزيادة طاقة التهيج وهذا الفرق يمكن تفسيره على انه ناتج عن زيادة عزم القصور الذاتي بزيادة الزخم الزاوي للحركة الدورانية وذلك بسبب تأثير القوة الطاردة المركزية للحركة الدورانية نتيجة لزيادة السرعة الزاوية وهذا يؤدي الى تشوه النواة والذي يكون على نوعين أما ببيضويا متطاول (Prolate shape) وفيه تدور النواة حول محور عمودي على محور التناظر النووي و يكون عزم رباعي القطب

الكهربائي موجب ($Q_L > 0$) (عندما يكون $\Delta R = b - a$ موجبا) أو ان يكون التشوه بيضوي مفلطح (Oblate shape) وفيه تدور النواة حول محور موازي لمحور التناظر النووي ويكون عزم رباعي القطب الكهربائي سالبا ($Q_L < 0$)، (اي عندما يكون ΔR سالبا) وفي كلا النوعين من التشوه تظهر قوى كوريوليس Coriolis force التي تقوم بتحطيم الازدواج الحاصل بين عدد من ازواج النيوكليونات مسببه ظهور حزمة two-quasi particles او حزمة four-quasi particles مسببة شذوذ عند زخوم زاويه معينة .



Prolate shape $Q_L > 0$



Oblate shape $Q_L < 0$

شكل (2-1) يبين نوعي التشوه

وفي حالة ادخال التصحيح لهذا التأثير ومقداره $\{ L (L + 1) \}$ B -تصبح المعادلة (2-22) بالشكل الاتي:

$$E(L)_{\text{rot}} = \frac{\hbar^2}{2\theta} L (L + 1) - B L^2 (L + 1)^2 \dots\dots\dots (2-24) \quad [A] = \frac{\hbar^2}{2g}$$

$$= A L (L + 1) - B J^2 (L + 1)^2 \dots\dots\dots (2-25)$$

B = rotational - vibration coupling const

تحتوي هذه المعادلة على ثابتان قابلان للتنظيم هما γ و B وباستخدام مربع كاي للقيم العملية فاننا نحصل على قيم جيدة .

لمناقشة النتائج النظرية المحسوبة في θ يجب تنظيم قيمة θ لإعطاء القيمة المضبوطة للمستوى 2^+ وكما نلاحظ ان التطابق بين التجربة والنظرية جيد ولكن هناك فرقا تكراريا.

(mariscotti) وآخرون تمكنوا عام (1969) [18] من افتراض صيغة أكثر ملائمة من الصيغة (2-24) وهي .

$$E(L)=\frac{1}{2}\left[\frac{L(L+1)}{\eta(L)}+c(\vartheta(L)-\vartheta_0)^2\right].....(2-26)$$

نلاحظ من هذه المعادلة ان عزم القصور الذاتي (ϑ) هو دالة للزخم الزاوي (L) و c و ϑ_0 متغيران قابلان للتغيير لمطابقة النتائج النظرية مع العملية .

اما مربع الطاقة الدورانية $(\hbar\omega)^2$ فيمكن ايجادها من المعادلة التالية [19]

$$(\hbar\omega)^2 = (L^2-L+1) \left[\frac{E(L \rightarrow L-2)}{2L-1} \right] (2-27)$$

اما عزم القصور الذاتي ($\frac{2\eta}{\hbar^2}$) كدالة للزخم الزاوي فيمكن ايجادها بالنسبة لحزمة الحالة الارضية

$$\left(\frac{2\eta}{\hbar^2} \right) = \frac{4L-2}{E(L \rightarrow L-2)}(2-28)$$

اما لحزمة كما فيحسب من المعادلة

$$\left(\frac{2\eta}{\hbar^2} \right) = \frac{2L}{E(L \rightarrow L-1)}(2-29)$$

ويمكن الاستفادة من هذه المعادلة لغرض دراسة ظاهرة الانحناء الخلفي

الفصل الثالث

النتائج والمناقشة

RESULTS AND DISCUSSION

1-3 المقدمة : Introduction

يتضمن هذا الفصل دراسة تطبيق نموذج البوزونات المتفاعلة الاول (IBM-1) ونموذج عزم القصور الذاتي المتغير (GVMI) لدراسة الخواص النووية لنواة الزئبق المشوهة الزوجية – الزوجية $^{186}_{80}\text{Hg}_{106}$ والتي تطلبت تحديد نوع التناظر الديناميكي فوجد ان النواة تنتمي للتناظر الديناميكي الاهتزازي SU(5) وسنبين في الفقرة اللاحقة كيفية تحديد نوع هذا التناظر.

