

## خصائص بعض النوى من ذوات العدد الكتلي $A=140$

عماد ممدوح أحمد

قسم الفيزياء/ كلية التربية للعلوم الصرفة/ جامعة الموصل

E-mail: Imad\_mamdouh07@yahoo.com

\*محمد علي أحمد

المديرية العامة للتربية في نينوى/ وزارة التربية

\*E-mail: mehmedali1999@yahoo.com

(أستلم 2019/ 4 /22 ؛ قُبل 2019/ 6 / 18)

### الملخص

تم في هذا البحث حساب حالات الطاقة للحزمة الارضية (GSB) لمتساويات الكتل  $^{140}\text{Xe}, ^{140}\text{Ba}, ^{140}\text{Ce}, ^{140}\text{Nd}, ^{140}\text{Sm}, ^{140}\text{Gd}$  باستخدام الأنموذجات بور وموتلسون (BM) و البوزونات الاتجاهية المتفاعلة (IVBM) والبوزونات المتفاعلة (IBM-1) ، في حين انه تم استخدام الأنموذجين (BM) و (IVBM) لحساب حالات الطاقة للحزمة سالبة التماثل (NPB) لمتساويات الكتل  $^{140}\text{Xe}, ^{140}\text{Ba}, ^{140}\text{Ce}, ^{140}\text{Nd}$ . وللتعرف على خصائص هذه النوى في الحزمة الأرضية تم رسم الانحناء الخلفي و E-GOS  $(E_{\gamma}/I)$  والنسبة بين طاقات الحالات الارضية المتتابعات  $(r(I+2)/I)$  والتأرجح في فروقات الطاقة بين الحزمتين الارضية وسالبة التماثل دالة لبرم الحالة  $(I)$ . أظهرت الرسومات ان جميع النوى قيد الدراسة لها خصائص معقدة.

الكلمات الدالة: أنموذج بور وموتلسون، أنموذج البوزونات الاتجاهية المتفاعلة، أنموذج البوزونات المتفاعلة، متساويات الكتل  $^{140}\text{Xe}, ^{140}\text{Ba}, ^{140}\text{Ce}, ^{140}\text{Nd}, ^{140}\text{Sm}, ^{140}\text{Gd}$ .

## Properties of some Nuclei with Mass Number $A=140$

Mohammed A. Ahmed

General Directorate of Education in Nineveh  
Ministry of Education

\*E-mail: mehmedali1999@yahoo.com

Imad M. Ahmed

Department of Physics  
College of Education for Pure Science  
University of Mosul

E-mail: Imad\_mamdouh07@yahoo.com

### ABSTRACT

The positive ground-state band (GSB) of  $^{140}\text{Xe}, ^{140}\text{Ba}, ^{140}\text{Ce}, ^{140}\text{Nd}, ^{140}\text{Sm}, ^{140}\text{Gd}$  isobars was calculated using the Bohr – Mottelson (BM) model, interacting vector boson model (IVBM), and interacting boson model (IBM-1), while the negative-parity band (NPB) of  $^{140}\text{Xe}, ^{140}\text{Ba}, ^{140}\text{Ce}, ^{140}\text{Nd}$  was calculated using the BM model and IVBM. To determine the properties of the ground-state band, the back-bending curve, the E-GOS curve  $(E_{\gamma}/I)$ , the ratio  $(r(I+2)/I)$  and the staggering have been plotted as a function of the spin  $(I)$ . The contour plots show that all nuclei under consideration have complicate properties.

**Keywords:** BM, IBM, IVBM,  $^{140}\text{Xe}, ^{140}\text{Ba}, ^{140}\text{Ce}, ^{140}\text{Nd}, ^{140}\text{Sm}, ^{140}\text{Gd}$  isobars.

المقدمة

أثار انتظام طيف حالات الطاقة الواطئة في النوى الزوجية-الزوجية المتوسطة والثقيلة تساؤلات كثيرة في الفيزياء النووية، ويعود هذا الانتظام الى الحركة الجماعية رباعية القطب لنكليونات النواة التي تتفاعل مع بعضها بطرائق معقدة. تمتاز النوى متساويات الكتل  $^{140}\text{Xe}, ^{140}\text{Ba}, ^{140}\text{Ce}, ^{140}\text{Nd}, ^{140}\text{Sm}, ^{140}\text{Gd}$  باقتراب عدد البروتونات أو عدد النيوترونات فيها أو كلاهما من العددين السحريين 50 و 82 مما يمنحها بعض خصائص النوى السحرية، وهذا يشكل صعوبة في دراستها. يتم تفسير العديد من النوى الزوجية-الزوجية باستخدام الأنموذج الهندسي ل بور وموتلسون (BM) (Gulshani, 2011), (Alimohammedi et al., 2017)، حيث ترتبط اهتزازات النواة (خاصة الأنماط رباعية القطب) بتذبذبات سطح النواة. في أنموذج BM تعتمد الطاقة الدورانية  $E$  للنوى متناظرة المحاور على  $I(I+1)$ ، حيث يمثل  $I$  برم الحالة (Bohr and Mottelson, 1975). تعد مواقع حالات طاقة التهيج الأولى  $E2_1^+$  والنسبة بين حالة التهيج الثانية الى حالة التهيج الأولى  $R_{4/2} = E4_1^+/E2_1^+$  من المؤشرات المهمة لتحديد خصائص النواة عن حالات التهيج المنخفضة، حيث تكون  $E2_1^+ \approx 100\text{keV}$  و  $3 < R_{4/2} \leq 3.3$  في النوى الدورانية، وتكون  $E2_1^+ \approx 300\text{keV}$  و  $2 < R_{4/2} \leq 2.4$  في النوى الاهتزازية (Krane, 1987)، لا يميز أنموذج البوزونات المتفاعلة (IBM-1) بين درجات الحرية لبوزونات البروتونات وبوزونات النيوترونات (Youshinaga et al., 1996). حددت مستويات الطاقة في أنموذج IBM-1 تحديد مستويات الطاقة بدلالة البوزونين  $s$  و  $d$  (Otsuka et al., 1978) حيث يمثل البوزونان  $s$  و  $d$  أزواج نكليونات التكافؤ في النواة يمتلك البوزون  $s$  زخما زاويا قيمته الصفر في حين يمتلك البوزون  $d$  زخما زاويا قيمته (2) (Khuder et al., 2017), (Iachello, 2001) حددت معاملات IBM-1 باستخدام فضاء البوزونات وعمل حسابات بنهج منظم. يعتمد هذا الأنموذج على الزمرة الوحيدة  $U(6)$ ، والتي ينتج عنها ثلاث تناظرات مختلفة،  $U(5)$  و  $O(6)$  و  $SU(3)$ ، تمثل النوى الاهتزازية و كما الناعمة و الدوار المشوه على التوالي (Iachello and Arima, 1987), (Arima and Iachello, 1976, 1978, 1979). تشكل هذه التناظرات الثلاثة مثلثا يعرف بمثلث كاستن بشكل رسما بيانيا لأطوار النواة (Warner, 2002). قدم جانيف وآخرون أنموذج آخر سمي بأنموذج البوزونات الاتجاهية المتفاعلة (IVBM)، أستخدم لوصف الحزمة الأرضية وحزمة التماثل السالب للنواة بأخذ بوزونات البروتونات وبوزونات النيوترونات كل على حدى (Ganev et al., 2004).

تتداخل الحزمتان GSB و NPB بحالتيهما المميزتين  $I^\pi = 0^+, 2^+, 4^+, \dots$  و  $I^\pi = 1^-, 3^-, 5^-, \dots$  على التوالي لتشكلا حزمة واحدة تسمى بالحزمة ثمانية القطب ب  $I^\pi = 0^+, 1^-, 2^+, 3^-, 4^+, \dots$  (Phillips et al., 1986), (Bonatsos et al., 2013)، وهذا التداخل بالحزمتين GSB و NPB يعد مثالا جيدا للتأرجح بالطاقات بين هاتين الحزمتين، وهذا التأرجح ناتج من حقيقة أن مستوي طاقة  $I$  يتبادل بموقعه مع مستوي طاقة ب  $I \pm 1$  (Bonatsos et al., 2013).

في هذا البحث، تم حساب حالات الطاقة في الحزمة الأرضية لمتساويات الكتل  $^{140}\text{Xe}, ^{140}\text{Ba}, ^{140}\text{Ce}, ^{140}\text{Nd}, ^{140}\text{Sm}, ^{140}\text{Gd}$  باستخدام الأنموذجات BM و IBM-1 و IVBM وقورنت النتائج مع القيم التجريبية. وأستخدم الأنموذجين BM و IVBM لحساب حالات الطاقة في الحزمة NPB ل  $^{140}\text{Xe}, ^{140}\text{Ba}, ^{140}\text{Ce}, ^{140}\text{Nd}$ .

