



متوفرة على الموقع: <http://www.basra-science-journal.org>



ISSN -1817 -2695

## التركيب النووي لأنوية الرصاص $^{186-194}\text{Pb}$

زينب نجم احمد و فالح حسين خضير

قسم الفيزياء - كلية التربية للعلوم الصرفة- جامعة البصرة- البصرة -العراق

الاستلام 4-2-2014 ، القبول 5-3-2014

### الخلاصة

تمت دراسة المستويات ذات التماثل الموجب لنظائر الرصاص  $^{186-194}\text{Pb}$  الزوجية - الزوجية باستخدام نموذج البوزونات المتفاعلة الأول IBM-1 مع عدد البوزونات  $N=N_0$  وأنموذج البوزونات المتفاعلة مع مزج التشكيلات IBM with Configurations mixing (IBM-CM) لدراسة تأثير تهيج جسيم فجوة . تم توسيع فضاء الأنموذج بناءً على إضافة حدود  $(2p-2h)$  لهاملتوني النظام. تم التركيز على سلوك أول مستوي متهيج وطاقته في نظائر الرصاص التي تمتلك النتائج التالي بالطاقة  $(0_1^+, 0_2^+, 2_1^+, \dots)$  إذ بينت الحسابات أن  $J = 0_2^+$  هو مستوي فضاء  $N_0+2$ . حسبت احتمالية الانتقال رباعي القطب الكهربائي المختزلة لتلك النظائر لمعرفة طبيعة الانتقالات بين مستويات الطاقة . قورنت نتائج مستويات الطاقة النظرية المستحصلة من أنموذج IBM و أنموذج IBM-CM مع النتائج العملية . من خلال التوافق الجيد تبين قدرة الانموذج على وصف التركيب النووي لهذه الانوية.

**الكلمات المفتاحية :** أنموذج البوزونات المتفاعلة الأول، أنموذج البوزونات المتفاعلة مع مزج التشكيلات ، نظائر الرصاص.

### 1- المقدمة :

كأول مستوي متهيج وتغير طاقة المستوي  $2_1^+$  بين نظائر المنطقة الواحدة ، تم دراسة طيف الطاقة واحتمالية الانتقال رباعي القطب الكهربائي لمجموعة من الانوية ضمن الفضاء الموسع لأنموذج وقورنت النتائج المستحصلة مع القيم العملية [7-9]. في هذا البحث سوف نقوم بوصف مستويات الطاقة واحتمالية الانتقال رباعي القطب بين مستويات نظائر الرصاص من العدد الكتلي  $A=186$  إلى  $A=194$

برهنت التجارب العملية وجود تغير في شكل النواة وبشكل خاص في الأنوية التي يكون فيها عدد البروتونات أو عدد النيوترونات مساوياً أو قريباً من القشرة المغلقة [1,2]. تم إعادة ترتيب فضاء بعض النماذج النووية وكان أنموذج البوزونات المتفاعلة أحدها ، فالدراسة التي قام بها Duval [3,4] بتوسيع فضاء الأنموذج ليشمل مزج التشكيلات Configurations mixing. أخذ موقع نظائر الرصاص دوراً بارزاً في مثل هذه الدراسات [5,6]. من أجل وصف النتائج العملية وخاصة موقع المستوي  $0_2^+$

من عدد من البوزونات حسب النواة قيد الدراسة ونتيجة نوعين من البوزونات (d-boson , s-boson) . أن هذا الأتمودج لا يأخذ بنظر الاعتبار درجة الحرية للبوزون وانما يتعامل مع العدد الكلي للبوزونات الذي يحسب إلى اقرب قشرة مغلقة والتي يكون فيها عدد النيوكلونات مساويا لأحد الأعداد السحرية .

باستخدام فضاء أنمودج البوزونات المتفاعلة الاعتيادي (N=N<sub>0</sub>) والفضاء (N=N<sub>0</sub>+2) .

في أول صيغة لهذا الأتمودج وابسطها وأكثرها تطبيقاً هي صيغة أنمودج البوزونات المتفاعلة الأول (IBM-) الذي نجح في تفسير معظم الخواص النووية إذ يعطي قيم نظرية مقارنة للقيم العملية ، نجح في دراسة مستويات الطاقة السفلى للأنوية ذات الأعداد الكتلية المتوسطة والثقيلة.

في أبسط صيغة يفرض إنَّ المستويات التجميعية السفلى في الأنوية الزوجية - الزوجية يمكن وصفها بنظام يتكون

## 2- أنمودج البوزونات المتفاعلة

إنَّ حساب مستويات الطاقة للأنوية المتوسطة والثقيلة هو أحد نتائج حسابات IBM، وفق الهاملتوني الاتي<sup>[10]</sup>:

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

إذ إنَّ (ε<sub>i</sub>) هي طاقة البوزونات الذاتية، (V<sub>ij</sub>) هي طاقة التفاعل بين البوزنين (i,j).

من أجل دراسة خواص أية نواة زوجية - زوجية وجد إنَّه من المناسب استخدام مؤثرات الخلق (d<sup>+</sup>, s<sup>+</sup>) والفناء

لذلك فإنَّ صيغة المؤثر الهاملتون لأنمودج IBM-1 يمكن كتابته بالمعادلة التالية :

$$\begin{aligned} H = & \epsilon_d n_d + \epsilon_s n_s + \frac{1}{2} \sum_{L=0,2,4} (2L+1)^{\frac{1}{2}} C_L \{ [d^+ \times d^+]^{(L)} \times [\bar{d} \times \bar{d}]^{(L)} \}^{(0)} \\ & + \frac{v_2}{\sqrt{2}} \{ [d^+ \times d^+]^{(2)} \times [\bar{d} \times \hat{s}]^{(2)} + [d^+ \times s^+]^{(2)} \times [\bar{d} \times \bar{d}]^{(2)} \}^{(0)} \\ & + \frac{v_0}{2} \{ [d^+ \times d^+]^{(0)} \times [\hat{s} \times \hat{s}]^{(0)} \times [s^+ \times s^+]^{(0)} \times [\bar{d} \times \bar{d}]^{(0)} \}^{(0)} \\ & + u_2 \{ [d^+ \times s^+]^{(2)} \times [\bar{d} \times \hat{s}]^{(2)} \}^{(0)} \\ & + 1/2 u_0 \{ [s^+ \times s^+]^{(0)} \times [\hat{s} \times \hat{s}]^{(0)} \}^{(0)} \end{aligned} \quad (3)$$

يتغير من نواة إلى أخرى . و بما أن العدد الكلي للبوزونات N ثابتا، يمكن التعبير عن الهاملتوني الأكثر شيوعاً لأنمودج IBM-1 بطريقة التوسيع المتعدد لتفاعلات بوزون - بوزون (boson-boson) المختلفة بالمعادلة<sup>[11]</sup>:

يتألف الهاملتوني من حدين لجسيم واحد ، وسبع حدود لجسيمين

طاقات البوزونات من نوع s,d على التوالي (single-boson) و (C<sub>L</sub> , V<sub>L</sub> , U<sub>L</sub>) وصف لتفاعلات ثنائيات البوزون تعتمد قيمها على عدد البوزونات N ومن ثم

$$H = \epsilon_d \hat{n}_d + a_0 \hat{P} \cdot \hat{P} + a_1 \hat{Q} \cdot \hat{Q} + a_3 \hat{T} \cdot \hat{T} + a_4 \hat{T} \cdot \hat{T} \dots (4)$$

