متوفرة على الموقع:http://www.basra-sciencejournal.org

ISSN –1817 –2695

تهيجات البرم النظيري والتناظر في نظائر السليكون $^{28-32}Si$

موسى محمد مهدي و فالح حسين خضير الخضير

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

الاستلام 3-10-2011، القبول 24-11-2011

الملخص

تمت دراسة المستويات ذات التماثل الموجب لنظائر السليكون (الزوجية – الزوجية) $^{28-32}Si$ باستخدام أنموذج البوزونات المتفاعلة IBM-3 . شملت هذه الدراسة تركيب الحزم والتناظر . ان الهدف الأساس في هذا البحث هو تحديد خواص مستويات تهيج البرم النظيري . تم حساب نسب طاقة المستويات والتي من خلالها تم تحديد شكل النواة . كذلك حساب قيمة الانتقالات الكهرومغناطيسية رباعية القطب الكهربائي B(E2) و ثنائي القطب المغناطيسي B(M1) و نسب التفرع ، قورنت النتائج المستحصلة مع القيم العملية المتوفرة ومن خلال التوافق الجيد تبين قدرة الأنموذج في وصف التركيب النووي لهذه الانوية.

الكلمات المفتاحية : أنموذج البوزونات المتفاعلة IBM-3 , تهيجات البرم النظيري والتناظر , الانوية الخفيفة , نظائر السليكون والمغنيسيوم

1. المقدمة Introduction :

بعد أن أظهرت النماذج النووية السابقة عدم إمكانيتها في إعطاء وصف تام للخواص النووية وكذلك عدم تطابق بعض نتائجها مع النتائج العملية التي تم الحصول عليها من دراسة التفاعلات النووية. اقترح (Arima and Iachello)[1-3] أنموذجا نوويا يربط أنموذج القشرة النووية مع النماذج التجميعية. فقد استطاع أن يصف خصائص المستويات التجميعية السفلى (*Low lying collective levels*) في الانوية (الزوجية- الزوجية) والتي تتصف بحركتها التجميعية. إن القاعدة الأساسية لهذا الأنموذج قد بنيت على بعض المفاهيم والأسس التي تم تطبيقها في النماذج النووية السابقة فضلا عن الاستفادة من النتائج العملية واعتمادا على التأثيرين المتبادلين بين النيوكلونات [4] :

1- قوة تفاعل الازدواج بين الجسيمات المتشابهة (بروتون- بروتون ، نيوترون- نيوترون) .

2- قوى تفاعل رباعي القطب بين الجسيمات غير المتشابهة (بروتون- نيوترون).

ومما سبق يتبين لنا ان النيوكلونات داخل النواة تتصرف على شكل ازدواجات بحيث ترتبط التهيجات النووية مع خصائص هذه الأزدواجات لذا دعت الحاجة إلى معالجة هذه الأزدواجات عن طريق البوزون ولذلك سميَ هذا الأنموذج بتقريب البوزونات المتفاعلة. إن هذا الأنموذج توسع وتطور بثبات منذ البداية وهو الآن يتكون من مجموعة نماذج تخص التركيب النووي وترتبط بفرضيات مشتركة فيما يخص تركيبها الفيزياوي والرياضي .

إن الإصدار الأول لهذا الأنموذج IBM-1 لا يميز بين البروتونات والنيوترونات ويعدها كنيوكلونات متشابهة ، في حين نجد ان أنموذج IBM-2 يميز بين البروتونات والنيوترونات وبالتالي وجود بروتون- بوزون ونيوترون- بوزون . أما الإصداران الجديدان IBM-3 و IBM-4 فإنهما يتضمنان تفاعلا بوزون ثالث هو بروتون- نيوترون بوزون وهما مهمان جدا في التطبيق للنوى التي فيها N=Z و N≈Z[5]. إن التطور الأخير لأنموذج البوزونات المتفاعلة تضمن تفسيرا لبعض المسائل المتعلقة بالتركيب النووي للانوية الخفيفة . تبعا لهذا الوصف فان IBM-3 هو الأنسب للاستخدام في دراستنا الحالية.