### طرائق الحسابات

قدم الباحثون العديد من الطرائق لدراسة وتحديد خصائص النوى، ومن هذه الطرائق الانحناء الخلفي back-bending و منحني E-GOS و النسبة بين حالتين متتابعيتين في الحزمة الارضية والتأرجح بقيم الطاقات بين الحزمتين GSB و NPB.

تظهر بعض النوى تغيرا واضحا في عزم القصور الذاتي عند حالة معينة، مما يؤدي الى هبوط في الطاقة الدورانية لأشعة كما عند الانتقال من حالة  $I$  ببرم الى الحالة الأدنى ببرم  $I-2$ . وهذا يسبب انحناءً خلفيا في قيمة الطاقة  $\hbar\omega$  والتي تعطى بالعلاقة (Sorenson, 1973):

$$\hbar\omega = \frac{E_\gamma}{\sqrt{I(I+1)} - \sqrt{(I-2)(I-1)}} \quad (1)$$

و يعطى عزم القصور الذاتي عند تلك الحالة بـ (Wong, 1990):

$$2\vartheta/\hbar^2 = \frac{4I-2}{E(I) - E(I-2)} = \frac{4I-2}{E_\gamma} \quad (2)$$

أن رسم العلاقة بين طاقة كما مقسومة على البرم  $E_\gamma/I$  دالة للبرم  $I$  والمسماة بـ (E-GOS) من الطرائق المهمة في تحديد خصائص النواة عند حالات الطاقة المختلفة (Regan *et al.*, 2003)، وتعطى العلاقة بين طاقة كما مقسومة على البرم  $R = (E_\gamma/I)$  دالة للبرم  $I$  للتحديدات الثلاثة بـ (Bohr and Mottelson, 1953).

$$U(5): R = \frac{\hbar\omega}{I} \rightarrow 0 \text{ when } I \rightarrow \infty \quad (3)$$

$$O(6): R = \frac{E2_1^+}{4} \left(1 + \frac{2}{I}\right) \rightarrow \frac{E2_1^+}{4} \text{ when } I \rightarrow \infty \quad (4)$$

$$SU(3): R = \frac{\hbar^2}{2\vartheta} \left(4 - \frac{2}{I}\right) \rightarrow \frac{4\hbar^2}{2\vartheta} \text{ when } I \rightarrow \infty \quad (5)$$

تعد النسبة بين أي حالتين متتابعتين في الحزمة GSB مهمة في تحديد خصائص الحالة في النواة الزوجية-الزوجية وتعطى هذه النسبة بـ (Bonatsos and Skouras, 1991):

$$r\left(\frac{I+2}{I}\right) = \left(R\left(\frac{I+2}{I}\right)_{exp} - \frac{(I+2)}{I}\right) \times \frac{I(I+1)}{2(I+2)} \quad (6)$$

حيث أن  $R\left(\frac{I+2}{I}\right)_{exp}$  تمثل النسبة بين الحالتين المقاستين  $I$  و  $I+2$ .

تعطى علاقة أنماط التآرجح بين الحزمتين GSB و NPB بـ (Bonatsos, *et al.* 2000) و (Nabaa and Imad, 2019):

$$\Delta E_{1\gamma}(I) = \frac{1}{16} \left(6E_{1\gamma}(I) - 4E_{1\gamma}(I-1) - 4E_{1\gamma}(I+1) + E_{1\gamma}(I-2) + E_{1\gamma}(I+2)\right) \quad (7)$$

حيث أن  $E_{1,\gamma}(I) = E(I+1) - E(I)$ . أن جميع الحالات في الحزمة NPB ترتفع أو تنخفض بمقدار من الطاقة عن الحالة التابعة لها في الحزمة GSB. ويكلمات أخرى، فإن التآرجح  $\Delta I = 1$  يأخذ نمط التذبذب بين القيم الموجبة والسالبة وقد يصل هذا التذبذب الى الصفر، يتبعه تذبذب آخر.

قدمت العديد من الأنموذجات النووية لحساب حالات الطاقة عند مختلف الحالات ومن هذه الأنموذجات؛ أنموذج بور وموتلسون (BM) و أنموذج البوزونات المتفاعلة (IBM-1) و أنموذج البوزونات الاتجاهية المتفاعلة (IVBM). في أنموذج BM ترتبط العلاقة بين طاقة الحالة في الحزمتين GSB و NPB بـ  $I(I+1)$  في النوى المشوهة، وتعطى العلاقة بين طاقة الحالة وبرمها بـ (Bohr and Mottelson, 1975) و (Bonatsos et al., 2000):

$$E(I) = AI(I+1) + BI^2(I+1)^2 + CI^3(I+1)^3 \quad (8)$$

$$E(I) = E_0 + AI(I+1) + BI^2(I+1)^2 + CI^3(I+1)^3 \quad (9)$$

حيث تمثل  $E_0$  رأس حزمة الـ NPB، ويمكن تحديد قيم العوامل A و B و C بعمل موازنة بين القيم التجريبية لطاقة الحالة والمعادلتين (8) و (9).

في أنموذج البوزونات المتفاعلة، يعطى الهاملتون الخاص بتحديد حالات الطاقة المختلفة للنواة بـ (Scholten et al. 1978):

$$H = \sum_{i=1}^N \varepsilon_i + \sum_{i<j}^N V_{ij} \quad (10)$$

حيث تمثل  $\varepsilon_i$  الطاقة الذاتية للبوزون و  $V_{ij}$  يمثل شدة التفاعل بين البوزونين  $i$  و  $j$  ويعطى الهاملتون بالصيغة القطبية بـ

(Casten and Warner, 1998):

$$H = \varepsilon n_d + a_0 \hat{P} \cdot \hat{P} + a_1 \hat{L} \cdot \hat{L} + a_2 \hat{Q} \cdot \hat{Q} + a_3 \hat{T}_3 \cdot \hat{T}_3 + a_4 \hat{T}_4 \cdot \hat{T}_4 \quad (11)$$

حيث ان  $a_0 \hat{P} \cdot \hat{P}$  يمثلان مؤثرات وشدة ( وزن ) لتفاعل الزوج و  $a_1 \hat{L} \cdot \hat{L}$  يمثلان مؤثرات وشدة لتفاعل الزخم الزاوي و  $a_2 \hat{Q} \cdot \hat{Q}$  مؤثرات وشدة لتفاعل رباعي القطبية و  $a_3 \hat{T}_3 \cdot \hat{T}_3$  مؤثرات وشدة لتفاعل ثماني القطبية و  $a_4 \hat{T}_4 \cdot \hat{T}_4$  مؤثرات وشدة لتفاعل الستة عشر قطبا على التوالي . وتعطى قيم الطاقات المسموحة في التحديدات الثلاثة الاهتزازية U(5) والدورانية SU(3) وكاما-الناعمة O(6) بـ (Imad et al., 2018):

$$U(5): \quad E = \varepsilon n_d + K_1 n_d(n_d + 4) + K_4 v(v + 3) + K_5 L(L + 1) \quad (12)$$

$$SU(3): \quad E = K_2(\lambda^2 + \mu^2 + 3(\lambda + \mu) + \lambda\mu) + K_5 L(L + 1) \quad (13)$$

$$O(6): \quad E = K_3(N(N + 4) - \sigma(\sigma + 4)) + K_4 \tau(\tau + 3) + K_5 L(L + 1) \quad (14)$$

أن  $K1$  و  $K2$  و  $K3$  و  $K4$  و  $K5$  تمثل صيغ أخرى لشدة التفاعلات، حيث يكون المعلم  $\varepsilon$  هو السائد في التحديد ( $U(5)$  و  $K2$  هو المؤثر في التحديد ( $SU(3)$  و  $K4$  هو الغالب في التحديد ( $O(6)$ ، وجمع المعادلات (12) و (13) و (14) نحصل على الصيغة العامة التي تمثل النوى الانتقالية بين التحديدات الثلاثة السابقة للحزمة GSB و يمكن تمثيل هذه المعادلة بالصيغة الموافقة للصيغة القطبية بـ:

$$E = \varepsilon n_d + K_1 n_d (n_d + 4) + K_2 (\lambda^2 + \mu^2 + 3(\lambda + \mu) + \lambda\mu) + K_4 v(v + 3) + K_5 L(L + 1) \quad (15)$$

تعطي القيم المسموح بها لحالات الطاقة للحزمتين GSB و NPB في نموذج IVBM بـ (Ganev et al., 2004):

$$E(I) = \beta I(I + 1) + \gamma I \quad (16)$$

$$E(I) = \beta I(I + 1) + (\gamma + \eta)I + \zeta \quad (17)$$

المعلم  $\beta$  يمثل شدة تأثير الخصائص الدورانية و المعلم  $\gamma$  يمثل شدة تأثير الخصائص الاهتزازية في النواة، اما المعلمان  $\eta$  و  $\zeta$  فيمثلان إضافة مهمة لتحديد قيم حالات الطاقة في الحزمة NPB ويمكن تحديد قيم هذه المعلمات بعمل موازنة بين القيم التجريبية لحالات الطاقة والمعادلتين (16) و (17).