تم تعريف المؤثرات بالمعادلات التالية

$$\epsilon = \epsilon_d - \epsilon_p \quad (5)$$

$$\hat{n}_d = (\hat{d}^+ \cdot \hat{d})$$

$$\hat{P}^+ = \frac{1}{2} (\hat{d}^+ \cdot \hat{d} - \hat{s}^+ \cdot \hat{s}),$$

$$\hat{P} = (\hat{P}^+)^+ = \frac{1}{2} (\hat{d} \cdot \hat{d} - \hat{s} \cdot \hat{s}) \quad (6)$$

$$\hat{L} = \sqrt{10} [\hat{d}^+ \times \hat{d}]^{(1)}$$

$$\hat{Q} = [\hat{d}^+ \times \hat{s} + \hat{s}^+ \times \hat{d}]^{(2)} + x [\hat{d}^+ \times \hat{d}]^{(2)}$$

$$\hat{T}_3 = [\hat{d}^+ \times \hat{d}]^{(3)}$$

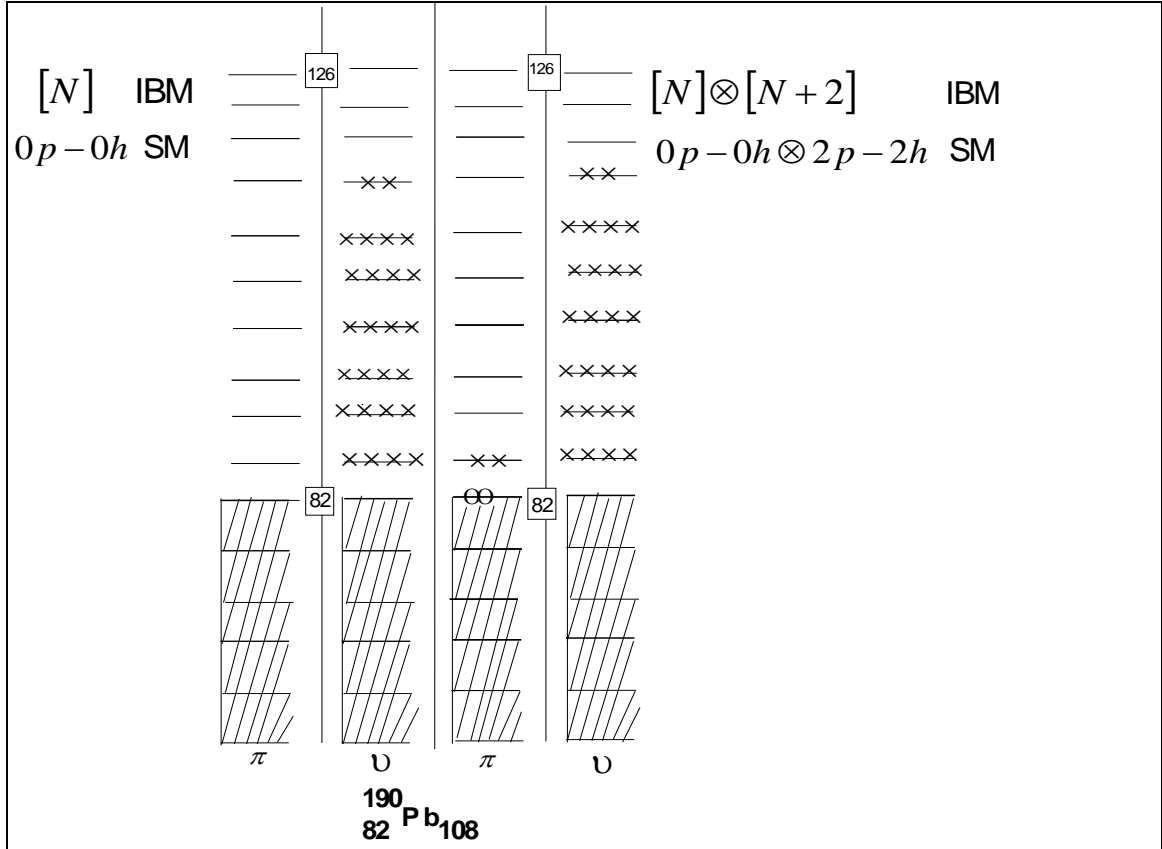
$$\hat{T}_4 = [\hat{d}^+ \times \hat{d}]^{(4)}$$

البوزونات الناتجة من تهيج عدد من جسيم - فجوة (np- ) طبقاً لأنموذج القشرة<sup>[12,13]</sup>. طبقاً لأسس تناظر البرم<sup>[16,17]</sup> فقد تم اعتماد عدم التميز بين بوزون جسيم وبوزون فجوة وعليه فإن فضاء أنموذج القشرة (0p-) (0h, 2p-2h, ..... ) سوف يكون مطبقاً إلى .....  $[N] \otimes [N+2] \otimes \dots$  في فضاء البوزون الميبين بالشكل (1) وكالاتي :

المعادلات تمثل مؤثر العدد الكلي للبوزونات نوع (d-boson) , مؤثر تفاعل الازدواج بين البوزونات , مؤثر الزخم الزاوي للبوزون , مؤثر رباعي القطب الكهربائي مؤثر التفاعلات من الرتبة<sup>(2)</sup> على التوالي . والمعاملات  $(a_4, a_3, a_2, a_1, a_0)$  تمثل شدة تفاعلات الازدواج والزمخ الزواي ورباعي القطب وتفاعلات الرتبة<sup>(2)</sup> على التوالي .

إن أنموذج البوزونات المتفاعلة مع مزج التشكيلات IBM with Configurations mixing (IBM-CM) يسمح لمعالجات ناتجة من مزج عدد من التشكيلات عن

$$|(sd)^{N_0}\rangle \otimes |(sd)^{N_0+2}\rangle \otimes \dots (7)$$



الشكل 1: يوضح ترتيب مواقع البروتونات والنيوترونات في نواة  $^{190}\text{Pb}$  حسب أنموذج القشرة قبل وبعد تهيج  $2p-2h$ .

الربط الناتجة من الأزواج [14]. وقد تم اعتماد قيم  $\Delta$  المحسوبة في المصدرين [12,13].

إن الحد الثالث  $\hat{V}_m$  يمثل المزج بين مختلف التشكيلات التي قيدت في هذا البحث (0p-0h) و (2p-2h) ويكتب في أبسط صيغة بالشكل [14,15]:

$$V_{mix} = \alpha_1(s^+s^+ + ss) + \beta_1(d^+d^+ + \bar{d}\bar{d}) \dots \dots (10)$$

إن إيجاد طيف الطاقة لنظام الرصاص في كلا الفضائين يعتمد على قيمة المعاملات لحدود الهاملتوني. ولإظهار تأثير حد  $\hat{V}_{mix}$  تم اعتماد قيمة معاملات جزء الهاملتوني  $H_{sd2p2h}$  نفسها التي حددت في  $H_{sdN_0}$  ومن ثم سوف تظهر مستويات (2p-2h) ومدى تأثير طيف الطاقة بحد المزج. الجدول (1) يوضح قيم المعاملات المختارة.

إن هذا التوسع الجديد يتطلب إضافة حدود هاملتوني النظام الاعتيادي ويصبح لغاية 2p-2h بالشكل التالي [12,13]:

$$H = \hat{H}_{sdN_0} + \hat{H}_{sd2p2h} + \hat{V}_{mix} \dots \dots (8)$$

الحد  $\hat{H}_{sdN_0}$  هو نفس موثر الانموذج الاعتيادي المعروف بالمعادلة (4) بالفضاء  $N=N_0$ . أما  $H_{2p2h}$  فيعرف بالعلاقة التالية:

$$H_{sd2p2h} = H_{sdN_0+2} + \Delta_{2p2h} \dots \dots (9)$$

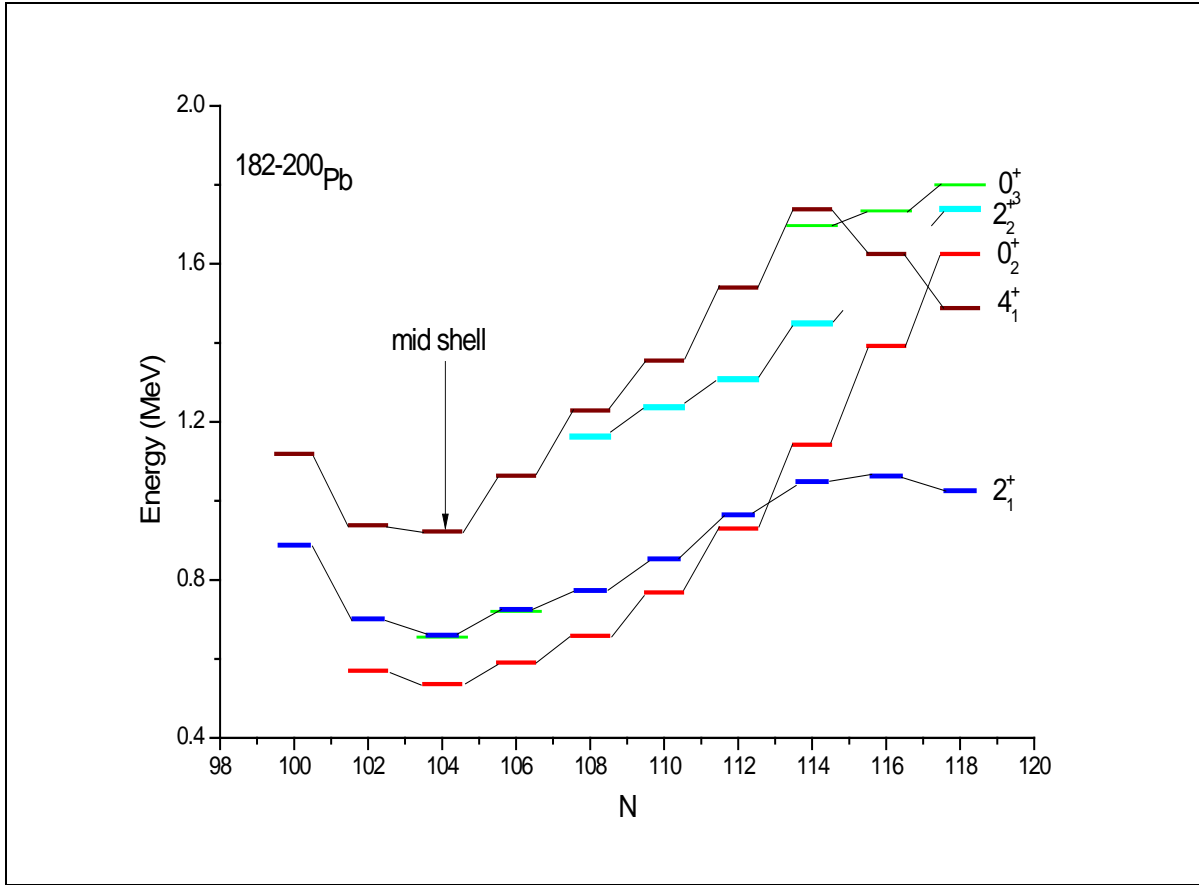
إذ  $H_{sd2p2h}$  يتضمن أنواع التفاعلات نفسها الموجودة في الهاملتوني الاعتيادي المعروف بالمعادلة (4) ولكن للفضاء  $N=N_0+2$ , أما الحد  $\Delta_{2p2h}$  يمثل مقدار الطاقة اللازمة لخلق تهيج 2p-2h مطروحا منها طاقة

### 3- النتائج والمناقشة

#### 3-1 طيف الطاقة :

لقد درست طاقة تهيج المستويات لخمسة نظائر من عنصر الرصاص من العدد الكتلي ( $A=186$ ) إلى ( $A=194$ ) إذ أعداد البوزونات لهذه النظائر تتغير من (11←7) , للحصول على نتائج نظرية مقارنة إلى النتائج العملية تم اختيار قيم مختلفة لمعاملات الهاملتوني بحيث أن هذه القيم تختلف من نظير إلى آخر وخاصة قيمة ( $\epsilon$ ) التي تزداد بزيادة عدد النيوترونات لتأخذ أعلى قيمة عند النظير ( $^{194}\text{Pb}$ ) وتساوي (0.90) MeV ويلاحظ ان هذه المعاملات تعتمد على عدد البوزون - نيوترون . الأشكال من (3) إلى (7) تبين مقارنة بين القيم العملية والقيم المحسوبة بواسطة IBM أو IBM-CM إذ نرى التطابق والانسجام بينهما وهذا دليل على صحة وملاءمة القيم المختارة لعوامل الهاملتوني .

من المعروف أن نظائر الرصاص لها  $Z=82$  وبالتالي عدد البروتونات عدد سحري , يصبح عدد بوزون - بروتون مساويا إلى الصفر , أما عدد النيوترونات فيزداد من نظير إلى آخر ويقترب من العدد السحري للنظير  $^{208}\text{Pb}$  . الشكل رقم (2) يوضح قيم مستويات الطاقة ( $0_2^+, 2_1^+, 0_3^+, 2_2^+, 4_1^+$ ) لنظائر الرصاص  $A=182-200$  ومنها يبين سلوك المستوي  $0_2^+$  كأول مستوي متهيج في النظائر  $^{186-194}\text{Pb}$  كذلك يوضح تأثير متوسط القشرتين  $N=82$  و  $N=126$  وهي  $N=104$  التي عندها يكون أقل قيمة لطاقة المستوي أعلاه والزيادة الحاصلة في طاقة هذه المستويات عند زيادة عدد النيوترونات .



الشكل 2: يوضح سلوك مستويات الطاقة لنظائر الرصاص  $A=182-200$ .



1.59 للنظير  $^{194}\text{Pb}$  . هذه النتائج توضح بان هذه الانوية تكون قريبة من الشكل الكروي أي التحديد الاهتزازي  $U(5)$  (vibration limit) حسب تحديدات IBM-1 .

يمكن التأكد من وقوع نظائر الرصاص  $^{186-194}\text{Pb}$  الزوجية - الزوجية ضمن التحديد الاهتزازي  $U(5)$  من حساب نسبة الطاقة  $\left(\frac{E_{4_1^+}}{E_{2_1^+}}\right)$  لكل نظير ونجدها عمليا تساوي 1.393 للنظير  $^{186}\text{Pb}$  , 1.47 للنظير  $^{188}\text{Pb}$  , 1.58 للنظير  $^{190}\text{Pb}$  , 1.587 للنظير  $^{192}\text{Pb}$  ,

الجدول 1 يوضح قيم المعاملات المستخدمة لنظائر الرصاص لأنموذج البوزونات المتفاعلة IBM

A	N	N+2	$E_d$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\beta_1$	$\Delta$
186	11	13	0.66	0.001	-0.070	0.0215	0.03	2.129
188	10	12	0.72	0.001	-0.080	0.0250	0.03	1.923
190	9	11	0.80	0.001	-0.080	0.0315	0.03	1.816
192	8	10	0.82	0.001	-0.080	0.0405	0.03	1.744
194	7	9	0.90	0.001	-0.090	0.0550	0.03	1.800

قريبة وتساوي عمليا  $(1.307, 1.337)\text{MeV}$  و  $(1.446, 1.510)\text{MeV}$  لنتائج IBM و  $(1.510, 1.574)\text{MeV}$  لنتائج IBM-CM على التوالي ، والحالة نفسها بالنسبة لمستويات الطاقة  $(5_1^+, 6_2^+)$  . من الشكل نلاحظ قدرة الأنموذج على تحديد المستويات ذات الزخم العالي وبالتالي يمكن الاستفادة من حسابات الأنموذج في تحديد المستويات التي لم تؤثر عمليا .

**النظير  $^{188}\text{Pb}$** : يمتلك هذا النظير 106 نيوترونا تشغل المدارات بين القشريتين  $N=126$  و  $N=82$  ومن ثم هي اقرب إلى القشرة المغلقة  $N=126$  وعليه يكون عدد البوزونات 10 يساوي نيوترون بوزون . أن طاقة المستوي  $2_1^+$  تساوي  $0.672\text{ MeV}$  فضلا عن عدد البروتونات  $Z=82$  فمن المتوقع أن تمتلك الشكل الكروي الاهتزازي في حالتها الأرضية مع وجود تأثير لعدد النيوترونات الواقع بالقرب من منتصف القشريتين المغلقتين . تم اختيار معاملات  $U(5)$  في فضاء  $N=N_0$  وكما مبين بالجدول (1) . الشكل (4) يوضح طيف الطاقة لهذا النظير

كما هو الحال في النظير  $^{186}\text{Pb}$  فإن  $0_2^+$  هو كذلك أول مستوي متهيج في  $^{186}\text{Pb}$  بطاقة

**النظير  $^{186}\text{Pb}$** : يمتلك هذا النظير (104) نيوترونا وبالتالي يمتلك فضاء بوزونات عددها  $N=11$  . الشكل (3) يوضح قيم مستويات الطاقة العملية<sup>[7]</sup> ونتائج IBM و IBM-CM . نلاحظ من الشكل طاقة المستوي  $2_1^+$  أقل من القيمة العملية لكلا الأنموذجين وتساوي  $(0.589, 0.568, 0.662)\text{MeV}$  لنتائج IBM-CM , IBMEXP , على التوالي .