2-3 الحسابات : Calculation

لغرض دراسة الخواص النووية للنواة قيد الدراسة لابد من تحديد سلوك هذه النواة لكي نتمكن من اختيار المعاملات الخاصة بدالة الهاملتون المعادلة (2-6) وقد تم إيجاد نوع التناظر الديناميكي بالاعتماد على نسب قيم الطاقة العملية والنظرية ومقارنتهما مع القيم المثالية والمبينة في الجدول (1-3)

جدول(1-3) يبين نسب الطاقة النظرية و العملية لتحديد نوع التناظر الديناميكي

نسب الطاقة	Ideal energy[20]	Exp energy[21]	GVMI energy	IBM-1 energy	تحديد التناظر الديناميكي لنواة $^{186}_{80}\text{Hg}_{106}$
$E(4_1^+)/E(2_1^+)$	2	1.99	2.28	3.2	SU(5)
$E(6_1^+)/E(2_1^+)$	3	2.87	3.82	6.64	
$E(8_1^+)/E(2_1^+)$	4	3.9	5.62	---	

الجدول (1-3) يبين ايضا نسب الطاقة المحسوبة وفق نموذج عزم القصور الذاتي المتغير (GVMI) والتي تم حسابها من البرنامج (GVMI.For) من خلال ملف الادخال (PAR.Inp.)

والذي يتضمن ثلاث معاملات هي (\hbar^2 / ϑ_0) بوحدات $(\text{Mev})^{-1}$ و C بوحدات $(\text{Mev})^3$ و E_K بوحدة (Mev) وتمثل طاقة رأس الحزمة وتساوي صفر في حزمة الحالة الارضية $(G- \text{band})$ وتساوي طاقة الزخم الزاوي 0^+ للمستوي المتهيج في حزمة β وقيمة متغيرة في حزمة γ (γ -band) ويتم اختيار قيم الثوابت والمبينة في الجدول (2-3) من خلال مطابقة القيم العملية المتوفرة مع القيم النظرية المحسوبة في برنامج (GVMI.For) عندما نحصل على اقل قيمة لمربع كاي χ^2 (chi-squared) من المعادلة التالية [22] :

$$\chi^2 = \frac{(E_{cal} - E_{exp})^2}{E_{cal}} \quad \text{.....(1-3)}$$

كما يمكن حساب الانحراف المعياري Standard deviation (Δ) من المعادلة التالية [22]

$$deviation(\Delta) = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_{cal} - E_{exp})^2 \right]^{1/2} \quad \text{.....(2-3)}$$

جدول (21-3): قيم معاملات الهملتونين باستعمال نموذج (GVMI)

Band	$\ell_0 (\text{MeV})^{-1}$	$C(\text{MeV})^3$	$E_K(\text{MeV})$	$\chi^2 (\text{MeV})$
g	8.107000	0.211719	0.00000	0.076220
β	7.433400	0.979719	0.523000	0.093220
γ_1	4.220400	0.173419	0.799990	0.020000

اما قيم مستويات الطاقة المحسوبة وفق برنامج (IBM-1) فقد تم حسابها من المعاملات المبينة في الجدول (3-3) من خلال تطابق القيم النظرية مع القيم العملية المتوفرة.