#### النتائج والمناقشة

تمتاز متساويات الكتل  $^{140}\text{Xe}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{140}\text{Ce}$ ,  $^{140}\text{Nd}$ ,  $^{140}\text{Sm}$ ,  $^{140}\text{Gd}$  باقتراب عدد البروتونات فيها من العدد السحري 50 واقتراب عدد النيوترونات فيها من العدد السحري 82. ففي النواة  $^{140}\text{Xe}$  يكون عدد البروتونات 54 وعدد النيوترونات 86، وتزداد عدد البروتونات وتقل عدد النيوترونات لمتساويات الكتل  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{140}\text{Ce}$ ,  $^{140}\text{Nd}$ ,  $^{140}\text{Sm}$ ,  $^{140}\text{Gd}$  مع ملاحظة ان عدد النيوترونات في النواة Ce يساوي العدد السحري 82 ويقترّب من هذا العدد في النواتين  $^{140}\text{Sm}$  و  $^{140}\text{Nd}$ . أن هذا الاقتراب من العدد السحري للبروتونات أو النيوترونات يسبب صعوبة في دراسة خصائص هذه النوى وحساب حالات الطاقة فيها، لكونها نوى سحرية أو قريبة من النوى السحرية .

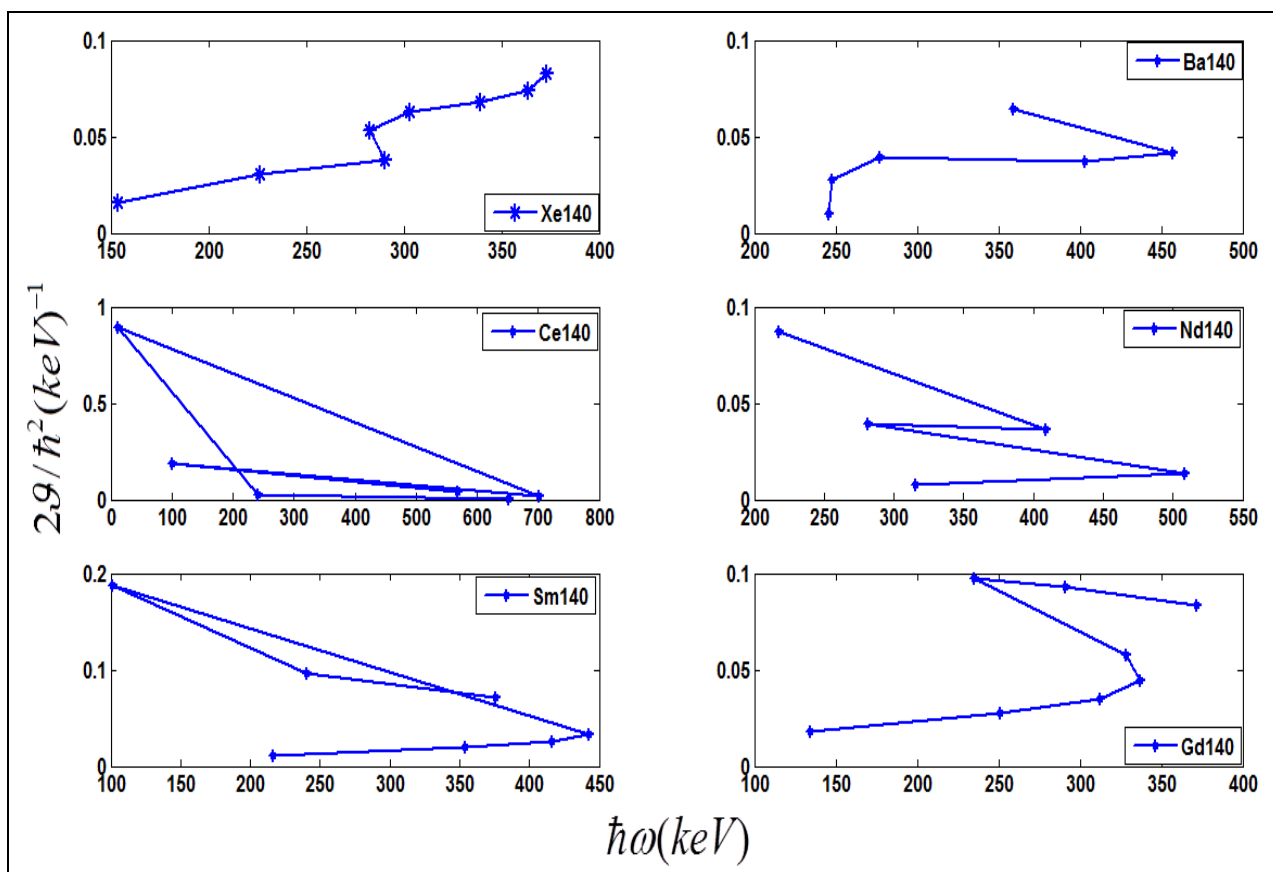
تشير مواقع حالات التهيج الاولى  $E2_1^+$  الى امتلاك النواتين  $^{140}\text{Xe}$  و  $^{140}\text{Gd}$  خصائص كاما-الناعمة وأمتلاك النوى  $^{140}\text{Ba}$  و  $^{140}\text{Nd}$  و  $^{140}\text{Sm}$  الخصائص الاهتزازية في حين نلاحظ ان النواة  $^{140}\text{Ce}$  تمتلك الخصائص السحرية (Boher and Motelson, 1975). أما النسبة بين حالات التهيج الثانية الى حالات التهيج الاولى  $R_{4/2} = E4_1^+ / E2_1^+$  فتشير الى الخصائص الاهتزازية للنواتين  $^{140}\text{Xe}$  و  $^{140}\text{Sm}$  والخصائص السحرية للنواتين  $^{140}\text{Ba}$  و  $^{140}\text{Ce}$  بينما تشير النسبة الى امتلاك النواتين  $^{140}\text{Nd}$  و  $^{140}\text{Gd}$  خصائص كاما-الناعمة (Bonatsos and Skoures, 1991). والجدول (1) يبين ذلك.

الجدول 1: القيم التجريبية لـ  $E2_1^+$  والنسبة للنوى  $R_{4/2} = E4_1^+ / E2_1^+$  للنوى قيد الدرس

Nucleus	$^{140}\text{Xe}$	$^{140}\text{Ba}$	$^{140}\text{Ce}$	$^{140}\text{Nd}$	$^{140}\text{Sm}$	$^{140}\text{Gd}$
(keV) $E2_1^+$	376.65	602.37	1596.23	773.73	530.68	328.6
$R_{4/2}$	2.21	1.87	1.3	2.43	2.34	2.54