للمستوي  $0_2^+$  طاقة عملية مقدارها  $0.563\text{ MeV}$  , تم تحديد طاقة مقاربة للقيمة العربية في نتائج IBM-CM بينما هنالك نسبة خطأ مقدارها 50% في نتائج IBM ومن ثم هو مستوي فضاء  $N_0+2$  . أما مستويات  $(6_2^+, 4_2^+)$  ، نلاحظ تقارب نتائج IBM-CM , IBM مع القيم العملية اذا تساوي  $1.738, 1.337\text{ MeV}$  ,  $(1.996, 1.510)$  ,  $(1.905, 1.574)\text{MeV}$  لنتائج IBM و IBM-CM على التوالي . اما طاقة المستوي  $2_3^+$  فتساوي  $(1.083, 1.708, 1.449)$  IBM , IBM-CM , EXP لنتائج على التوالي من النتائج التي تظهر قدرة IBM على تحديد طاقة هذا المستوي ومن ثم هو مستوي فضاء  $N=N_0$  وانخفاض طاقته في نتائج IBM-CM يؤكد ذلك . نلاحظ من الشكل ان طاقة المستويات  $(3_1^+, 4_2^+)$  تكون

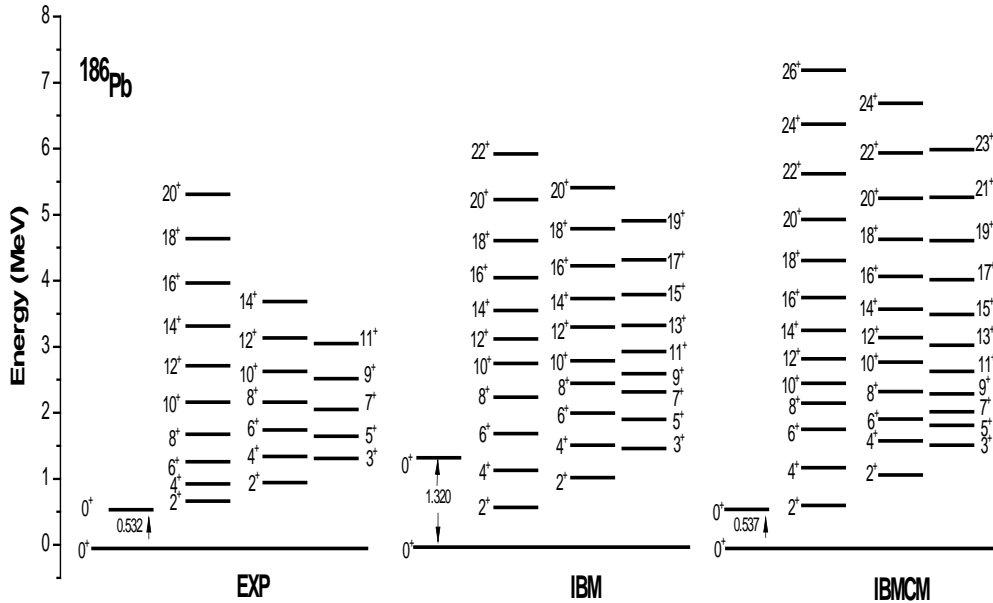
هي 33% بينما كانت نسبة الخطأ 3% لنتائج IBM-CM .

القيمة العملية لطاقة المستوي  $4_1^+$  هي (0.966)MeV اما حسابات IBM فقد حددت قيمة الطاقة لهذا المستوي بشكل جيد إذ كانت طاقته (1.22)MeV . بينما المستوي  $4_2^+$  هو مستوي فضاء  $N=N_0+2$  إذ كانت طاقته تساوي (1.694,1.620,1.13)MeV لنتائج EXP و IBM و IBM-CM على التوالي. نلاحظ إن الأنموذج بصيغته لم يستطيع تحديد طاقة هذا المستوي ومن ثم يمكن أن يكون مستوي في الفضاء  $N=N_0+4$  .

تبين النتائج أعلاه وجود تغير في شكل النواة فعند الحالة الأرضية تأخذ الشكل الكروي، الشكل المفلطح عند الحالة  $0_2^+$  وتأخذ شكل الحالة الأرضية عند رأس الحزمة  $2_1^+$  من الشكل نلاحظ أن مستويات (  $8_1^+, 6_1^+, 4_1^+$  ) هي مستويات الحزمة Yrast-band .

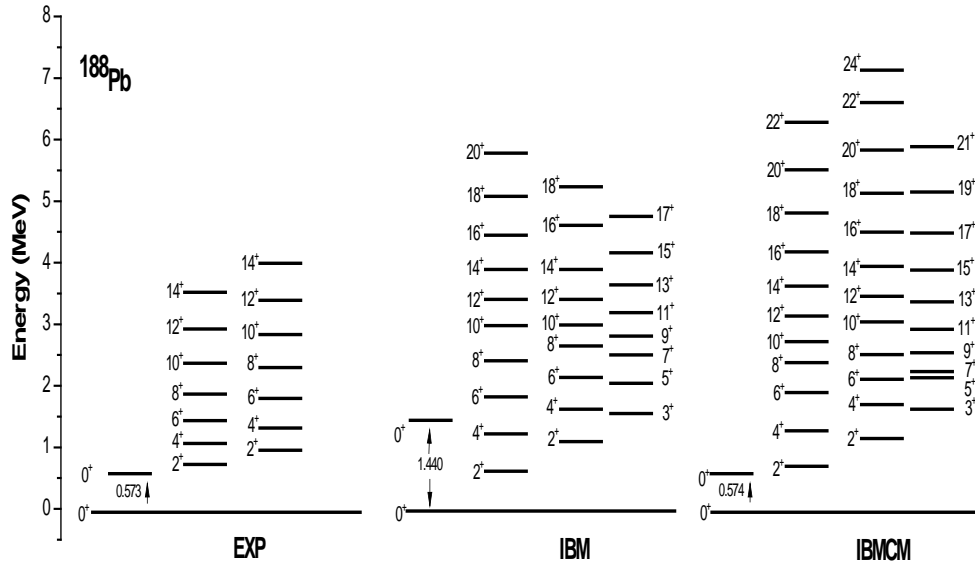
(0.573,1.440,0.574)MeV حسب نتائج IBM-CM،EXP،IBM. منها نلاحظ أن هذا المستوي هو مستوي الفضاء  $N=N_0+2$  إذ إن فرق الطاقة بين نتائج EXP,IBM هي (0.868) MeV فيما نلاحظ انخفاضاً في طاقة المستوي  $0_3^+$  بمقدار (0.244) MeV في نتائج IBM-CM لتقترب أكثر من النتائج العملية مع ذلك يمكن القول أن هذا المستوي خارج الفضائين  $N=N_0$  و  $N=N_0+2$  وربما ينتج من تهيج  $4p-4h$  أي فضاء  $N=N_0+4$  .

فيما يخص المستويات  $J=2^+$  السفلى فان  $2_1^+$  هو مستوي فضاء  $N=N_0$  مع وجود نسبة مزج مع الفضاء  $N=N_0+2$  . المستوي  $2_2^+$  بطاقتي (1.144,1.094,0.953)MeV لنتائج EXP و IBM و IBM-CM على التوالي ، المستوي  $2_3^+$  هو مستوي فضاء  $N=N_0+2$  حيث نلاحظ نسبة خطأ حسابات IBM



الشكل 3 مقارنة لقيم طاقة تهيج مستويات النظير  $^{186}\text{Pb}$  النظرية والعملية