2. أنـــمـــوذج البوزونات المتفاعلة الثالث IBM-3

ان عناصر بناء هاملتوني IBM-3 هي بروتون- بروتون (s_π, d_π) ، نيوترون – نيوترون (s_δ, d_δ) وبروتون- نيوترون (s_ν, d_ν) . إن مؤثرات التوليد (*creation*) والفناء(*annihilation*) للبوزونات أنفة الذكر في أعلاه تأخذ الشكل الآتي[6]:

$$b^{+}_{lm,1\mu} \quad , \quad b_{lm,1\mu}$$

حيث ان هذه المؤثرات افترضت لتحقيق علاقة التبادل للبوزون وكالاتي :

$$[b_{lm,1\mu}, b^{+}_{l'm',1\mu'}] = \delta_{ll'}\delta_{mm'}\delta_{\mu\mu'} \quad , \quad [b^{+}_{lm,1\mu}, b^{+}_{l'm',1\mu'}] = [b_{lm,1\mu}, b_{l'm',1\mu'}] = 0$$

إن مولدات المجموعة U_{sd} **(18)** يمكن ان نبينها بشكل واضح من علاقات التبادل التالية :

$$[b^{+}_{lm,1\mu}\ b_{l'm',1\mu'}, b^{+}_{l''m'',1\mu''}\ b_{l'''m''',1\mu'''}]$$

$$= b^{+}_{lm,1\mu}\ b_{l'''m''',1\mu'''}\ \delta_{l'l''}\ \delta_{m'm''}\ \delta_{\mu'\mu''} - b^{+}_{l''m'',1\mu''}\ b_{l'm',1\mu'}\ \delta_{ll'''}\delta_{mm'''}\delta_{\mu\mu'''} \quad (1)$$

يمكن أيضا كتابة مولدات المجموعة $U(18)$ كالآتي [5]:

$$(b^{+}_{l,1}\times\tilde{b}_{l',1})^{(L,T)}_{M_L,M_T} = \sum_{mm'}\langle lm\ l'm'|LM_L\rangle\langle 1\mu\ 1\mu'|TM_T\rangle b^{+}_{lm,1m}\tilde{b}_{l'm',1\mu'} \quad (2)$$

حيث ان $\tilde{b}_{lm,1\mu} \equiv (-1)^{l-m+1-\mu} b_{l-m,1-\mu}$ ، وان الرمز بين الأقواس الزاوية يشير إلى معامل (*Clebsch-Gordan*) . الدراسات النظرية لمعاملات IBM-3 تبين إن هاملتوني IBM-3 لا يعتمد فقط على عدد البوزونات بل يعتمد أيضا على قيمة البرم النظيري (*isospin*) [7] . الاعتماد على البرم النظيري يكون أكثر أهمية مقارنة مع عدد البوزونات . توجد هنالك عدة طرق في كتابة هاملتوني IBM-3 بحيث تكون كافية في وصف خصائص المستويات التجميعية السفلى في الانوية ، وفي فضاء البرم النظيري يمكن كتابته بحدود تفاعل الجسيمين [5]:

$$H = \varepsilon_s \hat{n}_s + \varepsilon_d \hat{n}_d + H_2 \quad (3)$$

حيث

$$H_2 = \frac{1}{2}\sum_{L_2T_2} C_{L_2T_2}((d^{+}d^{+})^{L_2T_2}\cdot(\tilde{d}\tilde{d})^{L_2T_2}) + \frac{1}{2}\sum_{T_2} B_{0T_2}((s^{+}s^{+})^{0T_2}\cdot(\tilde{s}\tilde{s})^{0T_2})$$
$$+ \sum_{T_2} A_{2T_2}((s^{+}d^{+})^{2T_2}\cdot(\tilde{d}\tilde{s})^{2T_2}) + \frac{1}{\sqrt{2}}\sum_{T_2} D_{2T_2}((s^{+}d^{+})^{2T_2}\cdot(\tilde{d}\tilde{d})^{2T_2})$$
$$+ \frac{1}{2}\sum_{T_2} G_{0T_2}((s^{+}s^{+})^{0T_2}\cdot(\tilde{d}\tilde{d})^{0T_2} \quad (4)$$