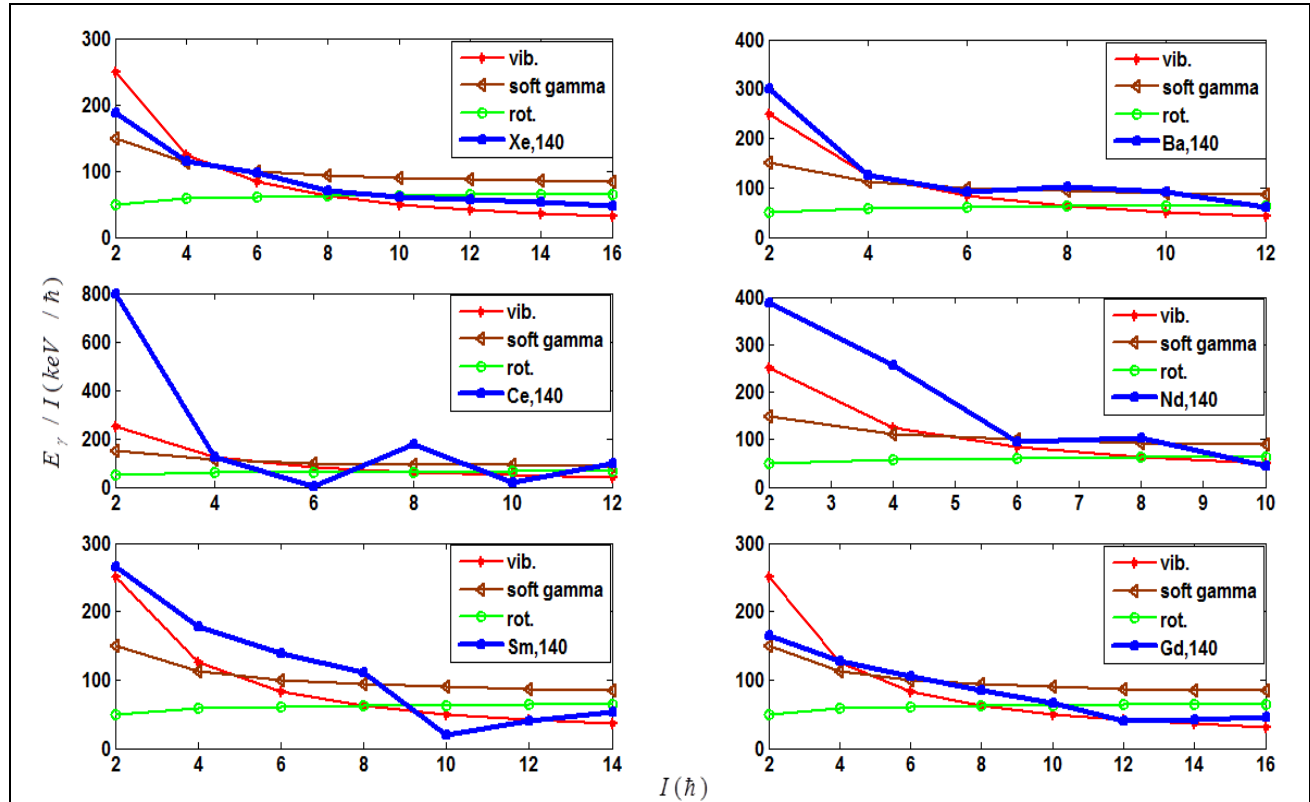
إن اختلاف تحديد الخصائص بالاعتماد على  $E2_1^+$  و  $R_{4/2} = E4_1^+/E2_1^+$  للنوى  $^{140}\text{Xe}$  و  $^{140}\text{Ba}$  و  $^{140}\text{Nd}$  يبين إن الاعتماد على  $E2_1^+$  و  $R_{4/2} = E4_1^+/E2_1^+$  لا يقدم طريقة ناجحة لتحديد خصائص جميع النوى.

إن رسم العلاقة بين عزم القصور الذاتي للحالة  $2g/\hbar^2$  وطاقة الفوتون المنبعث عند الانتقال من حالة معينة إلى الحالة التي تسبقها  $\hbar\omega$  تظهر احتمالية حدوث انحناء خلفي (back-bending) في طاقة الفوتون مما يشير إلى تغير في خصائص النواة. والشكل (1) يبين ظهور انحناء خلفي منتظم للنوى  $^{140}\text{Xe}$  و  $^{140}\text{Ba}$  و  $^{140}\text{Gd}$ ، تعد النواة  $^{140}\text{Xe}$  من النوى ذات خصائص كما الناعمة ولحدوث انحناء خلفي فيها دلالة على تغير خصائصها مما يظهر تأرجح في حالات الطاقة بين GSB و NPB ( والتأرجح يعني انه يحصل تذبذب في موقع الطاقات بين هاتين الحزمتين ) كما ان ظهور النسبة السالبة لـ  $r$  حالة طبيعية تظهر في النوى ذات الخصائص القريبة من الخصائص السحرية وحيث ان عدد البروتونات في هذه النواة ( 54 ) فلا غرابة في ظهور قيم سالبة لـ  $r$  ويشير هذا إلى تبدل خصائص هذه النوى، وظهر أنحنائين خلفيين للنواة  $^{140}\text{Nd}$  يدل على عدم انتظام كبير في خصائص هذه النواة عند حالات تهيجها المختلفة، أما النواتين  $^{140}\text{Ce}$  و  $^{140}\text{Sm}$  فظهر انحناء خلفي بطريقة غير مألوفة وهذا دليل على صعوبة دراسة هاتين النواتين.



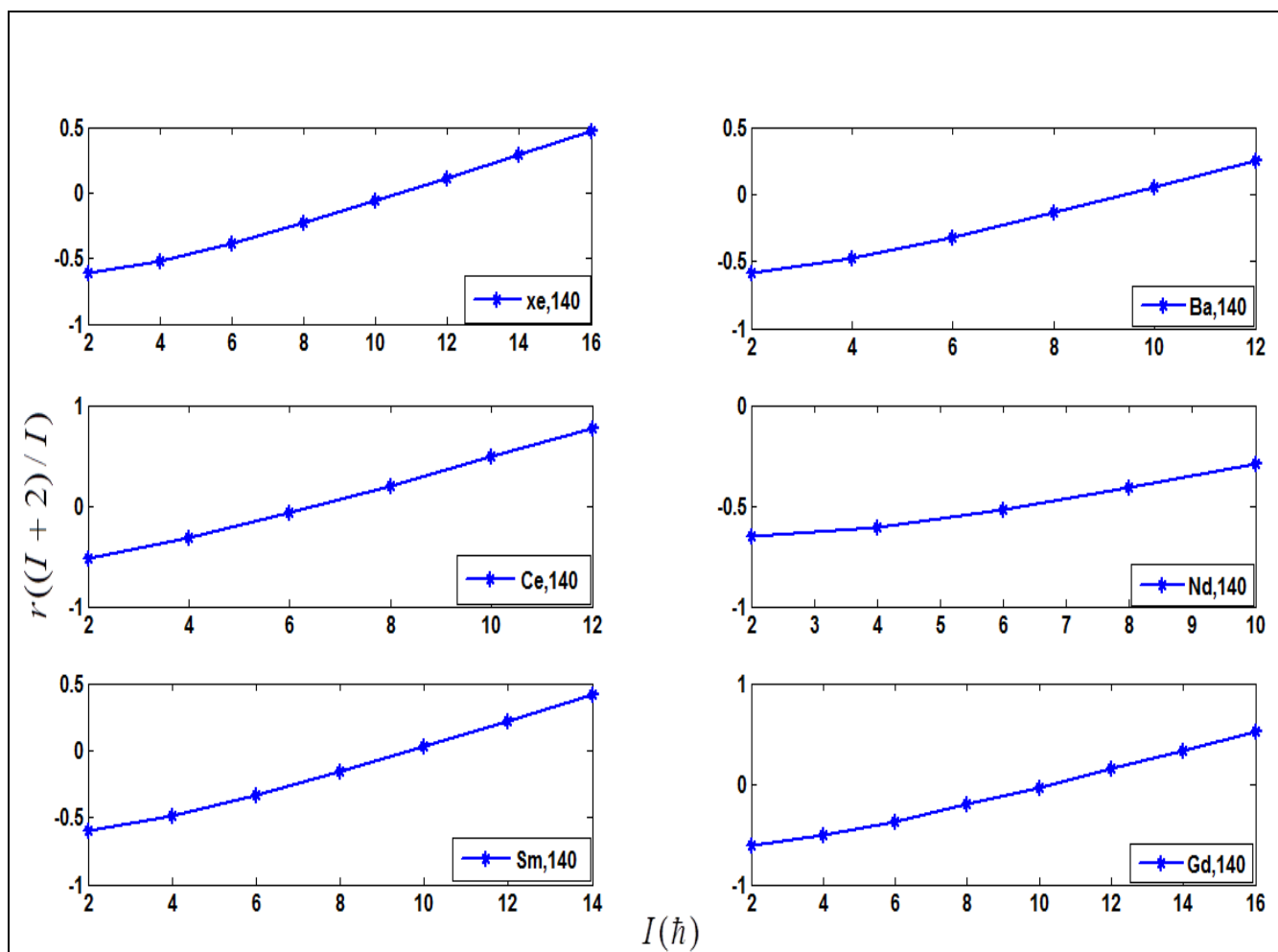
الشكل 1: توضح العلاقة بين عزم القصور الذاتي  $2g/\hbar^2$  والتردد الزاوي  $\hbar\omega$  للنوى قيد الدرس