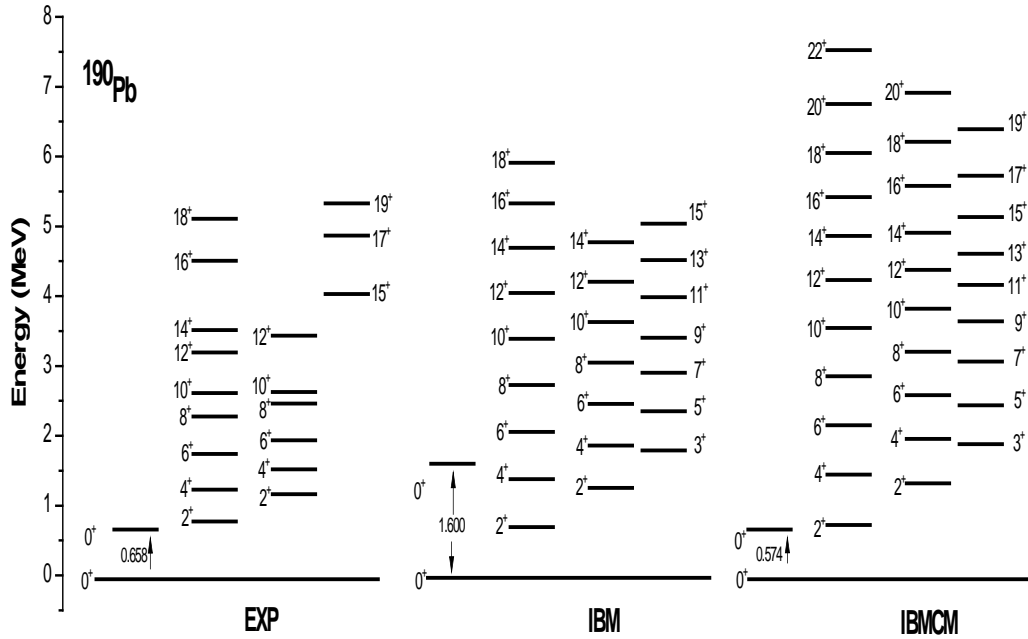




الشكل 4 مقارنة لقيم طاقة تهيج مستويات النظير  $^{188}\text{Pb}$  النظرية والعملية

النظير  $^{190}\text{Pb}$  يحتوي هذا النظير على 82 بروتوناً و 108 نيوتروناً ومن ثم يكون عدد البوزون بروتون مساوياً للصفر وإن عدد البوزون نيوترون 9 وهي جميعها بوزون فجوة لجميع النظائر. الشكل (5) يبين مقارنة بين القيمة العملية ونتائج IBM أو IBM-CM. نلاحظ من الشكلين ان طاقة المستوي  $2_1^+$  تساوي MeV (0.694, ) نلاحظ من القيمة العملية ونتائج IBM (0.7740, 0.725) أما المستوي  $4_1^+$  تكون نتائج IBM-CM على التوالي . أما المستوي  $4_1^+$  تكون نتائج IBM-CM على التوالي (1.380, 1.229) نلاحظ أن طاقة مستويات الحالة الأرضية لنتائج IBM أقل مما يقابلها من مستويات طاقة لنتائج IBM عند ( $J \geq 10_1^+$ ) على سبيل المثال طاقة المستوي  $10_1^+$  أقل بمقدار MeV (0.243) لنتائج IBM عن ما يقابلها لنتائج IBM-CM. أما طاقة أول مستوي منهيج  $0_2^+$  تساوي MeV (0.660, 1.600, )

نتائج EXP, IBM, IBM-CM على التوالي , نلاحظ القيمة العملية قريبة جدا مع نتائج IBM-CM بينما هنالك نسبة خطأ مقدارها 60% في نتائج IBM لهذا المستوي ينتمي لفضاء تشكيل البوزونات  $N=N_0+2$ . ومن الشكل نلاحظ ازدياد في طاقة المستوي  $3_1^+$  بالنسبة لنتائج IBM-CM عن نتائج IBM التي تساوي MeV (1.788, 1.882), والعكس بالنسبة للمستوي  $4_3^+$  حيث يحصل انخفاض بالطاقة والتي تساوي MeV (2.260, 1.977) على التوالي. أما فيما يخص طاقة مستويات الحزمة الثانية يلاحظ من الشكل ابتعاد طاقات المستويات المحسوبة نظريا عند ( $J \geq 6_2^+$ ) عن القيم العملية مثلا طاقة المستوي  $12_2^+$  التي تساوي MeV (4.375, 4.204, 3.435) للقيمة العملية و نتائج IBM و IBM-CM على التوالي.



الشكل 5 : مقارنة لقيم طاقة تهيج مستويات النظير  $^{190}\text{Pb}$  النظرية والعملية

القيمة العملية ونتائج IBM و IBM-CM على التوالي. أما فيمما يخص طاقة المستوى  $0_3^+$  تساوي (1.721, 1.740) MeV لنتائج IBM و IBM-CM على التوالي، أما طاقة المستويات  $(5_1^+, 3_1^+)$  تساوي (2.430, 1.848) MeV لنتائج IBM و IBM-CM (2.786, 2.178) MeV لنتائج IBM-CM على التوالي .

**النظير  $^{194}\text{Pb}$ :** يمتلك هذا النظير 112 نيوترونا، ومن ثم يكون العدد الكلي للبوزونات 7. الشكل (7) يبين مقارنة بين النتائج العملية والنظرية حيث يلاحظ من الشكل أن طاقة المستوى  $2_1^+$  تساوي (0.778, 0.965) MeV القيمة العملية ونتائج IBM و IBM-CM (0.780, 0.965) MeV القيمة العملية ونتائج IBM و IBM-CM على التوالي . يلاحظ الانسجام والتطابق في قيمة طاقة المستوى  $4_1^+$  والتي تساوي (1.552, 1.44, 1.54) MeV على التوالي ومنها نلاحظ قدرة الحسابات في تحديد طاقة المستوى

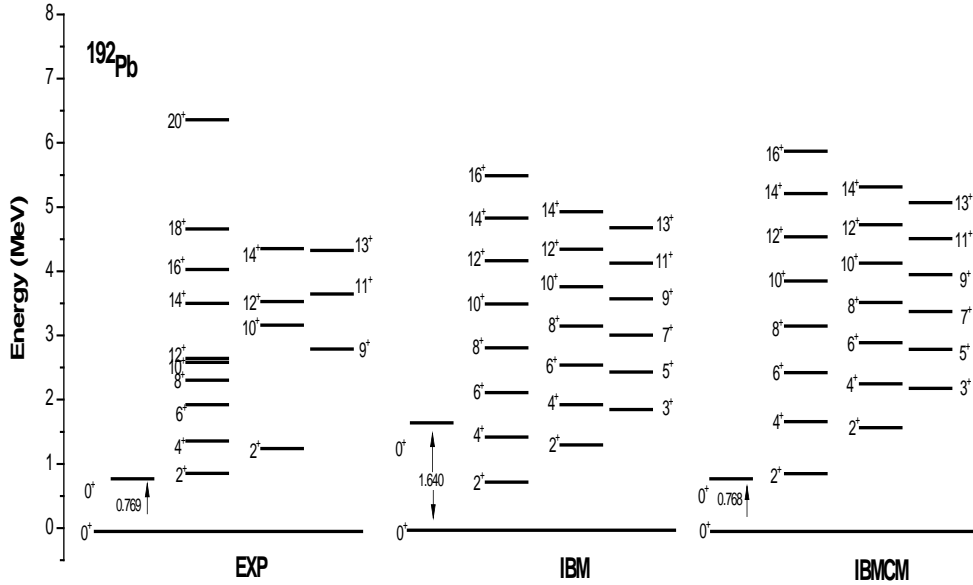
**النظير  $^{192}\text{Pb}$ :** يمتلك هذا النظير 110 نيوترونا ومن ثم يمتلك 8 بوزون-نيوترون . نلاحظ من الشكل (6) الذي يبين المقارنة بين قيم الطاقات العملية والنظرية. أن طاقة المستوى  $2_1^+$  لنتائج IBM-CM تكون أكثر قربا للقيمة العملية والتي تساوي (0.848, 0.714, 0.853) MeV للقيمة العملية والعملية و نتائج IBM و IBM-CM على التوالي . يلاحظ في مستويات الحزمة الأرضية الزيادة الكبيرة في

قيم طاقات المستويات عند  $(J \geq 18)$  لنتائج IBM-CM إذ كانت طاقة المستويات  $(20_1^+, 18_1^+)$  تساوي (10.854, 9.691) MeV على التوالي. كما هو الحال بالنسبة لباقي النظائر، أول مستوي متهيج هو  $0_2^+$  ويلاحظ حصول تطابق في نتائج IBM-CM مع القيم العملية بطاقة والتي تساوي (0.768) MeV وهذا يبين أن هذا المستوي هو مستوي الفضاء  $N=N_0+2$ . فيما يخص طاقة المستوى  $2_2^+$  تكون القيمة العملية قريبة الى نتائج IBM والتي تساوي (1.571, 1.214, 1.237) MeV