حيث ان :

$$(b^{+}_1 b^{+}_2)^{L_2T_2}.(\tilde{b}_3\tilde{b}_4)^{L_2T_2} = (-1)^{(L_2+T_2)}\sqrt{(2L_2+1)(2T_2+1)}\left[(b^{+}_1 b^{+}_2)^{L_2T_2}\times(\tilde{b}_3\tilde{b}_4)^{L_2T_2}\right]^{00} \quad (5)$$

يمثل الضرب النقطي في كلا الزخم الزاوي والبرم النظيري . إن قيمة انحراف الكمية هو :

$$\tilde{b}_{lm,m_Z} = (-1)^{l+m+1+m_Z)}\, b_{l-m-m_Z} \quad (6)$$

الرموز (L_2 وT_2) تشير إلى البرم النظيري والزخم الزاوي لنظام البوزونين على التوالي . والمعاملات (A,B,C,D,G) لها علاقة بمعاملات مصفوفة لجسيمين حيث :

$A_{T_2} = \langle sd20|H_2|sd20\rangle$ مع $T_2 = 0,1,2$ و $B_{T_2} = \langle s^2 0T_2|H_2|s^2 0T_2\rangle$ ،

$G_{T_2} = \langle s^2 0T_2|H_2|s^2 0T_2\rangle$ ، $D_{T_2} = \langle sd2T_2|H_2|d^2 2T_2\rangle$ و $C_{L_2T_2} = \langle d^2 L_2T_2|H_2|d^2 L_2T_2\rangle$ مع

$T_2=0,2$ و $L_2=0,2,4$. المعاملات (A_1, C_{11}, C_{31}) مشابهة لتفاعلات ماجورانا Majorana interactions في IBM-2 ، هذه التفاعلات مهمة لتحديد مستويات الطاقة ذات التناظر المختلط (*Mixed symmetry*) وبالتالي تحديد موقعها بالاعتماد على القيم العملية المتوفرة إلى مستويات 1^+ وحالات التناظر المختلط الأخرى التي تتأثر بهذه المعاملات [4] .

يمكن إعادة كتابة مؤثر الهاملتوني IBM-3 بدلالة مؤثرات كازمر *Casimir operators* وكالآتي [6] :

$$H = \lambda C_{2U_{sd}(6)} + a_T T(T+1) + \varepsilon C_{1U_d(5)} + \gamma C_{2O_{sd}(6)} + \eta C_{2SU_{sd}(3)} + \beta_{C2U_d(5)} + \alpha C_{2O_d(5)} + a_L C_{O_d(3)} \quad (7)$$

حيث $\hat{C}_{nG}$ تشير إلى الرتبة n لمؤثر كازمر للمجموعة G .

3. طيف الطاقة واختيار المعاملات

من اجل الحصول على خصائص التركيب النووي لنظائر السليكون $^{28-32}$Si سنقوم بدراسة المستويات ذات التماثل الموجب (*positive parity*) وتشمل المستويات ذات التناظر الكلي (*total symmetric states*) والمستويات ذات التناظر المختلط (*mixed symmetric states*) ومستويات تهيجات البرم النظيري (*isospin excitations*) باستخدام انموذج البوزونات المتفاعلة (IBM-3) . تم حساب مستويات الطاقة لهذا النظام بعد تحديد قيم ملائمة لمعاملات الهاملتوني بصيغة مؤثرات كازمر من خلال إيجاد قوة كل حد اعتمادا على الحلول النظرية للنظام وباستخدام قيم الطاقة العملية للمستويات الواطئة المتناظرة للنواة ^{28}Si. اما قيمة المعامل λ فقد تم تحديده اعتمادا على موقع المستويات ذات التناظر المختلط والمستويات $J=1^+$ للانوية قيد الدراسة .