جدول (3-3): قيم معاملات الهملتونين باستعمال نموذج (IBM-1)

ϵ	$\hat{P}^\dagger \cdot \hat{P}$	$\hat{L} \cdot \hat{L}$	$\hat{Q} \cdot \hat{Q}$	$\hat{T}_3 \cdot \hat{T}_3$	$\hat{T}_4 \cdot \hat{T}_4$	CHI
0.1990	1.000	0.0882	0.000	0.0050	0.1880	0.000

3-3 اطياف حزم الطاقة : Energy bands spectrum

ان اطياف الطاقة لاي نواة تترتب بشكل حزم تبدأ بالحزمة الارضية (G-band) والذي يأخذ المتسلسلة $(0_1^+, 2_1^+, 4_1^+, 6_1^+, \dots)$ والحزمة المتهيجة الأخرى هي حزمة بيتا (β -band) والتي تأخذ المتسلسلة $(0_2^+, 2_1^+, 4_2^+, 6_2^+, \dots)$ والحزمة الثالثة هي حزمة كاما (γ -band) والتي تأخذ المتسلسلة $(2_3^+, 3_1^+, 4_3^+, 5_1^+, \dots)$

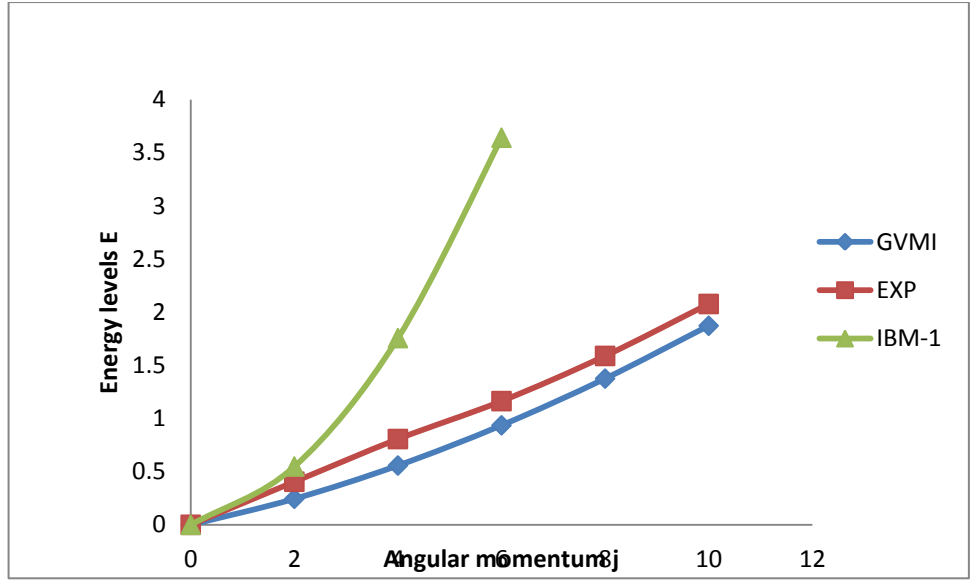
ان الترتيب العام لهذه الحزم هي (G band, β -band, γ - band) فاذا حصل هذا الترتيب فان طيف النواة اما ان يكون اهتزازي SU(5) او دوراني SU(3) إما إذا كان ترتيب الحزم (G band, γ -band, β -band) اي ان الزخم الزاوي 2_3^+ يظهر قبل 0_2^+ فيحصل كسر في الترتيب فيكون التحديد هو O(6) .

من خلال نتائج مستويات الطاقة التي تم الحصول عليها باستعمال نموذج (IBM-1, GVMI) والمبينة في الجدول (4-3) .