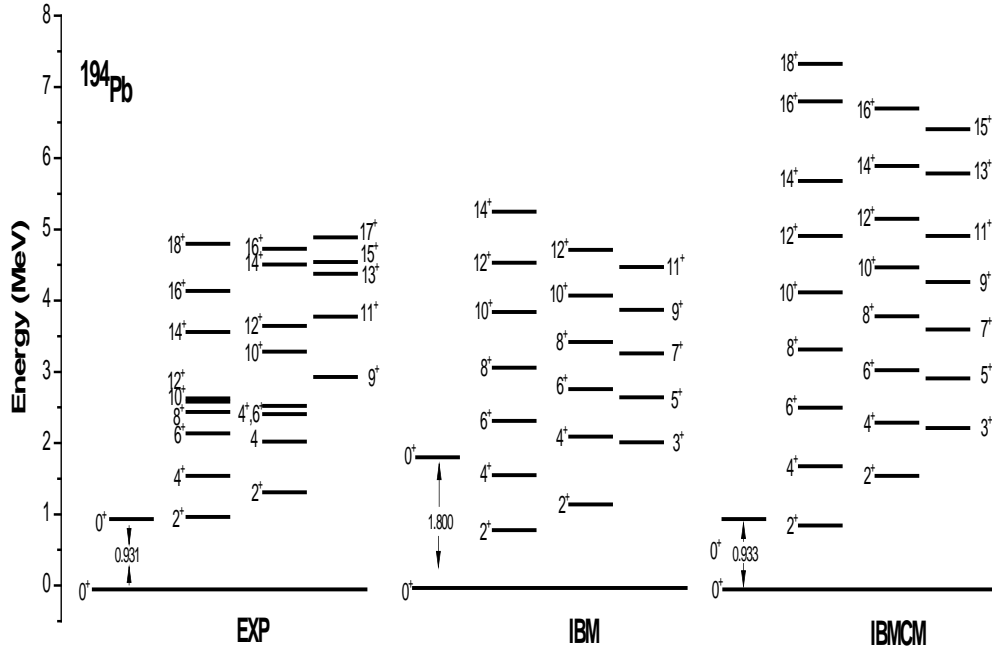
أولاً: تقارب المستويين  $10^+$  و  $12^+$  بالطاقة وزيادة فرق الطاقة بين المستويين  $12^+$  و  $14^+$  في الحزم الأولى .  
 ثانياً: تقترب طاقة المستويات في الحزمة الأولى والحزم لنفس قيمة الزخم الزاوي الكلي وخاصة عند النظر  $^{190}\text{Pb}$  وخير مثال على ذلك المستوي  $10^+$   
 ثالثاً : فرق الطاقة بين النتائج النظرية والقيم العملية للمستويات  $18^+, 16^+, 14^+$  في هذين النظيرين يوحي بظهور حالات غير نظامية في سلوك المستويات وبدل على ظهور ظاهرة الانحناء الخلفي في هذه النظائر .  
 رابعاً: الظهور المتسلسل للمستويات  $(6^+, 5^+, 4^+, 3^+, 2^+)$  للنظائر المتوفرة فيها قيم عملية في نتائج الأنموذج لغاية ظهور موقع المستوي  $12^+$  مبرهنأ ظهور ظاهرة الانحناء الخلفي .

أما بالنسبة لمستوي  $0^+_{2}$  نلاحظ أن قيمة IBM-CM أكثر تقارباً وانسجاماً مع القيمة العملية وهذا يدل على أن هذا المستوي هو مستوي الفضاء  $N=N_0+2$  وبطاقة تساوي  $(0.950, 1.800, 0.930)\text{MeV}$  على التوالي . أما بالنسبة للطاقة للمستوي  $2^+_{2}$  تساوي  $(1.454, 1.308, 1.342)\text{MeV}$  للقيم العملية والنظرية على التوالي .  
 أما المستوي  $4^+_{2}$  فهناك انخفاض بالطاقة بمقدار  $(0.328)\text{MeV}$  في نتائج IBM-CM، وكذلك طاقة المستوي  $6^+_{2}$  تنخفض بمقدار  $(0.21)\text{MeV}$  في نتائج IBM-CM .

بالرجوع إلى طيف الطاقة للنظائر قيد الدراسة وبالتحديد للمستويات بعد  $8^+$  نلاحظ بداية اختلاف في سلوك مواقع المستويات ذات الزخم الزاوية العالية في نظائر  $^{192-194}\text{Pb}$



الشكل 6 مقارنة لقيم طاقة تهيج مستويات النظير  $^{192}\text{Pb}$  النظرية والعملية



الشكل 7 مقارنة لقيم طاقة تهيج مستويات النظير  $^{194}\text{Pb}$  النظرية والعملية

### 3-2 طاقات تهيج مستويات نظائر الرصاص كدالة لعدد النيوترونات :

تزداد كلما تقترب من القشرة المغلقة إذ تأخذ قيمة عالية جدا تساوي  $(2.498)\text{MeV}$  لأن نموذج IBM-CM وقيمة مستوي الطاقة تساوي  $(2.316)\text{MeV}$  لنتائج IBM و  $(2.136)$  للقيمة العملية للنظير  $^{194}\text{Pb}$ . طاقة المستوي  $8_1^+$  او طا قيمته عند  $N=104$  وتساوي  $(2.145, 2.236, 1.675)\text{MeV}$  لنتائج IBM, EXP و IBM-CM على التوالي، وعلى قيمة عند  $N=112$  وتساوي  $(2.4373, 3.312, 0.10)$  على التوالي . يوضح الشكل (9) مستويات حزمة الثانية  $(2_2^+, 4_2^+, 6_2^+, 8_2^+)$  ، نلاحظ من الشكل ان أعلى قيمة لمستوي الطاقة  $2_2^+$  عند  $N=112$  ، كما يلاحظ من الشكل التقارب والانسجام بين القيم العملية ونتائج IBM-CM ونتائج IBM في طاقة المستوي  $2_2^+$  لجميع نظائر الرصاص ، اما طاقة المستوي  $6_2^+$  تنخفض عند  $(N=106-108)$  لنتائج IBM-CM إذ تساوي

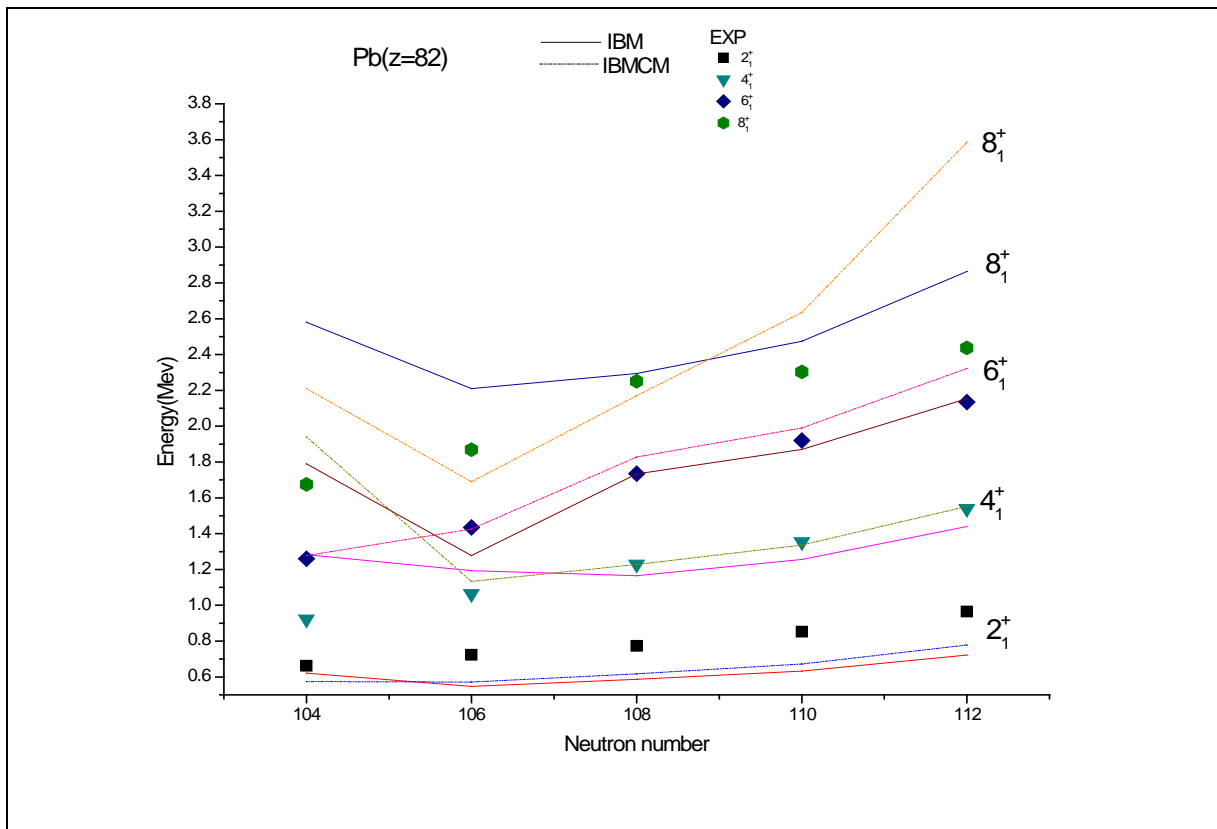
لقد تمت دراسة مستويات الطاقة للحزم الثلاث الأولى  $(2_1^+, 4_1^+, 6_1^+, 8_1^+)$  وعدد من المستويات التي تكافئ الحزمة الثانية  $(2_2^+, 4_2^+, 6_2^+, 8_2^+)$  وعدد من المستويات التي تكافئ حزمة الثالثة  $(3_1^+, 4_3^+, 5_1^+, 6_3^+)$  وكما نرى من الاشكال (8) إلى (11) القيم العملية و النظرية .