يقدم منحنى (E-GOS) علامات مهمة عن خصائص النوى عند حالات التهيج المختلفة، وذلك برسم العلاقة بين طاقة كما مقسومة على البرم  $E_\gamma / I$  دالة للبرم  $I$ . فإذا هبط المنحني من أعلى قيمة له قريبا من  $250 \text{ keV}/\hbar$  الى ادنى قيمة له قريبا من الصفر فان للنواة خصائص اهتزازية، وإذا هبط المنحني ببطن من أعلى قيمة له عند  $150 \text{ keV}/\hbar$  الى  $\frac{E2_1^+}{4}$  فان للنواة خصائص كما-الناعمة، أما أذ صعد المنحني من أدنى قيمة له عند  $50 \text{ keV}/\hbar$  الى أعلى قيمة له عند  $\frac{4\hbar^2}{2\theta}$  فان للنواة خصائص دورانية. والشكل (2) يبين منحنى (E-GOS) للنوى متساوية الكتل  $^{140}\text{Xe}, ^{140}\text{Ba}, ^{140}\text{Ce}, ^{140}\text{Nd}, ^{140}\text{Sm}, ^{140}\text{Gd}$ ، حيث يتضح عدم ثبوت هذه النوى مع الخصائص القياسية لأي منحنى، تظهر جميع النوى خصائص أنتقالية بين تحديدين أو أكثر من التحددات الثلاثة U(5) و O(6) و SU(3). حيث يلاحظ ان منحنى E-GOS لـ  $^{140}\text{Xe}$  لا يظهر تغيرا جوهريا ولكن موقع النقطة الأولى عند  $200 \text{ keV}$  في حين ان موقع النقطة الأولى للنوى الاهتزازية عند  $250 \text{ keV}$  وللنوى كما - الناعمة عند  $150 \text{ keV}$  وهبوط المنحني يقع بين المنحنيين الخاصين بالتحديدين الاهتزازي وكما - الناعمة. اما منحنى E-GOS للنواة  $^{140}\text{Ba}$  فيبدأ من النقطة  $300 \text{ keV}$  التي تقع فوق التحديد الاهتزازي ثم يهبط بسرعة ويرتفع ببطء عند الحالة  $6^+$  ويعاود الهبوط بعد الحالة  $10^+$  وهذا يشير كذلك الى تأثر هذه النواة بالخصائص السحرية وينطبق نفس الخصائص على النوى  $^{140}\text{Ce}, ^{140}\text{Nd}, ^{140}\text{Sm}$ . اما بخصوص النواة  $^{140}\text{Gd}$  فواضح انها تقع قريبة من خصائص كما - الناعمة ثم يحصل ارتفاع في المنحني بعد الحالة  $12^+$  وهذا يشير الى الخصائص الانتقالية SU(3)-O(6) لهذه النواة .



الشكل 2: طاقة كما مقسومة على البرم كدالة للبرم بحسب E-GOS للنوى قيد الدرس

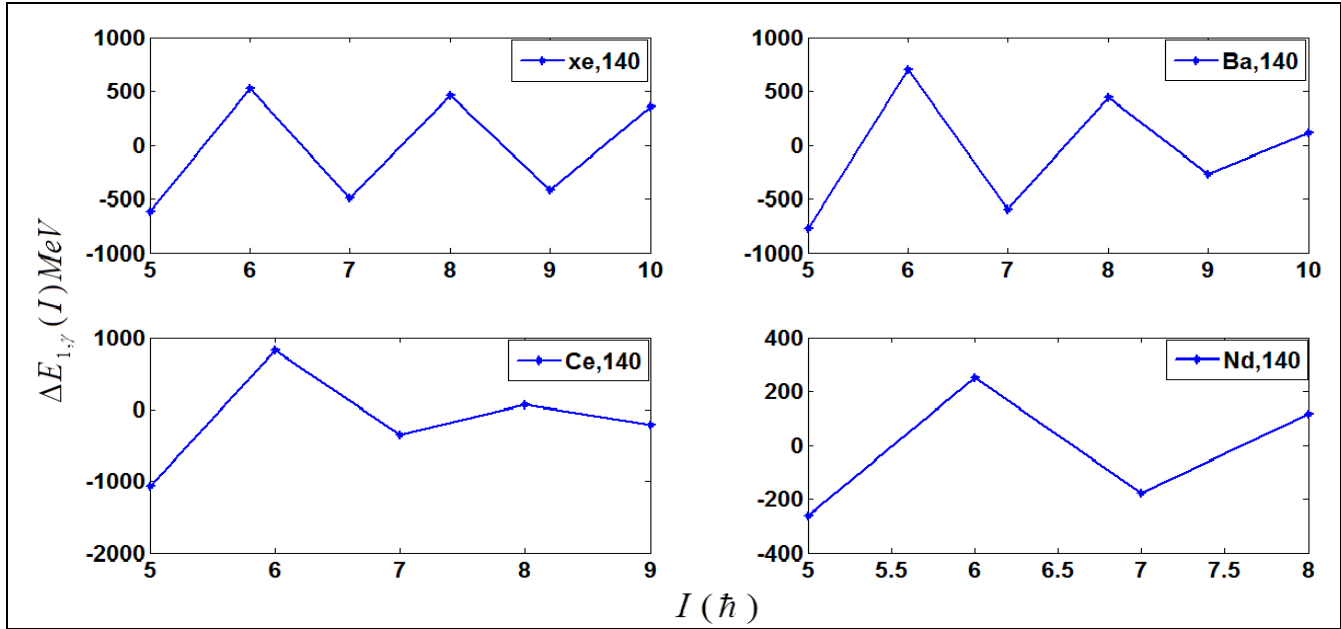
يبين الشكل (3) العلاقة بين النسبة  $r \left( \frac{I+2}{I} \right)$  و البرم  $I$ ، يقدم هذا الشكل قيم عددية لهذه النسبة. فإذا كانت هذه النسبة بين القيمتين  $0.1 \leq r \leq 0.35$  فإن للنواة خصائص أهتزازية، وإذا كانت النسبة بين القيمتين  $0.4 \leq r \leq 0.6$  فإن للنواة خصائص كاما-الناعمة، أما إذا كانت النسبة بين القيمتين  $0.6 \leq r \leq 1.0$  فإن للنواة خصائص دورانية (Bonatsos and Skouras, 1991) و (Khalaf and Ismail, 2013). حيث ان المصدر المشار اليه لم يحدد الخصائص للنوى ذات قيم  $r$  التي تقع بين 0.35 و 0.4 ، لذا نقترح ان تكون النواة عند هذه القيم ذات خصائص انتقالية بين التحديدين الاهتزازي وكاما-الناعمة، يبين الشكل (3) ظهور قيم سالبة لـ  $r$  مما يؤكد صعوبة تحديد خصائص معينة لكل نواة، ويعود هذا الى عدم انتظام مواقع حالات الطاقة لأي منها لتأثرهم بخصائص النوى السحرية، ان قيم  $r$  المبينة في الشكل (3) للنواة قيد الدراسة تاخذ قيما سالبة عند حالات الطاقة المنخفضة ثم تظهر قيم بين التحديدات SU(3) و O(6) و U(5) ان القيم السالبة لـ  $r$  يشير الى تأثير هذه النوى بالخصائص السحرية ولذلك تم استخدام العلاقة العامة في IBM-1 .



الشكل 3: العلاقة بين  $r((I+2)/I)$  كدالة لـ  $I$  للنوى قيد الدرس



يبين الشكل (4) التآرجح الحاصل بين حالات الطاقة للزميتين GSB و NPB في النوى  $^{140}\text{Xe}$  و  $^{140}\text{Ba}$  و  $^{140}\text{Ce}$  و  $^{140}\text{Nd}$ ، ولم يتم رسم ظاهرة التآرجح للنواتين  $^{140}\text{Sm}$  و  $^{140}\text{Gd}$  لعدم توفر عدد مناسب من حالات الحزمة NPB. أن التآرجح بين حالات الطاقة للزميتين GSB و NPB دليل على تداخل حالات الطاقة بينهما.