ان معاملات الهاملتوني المعطاة في المعادلة (7).

$$H_{28} = -0.06C_{2U(6)} + 2.5T(T+1) + 0.2C_{1U(5)} - 0.17C_{2O(6)} + 0.28C_{2O(5)} + 0.09C_{2O(3)} \quad (a)$$

$$H_{30} = -0.06C_{2U(6)} + 2.5T(T+1) + 0.22C_{1U(5)} - 0.18C_{2O(6)} + 0.28C_{2O(5)} + 0.13C_{2O(3)} \quad (b)$$

$$H_{32} = -0.12C_{2U(6)} + 2.5T(T+1) + 0.27C_{1U(5)} - 0.24C_{2O(6)} + 0.28C_{2O(5)} + 0.13C_{2O(3)} \quad (c)$$

وطبقا لهذه القيم فان قيم معاملات الهاملتوني في المعادلة (4) موضحة بالجدول رقم (1) .

جدول (1) يوضح معاملات الهاملتوني لنظائر السليكون المعطاة في المعادلة (4).

المعاملات	^{28}Si	^{30}Si	^{32}Si
$\varepsilon_{s\rho}(\rho=\pi,n,\delta)$	3.790	3.670	3.080
$\varepsilon_{d\rho}(\rho=\pi,n,\delta)$	5.650	5.640	5.250
A_i(i=0,1,2)	-10.460 , 4.540 ,-4.540	-10.500 , 4.500 , -4.500	-10.720 , 4.280 , -4.280
C_{i0}(i=0,2,4)	-12.080 , -10.440 , -9.180	-12.360 , -10.600 , -9.060	-12.120 , -10.940 , -9.120
C_{i2}(i=0,2,4)	2.920 , 4.560 , 5.850	2.640 , 4.400 , 5.940	2.880 , 4.060 , 5.880
C_{i1}(i=1,3)	-6.000 , -5.100	-6.160 , -5.060	-6.140 , -4.840
B_i(i=0,2)	-10.120 , 4.880	-10.160 , 4.840	-10.240 , 4.760
D_i(i=0,2)	0.0 , 0.0	0.0 , 0.0	0.0 , 0.0
G_i(i=0,2)	-0.760 , -0.760	-0.760 , -0.760	-1.073 , -1.073

النظير Si^{28} : تمتلك هذه النواة 14 بروتون و14 نيوترون واعتمادا على القشرة المغلقة Z=20 سيكون عدد نيوترونات التكافؤ مساويا إلى عدد بروتونات التكافؤ ويساوي 6 . الشكل (1) يبين المقارنة بين النتائج العملية ونتائج IBM-3 حيث افلح الأنموذج في حساب قيمة مستويات الطاقة لهذا لنظير التي رتبت بالاعتماد على تناظر المستويات وعلى البرم النظيري [T] ، ومن خلال الشكل نجد ان هنالك ثلاث حزم مرتبة حسب تسلسل ظهور المستويات تكون تابعة لتقسيم التناظر [N] وذات برم نظيري T=0 ، فمستويات الحزمة الأرضية ($\mathbf{0_1^+,2_1^+,4_1^+,6_1^+}$) ذات التناظر الكلي قيم طاقتها العملية تساوي MeV [8](0.0 , 1.779 , 4.617 , 8.543) متوافقة ومنسجمة مع النتائج النظرية لأنموذج IBM-3 MeV(0.0 , 1.720 , 4.749 , 9.087) على التوالي ، نظريا تم الحصول على المستويين ($\mathbf{8_1^+,10_1^+}$) وسجلت لهما القيم(14.733 , 21.687) ، طاقات التهيج للحزمة الثانية التابعة لنفس التقسيم أعلاه توضح التقارب الواضح مع القيم العملية لهذه المستويات والتي ظهرت بالترتيب حسب التسلسل ، الحزمة الثانية وتنتمي لها المستويات ($\boldsymbol{J^+=2^+,3^+,4^+,5^+,6^+}$) ويكون التوافق جيدا بين المستويات العملية والنظرية ، الحزمة الأخيرة التي تضم المستويات ($\boldsymbol{J^+=0^+,2^+,4^+}$) التابعة للتقسيم نفسه [N] وذات البرم النظيري T =0 حيث قيمة الطاقة العملية لها تساوي