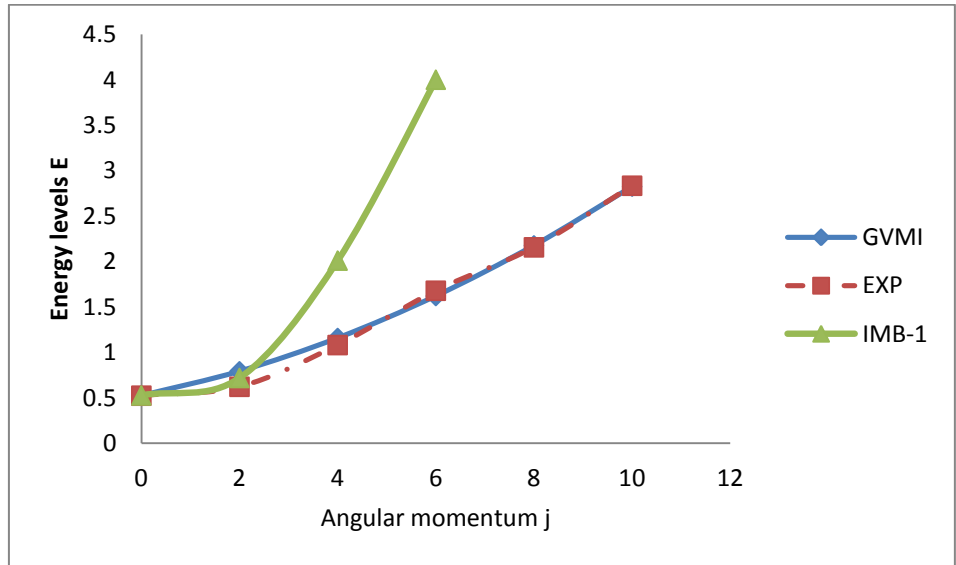
جدول (4-3): مقارنة بين القيم النظرية والعملية [21] لحزم الطاقة حسب ظهورها لنواة قيد الدراسة

Nuclei	spin Band	0 ⁺ 2 ⁺	2 ⁺ 3 ⁺	4 ⁺ 4 ⁺	6 ⁺ 5 ⁺	8 ⁺ 6 ⁺	10 ⁺ 7 ⁺
¹⁸⁶ ₈₀ Hg ₁₀₆	g – exp	0.000	0.405	0.807	1.164	1.589	2.078
	g-GVMI	0.000	0.244587	0.557845	0.936106	1.375645	1.872857
	g- IBM-1	0.000	0.54859	1.75710	3.64266	-----	-----
	β – exp	0.523	0.621	1.0803	1.6779	2.1558	2.8336
	β -GVMI	0.523	0.791394	1.157758	1.620240	2.176643	2.824514
	β -IBM-1	0.5254	0.7180	2.0098	4.0006	-----	-----
	γ – exp	1.09660	1.43380	1.96590	1.89800	2.18500	2.42800
	γ -GVMI	1.24533	1.464323	1.68264	1.90104	2.120030	2.33994
	γ -IBM-1	1.3287	1.416	2.36784	3.64266	-----	-----

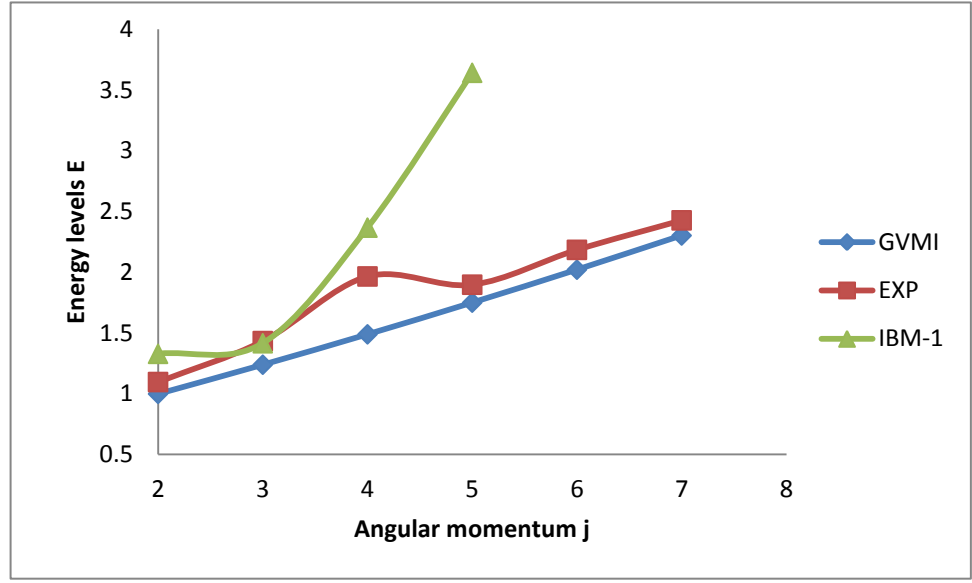
وتم رسم أطياف الطاقة النظرية ومقارنتهما مع اطياف الطاقة العملية كما في الإشكال (3-3) (1-3) , (2-3) , هذه الاشكال تبين ان نموذج عزم القصور الذاتي المتغير (GVMI) اعطى افضل القيم من قيم الطاقة المحسوبة وفق برنامج (IBM-1) ولجميع حزم الطاقة.