الشكل 4: تآرجح قيم فروقات الطاقة بين حالات التهيج المختلفة للنوى قيد الدرس

استخدمت الأنموذجات ( بور وموتلسون BM و البوزونات المتفاعلة IBM-1 و البوزونات الاتجاهية المتفاعلة IVBM) لحساب حالات الطاقة في الحزمة الارضية GSB للنوى  $^{140}\text{Xe}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{140}\text{Ce}$ ,  $^{140}\text{Nd}$ ,  $^{140}\text{Sm}$ ,  $^{140}\text{Gd}$ ، في حين تم استخدام الأنموذجين BM و IVBM لحساب حالات الطاقة في الحزمة NPB للنوى  $^{140}\text{Xe}$  و  $^{140}\text{Ba}$  و  $^{140}\text{Ce}$  و  $^{140}\text{Nd}$ ، لعدم توفر حالات كافية في هذه الحزمة للنواتين  $^{140}\text{Sm}$  و  $^{140}\text{Gd}$ . تم أعداد برامج باستخدام MATLAB 6.5، Imad and Al-jubbori, (2009)، مع إضافة برامج خاصة في البحث الحالي لعمل موازنة بين القيم التجريبية والمعادلات الخاصة لكل انموذج للزميتين GSB و NPB، وفي الملحق تم التطرق الى البرامج التي تم إعدادها للحسابات والأشكال، والجدولان (2) و(3) يبينان أفضل قيم للعوامل الخاصة بكل انموذج ولكل نواة. استخدمت قيم العوامل الخاصة لكل انموذج ولكل نواة لحساب حالات الطاقة في الحزمة GSB والجدولان (4-9) تبين النتائج المحسوبة لكل حالة ولكل نواة ومقارنتها بالقيم التجريبية (Nica, 2007) ونسبة الخطأ ( $\Delta\%$ ) لكل حالة حيث ان  $\Delta\% = (|(ex-ec)/ex|)*100$ . تبين هذه الجداول الخطأ الواضح في حساب حالي الطاقة  $E4_1^+$  و  $E2_1^+$  باستخدام الأنموذج BM، ويعد هذا بديهيا لان أنموذج BM خاص بالنوى الدورانية عدا النواتين  $^{140}\text{Sm}$  و  $^{140}\text{Gd}$  حيث يلاحظ اقتراب نتائج حسابات BM من IBM-1 و IVBM ويعود هذا الى تأثير هاتين النواتين بالخصائص الدورانية التي ينجح في حساباتها انموذج BM، في حين ان جميع النوى قيد الدراسة متأثرة بالخصائص السحرية والاهتزازية. تحسنت النتائج بشكل ملحوظ باستخدام الأنموذجين IBM-1 و IVBM مع أفضلية للأنموذج IBM-1. حيث ان النواة  $^{140}\text{Ce}$  نواة سحرية ويكون موقع حالة التهيج المنخفضة ذات قيم كبيرة جدا لذا لا ينطبق عليها اي من الأنموذجات المستخدمة في هذا البحث لذا نتوقع ان تكون الاخطاء كبيرة في

حسابات حالة التهيج المنخفضة ونقترح البحث في هذه المشكلة. استخدمت قيم العوامل الخاصة في الحزمة NPB لحساب حالات الطاقة للنوى  $^{140}\text{Xe}$  و  $^{140}\text{Ba}$  و  $^{140}\text{Ce}$  و  $^{140}\text{Nd}$ ، والجدول (10) و(11) و(12) و(13) يبين نتائج الحسابات مع مقارنتها بالقيم التجريبية (Nica, 2007) ويلاحظ التوافق الواضح بين القيم المحسوبة والقيم التجريبية.

**B- الجدول 2: قيم معاملات المعادلات المستخدمة بوحدة k eV في حسابات مستويات الطاقة للحزمة الأرضية للأنموذجات**

**M و IBM و IVBM للنوى قيد الدرس**

	B-M			IBM-1					IVBM	
	A	$B$ $10^{-1}$	$C$ $10^{-4}$	$\varepsilon$	$K_1$ $10^{-2}$	$k_2$	$k_4$	$k_5$	$\beta$	$\gamma$
$^{140}\text{Xe}$	37.5	1.48	2.7	324.1	11.1	-0.30	9.81	0.93	6.49	187.4
$^{140}\text{Ba}$	54.5	3.3	9	345.8	16.6	0.34	15.38	1.37	8.81	231.0
$^{140}\text{Ce}$	105.1	1.09	0.03	714.5	16.6	3.73	9.47	-9.3	-9.26	504.7
$^{140}\text{Nd}$	106.9	1.31	50	889.7	21.1	-0.23	9.77	-19	-10.11	477.6
$^{140}\text{Sm}$	69.37	4.96	12	737.5	11.4	-0.333	4.27	-1.01	-3.71	365.8
$^{140}\text{Gd}$	41.73	1.86	3.4	441.7	10.1	-0.22	7.26	-1.7	3.81	222.8

**الجدول 3: قيم معاملات المعادلات المستخدمة بوحدة keV في حساب مستويات طاقة حالات التماثل السالب (NPB)**

**بالأنموذجين B-M و IVBM للنوى قيد الدرس**

Nuclei	B-M				IVBM	
	$E_0$	A	$B$ $10^{-1}$	$C$ $10^{-4}$	$\eta$	$\zeta$ $10^3$
$^{140}\text{Xe}$	1513	6.95	1.01	-3.8	-183.6	0.950
$^{140}\text{Ba}$	1803	13.02	0.45	-1.9	-146.5	1.155
$^{140}\text{Ce}$	2464	26.9	-2.1	4.9	-151.9	1.942
$^{140}\text{Nd}$	1936	18.81	-0.24	0.59	-107.9	1.126

الجدول 4: قيم طاقة الحالات المختلفة التجريبية والمحسوبة للحزمة الارضية للنواة  $^{140}\text{Xe}$ 

$I_1^\pi$	$2_1^+$	$4^+$	$6^+$	$8^+$	$10^+$	$12^+$	$14^+$	$16^+$	
$E_{level (exp.)} (keV)$ (N.Nica,2007)	376.65	834.28	1416.78	1983.04	2589.9	3269.2	3997.3	4743.9	
$E_{cal.}$ (keV)	<b>B-M</b>	219.6	692.7	1333.9	2035	2699.9	3291.9	3893.5	4779.5
	% $\Delta$	41.7	16.9	5.9	2.6	4.2	0.7	2.6	0.75
	<b>IBM-1</b>	239.8	.6872	1396.5	1969.7	2592.5	3264.6	3986.3	4757.3
	% $\Delta$	2.25	4.59	1.43	0.67	0.09	0.13	0.27	0.28
	<b>IVBM</b>	413.7	879.2	1396.7	1966.1	2587.3	3260.5	3985.5	4762.5
% $\Delta$	9.8	5.4	1.4	0.86	0.1	0.26	0.29	-0.39	

الجدول 5: قيم طاقة الحالات المختلفة التجريبية والمحسوبة للحزمة الارضية للنواة  $^{140}\text{Ba}$ 

$I_1^\pi$	$2_1^+$	$4^+$	$6^+$	$8^+$	$10^+$	$12^+$	$14^+$	$16^+$	
$E_{level (exp.)} (keV)$ (N.Nica,2007)	602.37	1103.60	1660.3	2468.3	3383.8	4102.8			
$E_{cal.}$ (keV)	<b>B-M</b>	315.1	964.9	1776.1	2569	3279.5	4127.5		
	% $\Delta$	47.68	12.57	6.97	4.07	3.08	0.6		
	<b>IBM-1</b>	592	1103.3	1752.7	2477.3	3277	4115.9		
	% $\Delta$	12.17	0.02	5.5	0.36	3.15	1.19		
	<b>IVBM</b>	515	1110	1756.4	248.92	3279.8	4147.3		
% $\Delta$	14.5	0.28	5.78	0.6	3.07	1.08			

الجدول 6: قيم طاقة الحالات المختلفة التجريبية والمحسوبة للحزمة الأرضية للنواة  $^{140}\text{Ce}$ 

$I_1^\pi$	$2_1^+$	$4^+$	$6^+$	$8^+$	$10^+$	$12^+$	$14^+$	$16^+$
$E_{level (exp.)} (keV)$ (N.Nica,2007)	1596.23	2083.26	2107.86	3512.88	3715.38	4852.3		
$E_{cal.}$ (keV)	<b>B-M</b>	592.1	1696.4	2779.6	3382.1	3622.5	4885.5	
	% $\Delta$	62.9	18.5	31.8	3.7	2.4	0.68	
	<b>IBM-1</b>	1107.9	1864.5	2598.2	3309.1	3997.2	4662.3	
	% $\Delta$	30.6	10.5	23.26	5.8	7.5	3.9	
	<b>IVBM</b>	953.9	1833.7	2639.3	3370.7	4028	4611.1	
% $\Delta$	40.23	11.98	25.2	4.04	8.41	4.97		

الجدول 7: قيم طاقة الحالات المختلفة التجريبية والمحسوبة للحزمة الأرضية للنواة  $^{140}\text{Nd}$ 