MeV (4.979 , 7.380 , 9.164) متوافقة ومنسجمة مع قيم IBM-3 وتساويMeV(4.780 , 6.552 , 9.656) على التوالي ، نظريا المستوي $J^+=6^+$ سجلت له القيمة 14.086 MeV . لقد تم الحصول أيضا على ثلاث حزم من مستويات الطاقة ذات التناظر المختلط تكون تابعة للتقسيم [N-2,2] و T=0 وظهرت كالآتي ، الحزمة الأولى ($\boldsymbol{J^+=0^+,2^+,4^+}$) تكون لها القيم MeV (6.690 , 7.416 , 9.417) و MeV (6.212, 7.935 , 9.444) للنتائج العملية والنظرية على التوالي ، الحزمة الثانية ($\boldsymbol{J^+=1^+,2^+,3^+,4^+,5^+}$) تكون فيها نسب التوافق ممتازة بين النتائج العملية والنظرية بحيث لا يتعدى الفرق بين الحالتين MeV(0.6) ولجميع المستويات ، المستوي $J^+=6^+$ تم الحصول عليه نظريا وسجلت له القيمة MeV(13.283) ، الحزمة الأخيرة

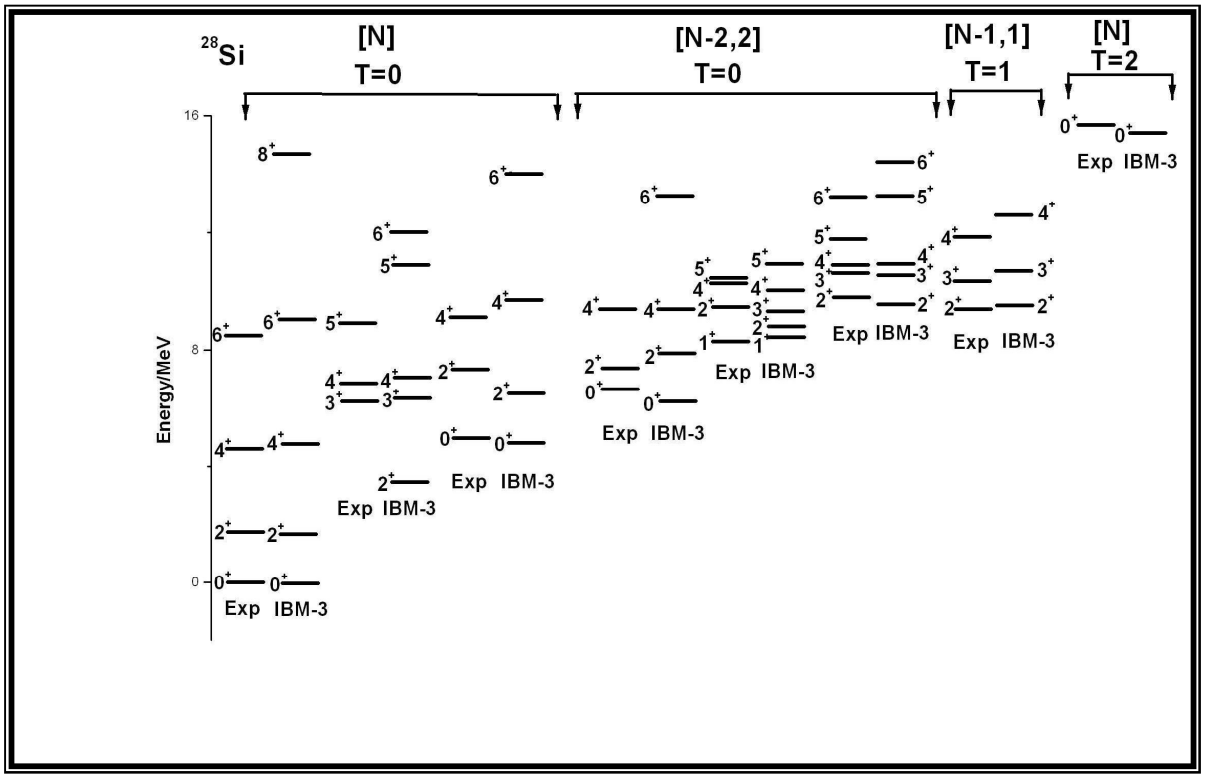
ظهرت بالترتيب الآتي ($J^+ = 2^+,3^+,4^+,5^+,6^+$) وسجلت توافقا وتقاربا جيدا للنتائج العملية والنظرية . من اجل التعرف على طبيعة مستويات الطاقة تم تحليل الدوال الموجية لها وخاصة المستويات $J^+=2^+$ وهي كالآتي :