شكل (1-3): مستويات الطاقة النظرية والعملية [21] كدالة للزخم الزاوي لحزمة (g-band)



شكل (2-3): مستويات الطاقة النظرية والعملية [21] كدالة للزخم الزاوي لحزمة (β -band)



شكل (3-3): مستويات الطاقة النظرية والعملية [21] كدالة للزخم الزاوي لحزمة (γ -band)

المصادر

REFERENCES

المصادر

- 1- الفيزياء الحديثة تأليف د. محمد احمد عبود الجبوري و د. كمال نصر عبد النور الجامعة المستنصرية 1984 ص313.
- 2-الفيزياء النووية تأليف د. علي عطيه عبد الله و د. محمد باقر حسين البديري و د. سعد عبد العزيز العلي جامعة بغداد 1983 ص123 و 168 .
- 3- Walter P. ;"An Introduction to the IBM of the atomic nucleus " part 1, Walter P. (4-8) (1998).
- 4-Von Weizsacker C.F.;Z,Phys.,Vol.96,P. 431 (1935).
- 5-Meyerhof W.E.;"Elements of Nuclear physics", New York Mc Graw-Hill, Ed. Condon E.U university of Colorado, P.6-47 (1976).
- 6-Elsasier W.J.phys.vol.4.p549 (1935).
- 7-مقدمة في الفيزياء النووية والذرية تأليف هنري سيمات ترجمة عبد الجبار عبد الله وصلاح عزت تحسين لجنة الطاقة الذرية العراقية 1962 ص422 .
- 8- Bohr A. and Mottelson B.R.;Mat.Fys.Medd. Dan,Vid. Selsk, Vol. 27, P.16 (1953).
- 9-Feshbach I. and Iachello F.; Phys. Letters B, Vol.45. P.7(1973)
- 10- Arima A. and Iachello F.; Phys.Lett.B,Vol.53,p.309 (1974).
- 11- Arima A. and Iachello F.," The interacting boson model ,"Ed. Iachello F., Pub. Combridge university ,press Combridge , England , P . (1-133) (1987).
- 12- Pfeifer .W ,” An Introduction to the Interacting Boson Model of the Atomic Nucleus.”, Hochuiverag,(1998)
- 13- Iachello .F, Nucl. Phys. A, 369, 233 (1983).
- 14- Abdul Ameer .A "Investigations of Nuclear Energy Levels in Hg .ph.D Thesis, London University (1991).
- 15-Casten R.F., and Warner D.D, "The interaction boson approximation." Rev.modern.Phys.Vol.60,No.2,P.389 (1988).

- 16- Arima A., and Iachello F., Ann.Phys.(N.Y), Vol.123, P.468(1979).
- 17- Jabber . J , "Decay Schemes From the (n, γ) Reaction on ^{151}Eu and ^{181}Ta " , Ph. D Thesis , London University , (1989).
- 18-Mariscotti M A J , Gertude scharff - Goldhaber and Brian Buck,,phenomenological Analysis of Ground state bands in even-even Nuclei.phys. Rev, Vol.178 No.(4) p. 1864 - 1887.(1969).
- 19-Birbrair B.L.,phys.lett.vol.39p.489(1972)
- 20-Arima A.and Iachello F., Ann.Phys..(N.Y), Vl.123P.468(1979).
- 21-Deshalit A.and Talmi I,"Nuclear shell theory".Ed. Deshalit ,pub Oxford,Academic press.
- 22-Murray R.,Spiegel and larry J.stephens,"schaums out lines statistics , "Ed.Mc Graw Hill(1999).
- [22] Nuclear Data sheets (1999) for A=186