$I_1^\pi$	$2_1^+$	$4^+$	$6^+$	$8^+$	$10^+$	$12^+$	$14^+$	$16^+$
$E_{level (exp.)} (keV)$ (N.Nica,2007)	773.73	1801.9	2366.2	3185.2	3621.2			
$E_{cal.}$ (keV)	<b>B-M</b>	595.8	1660.3	2606.5	3068.2	3641.5		
	% $\Delta$	22.9	7.86	10.15	3.67	0.56		
	<b>IBM-1</b>	877.9	1708.2	2448.4	3098.3	3658.1		
	% $\Delta$	13.46	5.19	3.47	2.72	1.01		
	<b>IVBM</b>	894.6	1708.2	2440.9	3092.7	3663.6		
% $\Delta$	15.61	5.19	3.15	2.9	1.17			

الجدول 8: قيم طاقة الحالات المختلفة التجريبية والمحسوبة للحزمة الارضية للنواة  $^{140}\text{Sm}$ 

$I_1^\pi$	$2_1^+$	$4^+$	$6^+$	$8^+$	$10^+$	$12^+$	$14^+$	$16^+$
$E_{level (exp.) (keV)}$ (N.Nica,2007)	530.68	1245.83	2081.91	2969.5	3172.1	3652.83	4404.1	
$E_{cal. (keV)}$	<b>B-M</b>	398.7	1190	2131.8	2894.5	3321.1	3556.9	4462
	% $\Delta$	24.87	3.75	2.39	2.52	4.41	2.62	0.496
	<b>IBM-1</b>	655.8	1371.3	2045.1	2677.4	3267.9	3816.8	4324.1
	% $\Delta$	23.57	10.06	1.76	9.83	3.02	4.48	1.81
	<b>IVBM</b>	709.4	1389.2	2039.2	2659.5	3250	3810.9	4342
% $\Delta$	33.68	11.50	2.05	10.44	2.45	4.32	1.41	

الجدول 9: قيم طاقة الحالات المختلفة التجريبية والمحسوبة للحزمة الارضية للنواة  $^{140}\text{Gd}$ 

$I_1^\pi$	$2_1^+$	$4^+$	$6^+$	$8^+$	$10^+$	$12^+$	$14^+$	$16^+$	
$E_{level (exp.) (keV)}$ (N.Nica,2007)	328.6	836.2	1464	2139.7	2796.8	3267.5	3849.3	4592.8	
$E_{cal. (keV)}$	<b>B-M</b>	243.8	763.2	1450.8	2171.3	2805.3	3309.4	3792.9	4609.8
	% $\Delta$	25.8	8.73	0.9	1.47	0.303	1.28	1.46	0.37
	<b>IBM-1</b>	409.9	942.5	1496.2	2071	2667.1	3284.4	3922.8	4582.4
	% $\Delta$	24.75	12.7	2.2	3.2	4.6	0.5	1.9	0.22
	<b>IVBM</b>	468.5	967.6	1497	2057	2647	3268	3920	4602
% $\Delta$	42.58	15.71	2.26	3.86	5.33	0.032	1.83	0.199	

الجدول 10: القيم التجريبية والمحسوبة لطاقة حالات التماثل السالب (NPB) بالأنموذجين B-M و IVBM للنواة  $^{140}\text{Xe}$ 

$I_1^\pi$	$3^-$	$5^-$	$7^-$	$9^-$	$11^-$	$13^-$	
$E_{level (exp.)} (keV)$ (N.Nica,2007)	1513.1	1771.5	2184.3	2735.9	3246.1	3811.7	
$E_{cal.} (keV)$	<b>B-M</b>	1610.3	1802.2	2151.8	2676.5	3304.1	3797.5
	% $\Delta$	6.4	1.7	1.4	2.1	1.78	0.3
	<b>IVBM</b>	1460	1819.5	2234.5	2705	3231	3812.6
	% $\Delta$	3.5	2.7	2.2	1.1	0.4	0.02

الجدول 11: القيم التجريبية والمحسوبة لطاقة حالات التماثل السالب (NPB) بالأنموذجين B-M و IVBM للنواة  $^{140}\text{Ba}$ 

$I_1^\pi$	$3^-$	$5^-$	$7^-$	$9^-$	$11^-$	$13^-$	
$E_{level (exp.)} (keV)$ (N.Nica,2007)	1802.9	2152.1	2722.9	3296.6	3769.5	4531.2	
$E_{cal.} (keV)$	<b>B-M</b>	1965.5	2229.7	2641.8	3203.5	3869.2	4506.4
	% $\Delta$	9	3.6	2.9	2.8	2.6	0.5
	<b>IVBM</b>	1801.4	2205.2	2679.5	3224.3	3839.5	4525.3
	% $\Delta$	0.08	2.4	1.59	2.19	1.85	0.13

الجدول 12: القيم التجريبية والمحسوبة لطاقة حالات التماثل السالب (NPB) بالأنموذجين B-M و IVBM للنواة  $^{140}\text{Ce}$ 

$I_1^\pi$	$3^-$	$5^-$	$7^-$	$9^-$	$11^-$	$13^-$	
$E_{level (exp.)} (keV)$ (N.Nica,2007)	2464.4	3255	3424.6	3493	.34905		
$E_{cal.} (keV)$	<b>B-M</b>	2758.4	3096.2	3398	3493	3490.5	
	% $\Delta$	11.9	4.8	0.7	1.3	0.3	
	<b>IVBM</b>	2410.7	3033.8	3582.7	4057.6	4458.3	
	% $\Delta$	2.1	6.8	-4.6	-16.1	9.1	

الجدول 13: القيم التجريبية والمحسوبة لطاقة حالات التماثل السالب (NPB) بالأنموذجين B-M و IVBM للنواة  $^{140}\text{Nd}$ 

$I_1^\pi$		$3^-$	$5^-$	$7^-$	$9^-$	$11^-$	$13^-$	$15^-$
$E_{level (exp.)} (keV)$		1936	2276.1	3062	3454.7	4323	4703.2	5907.7
$E_{cat.} (keV)$	<b>B-M</b>	2158.3	2479.8	2922.6	3472.8	4126.6	4902.1	5854
	% $\Delta$	11.4	8.9	4.5	0.5	4.5	4.2	0.9
	<b>IVBM</b>	1532.1	2378.2	3143.5	3827.9	4431.4	4954	5395.7
	% $\Delta$	11.4	4.4	2.6	10.8	2.5	5.3	8.6

### الاستنتاجات

أن معرفة عدد البروتونات والنيوترونات في النواة، وكذلك موقع حالي التهيج الأولى والثانية لا يحسمان خصائص كل نواة ولجميع حالات الطاقة للنوى  $^{140}\text{Xe}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{140}\text{Ce}$ ,  $^{140}\text{Nd}$ ,  $^{140}\text{Sm}$ ,  $^{140}\text{Gd}$ . ولأجل هذا تم استخدام بعض الطرائق ( الانحناء الخلفي و E-GOS والنسبة بين اي حالتين متتابعتين والتأرجح) للتعرف بشكل جيد على خصائص كل نواة. أظهرت الطرائق السابقة تأثير جميع النوى قيد الدراسة بالخصائص السحرية والاهتزازية. أظهرت نتائج حسابات حالات الطاقة عدم دقة حسابات الانموذج BM لكون هذا الانموذج خاص بالنوى الدورانية باستثناء النواتين  $^{140}\text{Sm}$  و  $^{140}\text{Gd}$  حيث يلاحظ اقتراب نتائج حسابات BM من IBM-1 و IVBM ويعود هذا الى تأثير هاتين النواتين بالخصائص الدورانية التي ينجح في حساباتها أنموذج BM. وظهر تحسن واضح في حسابات IBM-1 و IVBM لأحتواء هذين الأنموذجين على العوامل الخاصة بالتحديدين الاهتزازي والدوراني، مع أفضلية للأنموذج IBM-1 وذلك لتعدد العوامل الخاصة في معادلة هذا الانموذج.