الشكل (8) يوضح مستويات  $(2_1^+, 4_1^+, 6_1^+, 8_1^+)$  يتضح أن طاقة المستوي  $2_1^+$  تأخذ قيمة تساوي  $(0.662)\text{MeV}$  عمليا عند النظير  $N=104$  ثم تبدأ بالانخفاض عند  $(N=106)$  لنتائج IBM-CM, IBM ثم بعد ذلك تزداد لتصل لأعلى قيمة عند النظير  $(N=112)$  .طاقات المستويات  $4_1^+, 6_1^+, 8_1^+$  تسلك نفس السلوك تزداد طاقة مستوياتها مع ازدياد عدد النيوترونات ، أما بالنسبة للطاقة المستوي  $4_1^+$  تكون أعلى قيمة عند النظير  $N=112$  وأقل قيمة عند النظير  $N=104$ ، نلاحظ طاقة المستوي  $6_1^+$

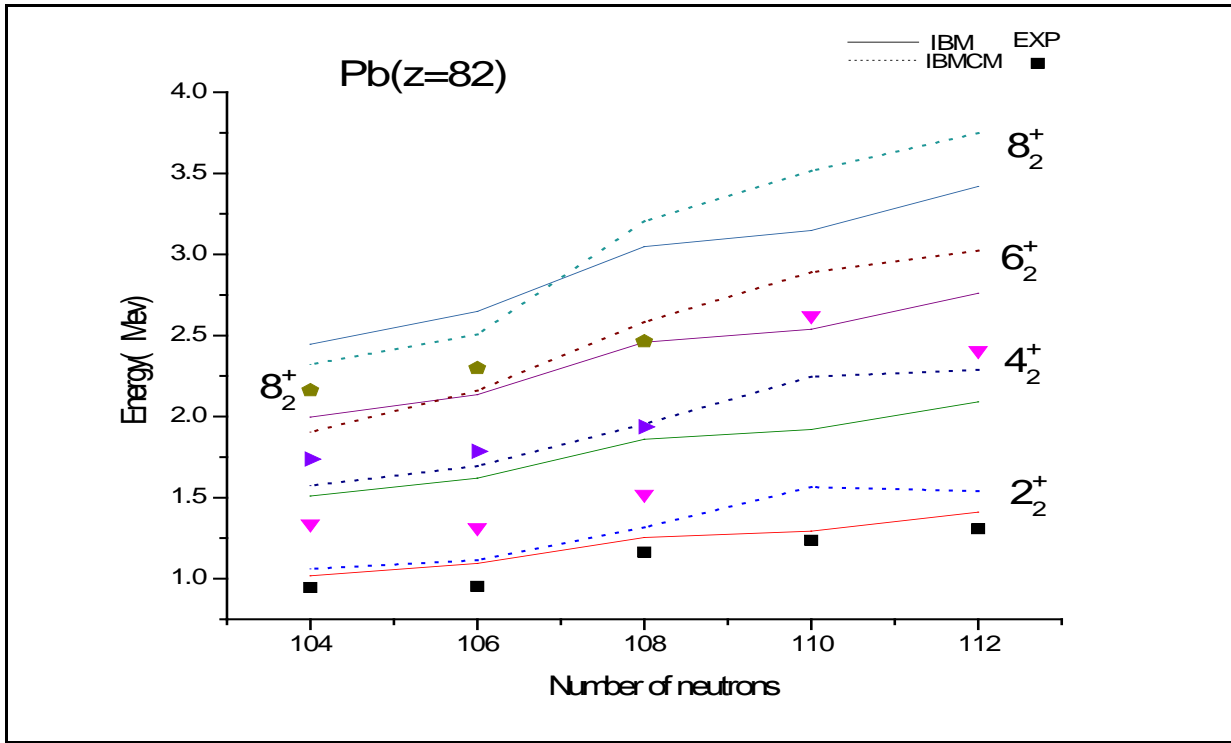
أعلى قيمة لها عند (N=112). فيما يخص المستوي  $6_1^+$  تبدأ الطاقة بالانخفاض إلى أوطاً قيمة لها عند النظير (N=106) ثم تزداد مع ازدياد عدد النيوترونات لتصل إلى أعلى طاقة عند النظير (N=112) والتي تساوي (3.748,3.420)MeV لنتائج IBM-CM,IBM على التوالي لعدم توفر القيمة العملية. نلاحظ من النتائج أن أوطاً قيمة لمستويات الطاقة عند النظير (N=106) والقيمة العظمى للطاقة عند النظير (N=112).

MeV (1.786,1.738) على التوالي و لنتائج IBM أوطاً قيمة عند النظير (N=104) وتساوي (1.996)MeV وتزداد تدريجياً مع ازدياد عدد النيوترونات لتصل أعلى قيمة لمستوي الطاقة عند النظير (N=112) وتساوي (3.624,2.760)MeV لنتائج IBM-CM,IBM على التوالي .

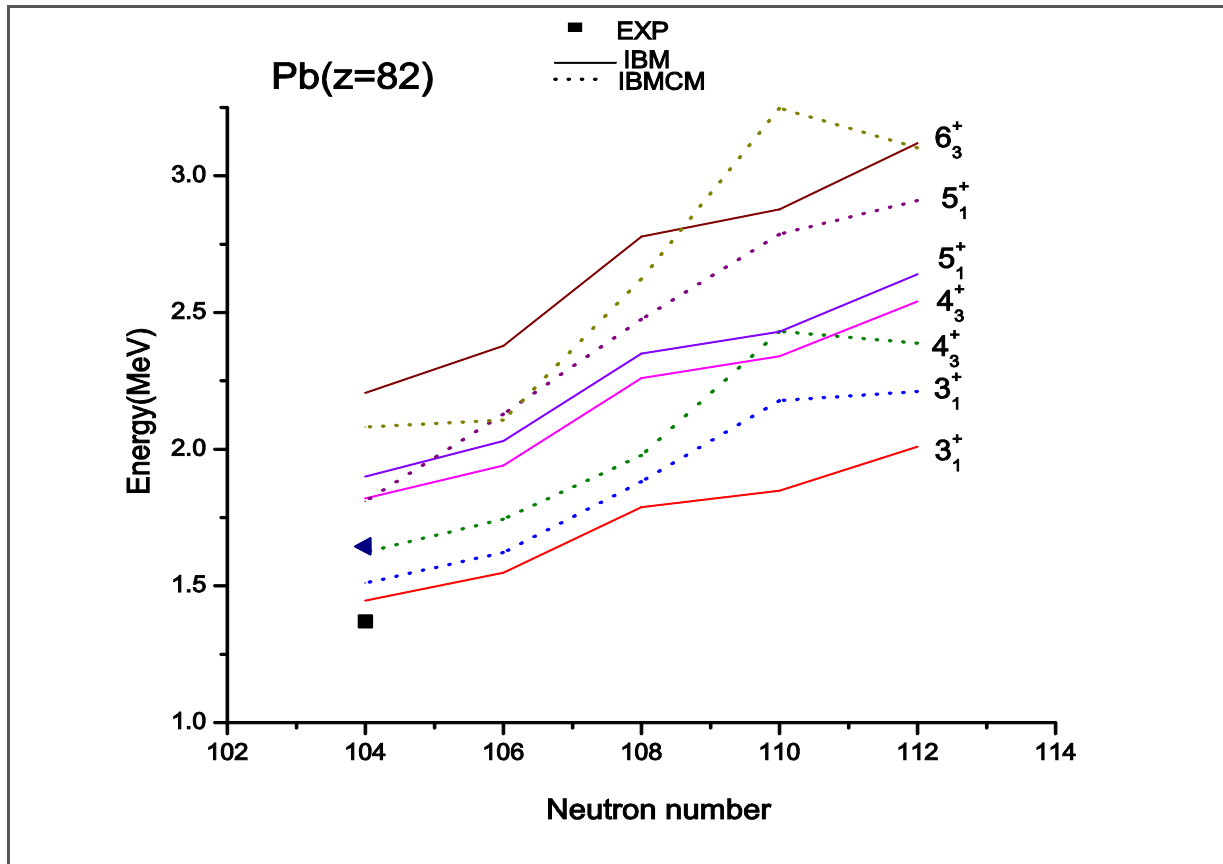
الشكل (10) يوضح سلوك طاقات تهيج مستويات الحزمة الثالثة ( $3_1^+, 4_3^+, 5_1^+, 6_3^+$ )، بالنسبة لطاقة المستوي  $5_1^+$  أدنى طاقة لها عند (N=104) وتبدأ بالزيادة لتصل إلى