### المصادر الأجنبية

- Alimohammadi, M.; Hasanabadi, H.; Zare, S. (2017). Investigation of bohr–mottelson hamiltonian in  $\gamma$ -rigid version with position dependent mass. *Nucl. Phys. A* **960**, 78.
- Arima, A.; Iachello, F. (1976). Interacting boson model of collective states I. The vibration limit. *Ann. Phys.*, **99**, 253.
- Arima, A.; Iachello, F. (1978). Interacting boson model of collective nuclear states II. *Ann. Phys.*, **111**, 201.
- Arima, A.; Iachello, F. (1979). Interacting boson model of collective nuclear states IV. *Ann. Phys. (N.Y)* **123**, 468.
- Bohr, A.; Mottelson, B.R. (1953). *Mat. Fys. MeddK, Dan. Vidensk. Selsk.* **27**(16).
- Bohr, A.; Mottelson, B.R. (1975). "Nuclear Structure". II Nuclear deformation ( Benjamin: New York)

- Bonatsos, D.; Georgoudis, P.E.; Minkov, N.; Petrellis, D.; Quesne, C. (2013). Bohr Hamiltonian with a deformation-dependent mass term for the Kratzer potential. *Phys. Rev. C*, **88**, 034316.
- Bonatsos, D.; Skouras, L.D. (1991). Successive energy ratio in medium and heavy mass nuclei as indicators of different kinds of collectivity. *Phys. Rev., C*, **43**, 952R.
- Bonatsos, D.C.; Daskaloyannis, S.B.; Drenska, N.; Karouss, N.; Minkov, P.; Raychev, P.; Roussev, R. P. (2000).  $\Delta I=1$  Staggering in octupole bands of light actinides best patterns. *Phys. Rev. C*, **62**, 024301.
- Casten, R.F.; Warner, D.D. (1998). The interaction approximation boson, *Rev. Mod. Phys.* **60**,389.
- Ganev, H.; Garistov, V.P.; Georgieva, A.I. (2004). Description of the ground and Octupole bands in the Symplectic Extension of the Interacting Vector Boson Model. *Phys. Rev. C*, **69**, 014305.
- Full Evaluation NDS **108**,1287. ([www.ensdf.com](http://www.ensdf.com)) (2007). N. Nica,
- Gulshani, P. (2011). Derivation of microscopic unified Bohr– Mottelson rotational model, *Nucl. Phys. A.*, **852**(1), 109-126.
- Iachello, F. (2001). Analytic description of critical point nuclei in a spherical-axially deformed Shape phase transition. *Phys. Rev. Lett.*, **87**, 052502.
- Iachello, F.; Arima, A. (1987). "The Interacting Bosons Model". Cambridge University Press, Cambridge, New York
- Imad, M.A. ; Al-jubbori, M. (2009). Computer new simulation of the interacting Boson model (IBM-1) to determine the properties of  $^{120-126}\text{Xe}$  even-even isotopes . *Raf. J. Sci.*, **20**(4).
- Imad, M.A.; Yaseen, H.; Mustafa, M. (2018). Description of *energy levels* for  $^{84,86,96,98}\text{Sr}$  isotopes. *Phys. Atomic Nuclei*, **81**, ( 6), 695–702,
- Khalaf, A.M.; Ismail, A.M. (2013). The nuclear shape phase transitions studied within the geometric collective model. *Prog. Phys.* **9**, 51–55.
- Khuder, H.H.; Hasan, A.K.; Sharrad, F.I. (2017). Calculation of energy levels, transition probabilities, and potential energy surfaces for  $^{120-126}\text{Xe}$  even-even isotopes. *Ukr. J. Phys.* **62** (2), 152-152.
- Krane, K.S. (1987). "Introductory Nuclear Physics". Holiday, D, pub. John Wiley, pp.142-145.
- Nabaa, N.A.; Imad, M.A. (2019). The structure properties of Even-Even  $^{216-226}\text{Ra}$  Isotopes". *Raf. J. Sci.*, **28**(1), 61-72,219.
- Nica, N.(2007).NCD 108, 1287.
- Otsuka, T.; Arima, A.; Iachello, F. (1978). Nucl physics. *Phys. Lett.* **76B**,139.
- Phillips, W.R.; Ahmad, I.; Emling, H.; Holzmann, R.; Janssens, R.V.F.; Khoo, T.L.; Drigert, M. W. (1986). Octupole deformation in neutron-rich barium isotopes. *Phys. Rev. Lett.* **57**, 3257.
- Regan, P.H.; Beausang, C.W.; Zamfir, R.F.; Casten, R.F.; Jineye, Z.; Yamamoto, A.D.; Caprio, M.A.; Gu. rdal, G.; Hecht A.A.; Hatter, C.; Kru.cken, R.; Lang Phys. down D.A Meyer; Ressler, J.J. (2003). Signature for vibration to rotational evolution along the yrast line. *Phys. Rev. Lett.*, **90**,1525021.
- Scholten, O.; Iachello, F.; Arima, A. (1978). Interacting boson model of collective nuclear states III. The transition from SU(5) to SU(3) . *Ann. Phys.* **115**, 325.
- Sorenson, R.A. (1973). Nuclear moment of inertia at high spin. *Rev. Mod. Phys.*, **45**,3, 353
- Warner, D. (2002). Nuclear physics. A triple point in nuclei. *Nature*, **420**, 614–615.
- Wong, S.M. (1990). "Introductory Nuclear physics". (prentice Hall International) United States. pp.453-356
- Youshinaga, M.; Mizusaki, T.; Arima, A.; Devi, Y.D. (1996 ). *Prog. Theor. Phys. Suppl.* **125**, 65.



**الملحق**

البرنامج المستخدم في هذه الدراسة كمثال لآحد النوى ( $^{140}\text{Xe}$ ):

**Yrast - Cod****CLC Back Bending Xe140**

```
% xe140
E2=376.65; E4=834.28; E6=1416.78; E8=1983.04; E10=2589.9; E12=3269.2; E14=3997.3;
E16=4743.9;
Eedd=[E2 E4-E2 E6-E4 E8-E6 E10-E8 E12-E10 E14-E12 E16-E14];
XX=2:2:16;
x1=sqrt(XX.*(XX+1));
x2=sqrt((XX-2).*(XX-1));
lhe=(4.*XX-2)./Eedd;
hwe=Eedd./(x1-x2);
disp([hwe' lhe'])
subplot(3,2,1),plot(hwe,lhe,'b-')
% xlabel('hw (keV)'), ylabel('2\vartheta/ h^2 (keV)^-1')
legend('Xe140')
hold on
```

**Clc E-GOS Xe140**

```
% Xe 140
ev=500;
I=2:2:16;
RV=[ev/2 ev/4 ev/6 ev/8 ev/10 ev/12 ev/14 ev/16];
RO=[150 450/4 600/6 750/8 900/10 1050/12 1200/14 1350/16];
RR=[100/2 233/4 (700-333)/6 (1200-700)/8 (1833-1200)/10 (2600-1833)/12 (3500-2600)/14 (4533-3500)/16];
R=[376.65/2 (834.28-376.65)/4 (1416.78-834.28)/6 (1983.04-1416.78)/8 (2589.9-1983.04)/10 (3269.2-2589.9)/12 (3997.3-3269.2)/14 (4743.9-3997.3)/16]
% subplot(2,2,3)
plot(I,RV,'*-',I,RO,'<-',I,RR,'o-',I,R,'s-')
legend('vib.','soft gamma','rot.','Xe,140')
% xlabel('I,h'),ylabel('E\gamma/I,keV/h')
```

**clc r xe140**

```
% Xe140
E=[376.65 834.28 1416.78 1983.04 2589.9 3269.2 3997.3 4743.9];
k=length(E);
I=2:2:16;
for i=1:k-1;
r(i)=E(i+1)./E(i);
end
```

```

z=(r(i)-((I+2)./I)).*I.*(I+1)./(2.*(I+2))
subplot(3,2,1)
plot(I,z,'-B')
legend('Xe,140')
% xlabel('I,h'),ylabel('r(I+2)/I')
% clc stag xe140
e2=376.65; e4=834.28; e6=1416.78; e8=1983.04;e10=2589.9;e12=3269.2;e14=3997.3;e16=4743.9;
e3=1513.1;e5=1771.5; e7=2184.3; e9=2735.9; e11=3246.1; e13=3811.7;
de5=(1/16)*(6*(e6-e5)-4*(e5-e4)-4*(e7-e6)+(e4-e3)+(e8-e7))
de6=1/16*(6*(e7-e6)-4*(e6-e5)-4*(e8-e7)+(e5-e4)+(e9-e8))
de7=1/16*(6*(e8-e7)-4*(e7-e6)-4*(e9-e8)+(e6-e5)+(e10-e9))
de8=1/16*(6*(e9-e8)-4*(e8-e7)-4*(e10-e9)+(e7-e6)+(e11-e10))
de9=1/16*(6*(e10-e9)-4*(e9-e8)-4*(e11-e10)+(e8-e7)+(e12-e11))
de10=1/16*(6*(e11-e10)-4*(e10-e9)-4*(e12-e11)+(e9-e8)+(e13-e12))
d2=[de5 de6 de7 de8 de9 de10];
subplot(2,2,1)
i=5:10;plot(i,d2,'*b-')
legend('xe,140')
% xlabel('I (h)'),ylabel('\DeltaE_1_,_\gamma(I) (MeV)')

```