الشكل 8 يمثل العلاقة بين مستويات الطاقة للحزمة الأرضية مع عدد النيوترونات .



الشكل 9 يمثل العلاقة بين مستويات الحزمة الثانية مع عدد النيوترونات .



الشكل 10 يمثل العلاقة بين الطاقة لحزمة الثالثة مع عدد النيوترونات .

### 3-3 احتمالية الانتقال رباعي القطب الكهربائي المختزلة B(E2)

تم حساب احتمالية الانتقال رباعي القطب الكهربائي لنظائر الرصاص بالاعتماد على صيغة المؤثر

$$T^{E2} = \alpha_2 [d^+ \times s + s^+ \times d]^{(2)} + \beta_2 [d^+ \times d]^{(2)}$$

بسبب عدم توفر قيم عملية لنظائر  $^{190-194}\text{Pb}$  تم اختيار قيم  $\alpha_2, \beta_2$  لها بالاعتماد على القيم العملية لانتقال  $^{186-188}\text{Pb}$  للنظيرين  $(4_1^+ \rightarrow 2_1^+)$  تمت معايرة نتائج

IBM لهذا الانتقال مع النتائج العملية . قد استخدمنا قيمة  $\alpha_2$  كما  $(\beta_2 = 0.1)$  لجميع النظائر بينما بتغير قيمة  $\alpha_2$  كما مبينة بالجدول (2) الذي يحتوي قيم احتمالية الانتقال النظرية والعملية لنظائر  $^{186-194}\text{Pb}$  . ان موثر الانتقال  $T^{E2}$  يبين ان احتمالية الانتقال تكون أقوى داخل الحزمة الواحدة  $(2_1^+ \rightarrow 0_1^+, 4_1^+ \rightarrow 2_1^+, 6_1^+ \rightarrow 4_1^+)$  .

الجدول (2) قيم احتمالية الانتقال رباعي القطب الكهربائي المختزلة للنظيرين  $^{186-188}\text{Pb}$  بوحدة  $(e^2b^2)$  .

$J_i^+ \rightarrow J_f^+$	$^{186}\text{Pb}(\alpha_2 = 0.4 \text{ eb})$		$^{188}\text{Pb}(\alpha_2 = 0.24 \text{ eb})$	
	EXP	IBM	EXP	IBM
$2_1 \rightarrow 0_1$	0.0037	1.7600		0.5760
$4_1 \rightarrow 2_1$	3.214(756)	3.2000	1.0227(639)	1.0368
$6_1 \rightarrow 4_1$	2.8992(1008)	4.3200	2.8124(447)	1.3824
$8_1 \rightarrow 6_1$	1.2605(882)	5.1200	2.2371(3835)	1.6128
$10_1 \rightarrow 8_1$		0.0000		0.0000
$2_2 \rightarrow 0_2$		0.0001		0.2765
$2_2 \rightarrow 2_1$		3.2000		0.0224
$0_2 \rightarrow 2_1$		3.200		0.0000
$4_2 \rightarrow 2_2$		2.2629		0.7241
$3_2 \rightarrow 2_2$		0.0000		0.0000
$3_1 \rightarrow 4_1$		1.2343		0.3950
$5_1 \rightarrow 3_1$		2.6880		0.8467
$5_1 \rightarrow 4_1$		0.0000		0.0000
$5_1 \rightarrow 4_2$		0.0000		0.3849
$6_1 \rightarrow 4_2$		0.0001		0.0001





المصادر

- 1- K. Heyde , P. Van Isacker, M. Warquier, J. L. Wood and R. N. Meger, Phys. Rev. 102, 291 (1983).
- 2- R. Julin , K. Helariutta and M. Muikku , J. Phys. **G 27** (2001) R109.
- 3- P. D. Duval and R. Barrett , Phys. Lett. **B 405**, 25 (1997).
- 4- P. D. Duval and R. Barrett ,Nucl. Phys. **A 376**, 213(1982) .
- 5 - A. N . Andreyev *et.al* ., Nature 405, 430 (2000).
- 6 - R. Fossion , K. Heyder, G. Thiamova and P.Van Isacker, Phys. Rev. **C 67**, 024306 (2003) .
- 7 -National Nuclear Data Center, <http://www.nndc.bnl.gov>. (2013)
- 8 - M. K. Harder , K. T. Tang and P. Van Isacker, Phys. Lett. **B 405** , 25 (1997).
- 9- S. L. King *et.al*, Phys. Lett. **B 433**, 82(1998) .
- 10- F. Iachello," *The Interacting Boson in Nuclear preceding*" , Ed. by V. S. Dehesa ,Granad , Spain (1981).
- 11- A. Arima and F . Iachello" *The interaction boson model* "Edi. By F.Iachello. Combridge, England, (1987).
- 12-V. Hellemans, R. Fossion , S. De Baerdemacker, and K.Heyde , Phys.Rev. **C 71**, 034308 (2005) .
- 13- J. E. Garcia. Ramos and K. Heyde ,Nucl. Phys. **A 825**, 39 (2009).
- 14- K. Heyde, P. Van Isacker, J. Jolie, J. Moreau and M. Warquier , Phys. Rev. **C 29**, 1428 (1984) .
- 15 - V. Hellemans, R. Fossion , S. De Baerdemacker, and K. Heyde , Phys. Rev. **C 77**, 064324(2008)
- 16- C. De Coster, K. Heyde, B .Decroix, P. Van Isacker, J. Jolie, H. Lehmann and J. Wood, Nucl. Phys. **A 600**, 251(1996).
- 17- K. Heyde, C. De. Coster , J. Jolie and J. Wood , Phys. **C 46** , 541 (1992).

## Nuclear Structure of $^{186-194}\text{Pb}$ Nuclei

### Abstract

The positive parity energy levels of even-even  $^{186-194}\text{Pb}$  nuclei have been studied by using interacting boson model (IBM) with  $N_0$  bosons number. The interacting boson model with configuration mixing (IBM-CM), which takes into account the two-particle-two-hole (2p-2 h) excitations is applied.

A sequence of ( $0_1^+$ ,  $0_2^+$ ,  $2_1^+$ , ..... ) levels has been investigated, and compared with available data. According to this study, the  $0_2^+$  states are  $N_0+2$  space.

The electric quadruple transition probabilities between the levels are analyzed in decomposition which reveal the detailed nature of the energy levels.

The results obtained are found in good agreement with recent experimental data. It was pointed out that interacting boson approximations are equitably reliable.

**Keywords:** Interacting Boson Model (IBM-1)•Configurations mixing (IBMCM)•Lead Isotopes