$$\left|2_1^+\right\rangle = 0.309\left\{\left|s_\upsilon^3 s_\pi^2 d_\pi^1\right\rangle + \left|s_\upsilon^2 s_\pi^3 d_\upsilon^1\right\rangle\right\} + 0.220\left\{\left|s_\upsilon^2 s_\pi^2 d_\upsilon^1 d_\pi^1\right\rangle + \left|s_\upsilon^2 s_\pi^1 d_\upsilon^1 d_\pi^2\right\rangle\right\} - 0.269\left|s_\delta^4 d_\delta^2\right\rangle$$
$$- 0.245\left|s_\delta^2 d_\upsilon^1 d_\pi^1 d_\delta^2\right\rangle + 0.189\left\{\left|s_\upsilon^2 s_\pi^1 d_\upsilon^1 d_\pi^2\right\rangle + \left|s_\upsilon^1 s_\pi^2 d_\upsilon^2 d_\pi^1\right\rangle\right\} + ...$$

$$\left|2_2^+\right\rangle = -0.415\left|s_\upsilon^2 s_\pi^2 d_\upsilon^1 d_\pi^1\right\rangle - 0.240\left\{\left|s_\upsilon^3 s_\pi^2 d_\pi^1\right\rangle + \left|s_\upsilon^2 s_\pi^3 d_\upsilon^1\right\rangle\right\} - 0.171\left\{\left|s_\upsilon^3 s_\pi^2 d_\pi^1\right\rangle + \left|s_\upsilon^3 s_\pi^2 d_\pi^1\right\rangle\right\}$$
$$+ 0.169\left\{\left|s_\upsilon^1 s_\pi^1 d_\upsilon^1 d_\pi^1 s_\delta^2\right\rangle\right\} - 0.269\left|s_\delta^5 d_\delta^1\right\rangle - 0.144\left\{\left|s_\upsilon^2 s_\pi^2 d_\upsilon^1 d_\pi^1\right\rangle + \left|s_\upsilon^2 s_\pi^2 d_\upsilon^1 d_\pi^1\right\rangle\right\} + ...$$

$$\left|2_3^+\right\rangle = 0.334\left|s_\upsilon^1 s_\pi^3 d_\upsilon^1\right\rangle - 0.334\left|s_\delta^4 d_\pi^1\right\rangle - 0.323\left|s_\delta^4 d_\upsilon^1\right\rangle + 0.289\left|s_\upsilon^1 s_\pi^1 s_\delta^2 d_\pi^1\right\rangle$$
$$+ 0.225\left|s_\upsilon^1 s_\pi^1 d_\upsilon^1 d_\pi^2\right\rangle + ...$$

الحد ($\left|s_\delta^3 d_\delta^3\right\rangle$) يعني ان ثلاثة بوزونات نوع s مزدوجة مع ثلاثة بوزونات نوع d . من خلال الدوال الموجية نلاحظ ان المستويات الثلاث لها مركبات كبيرة من 1-d-boson ,2-d-boson, 1-d-boson على الترتيب . بصورة عامة مستويات الحزمة الأرضية دوالها الموجية تمتلك $s^N, s^{N-1}d, s^{N-2}d^2, s^{N-3}d^3$ على الترتيب . ان النتائج المستحصلة في الدراسة الحالية للمستويات التابعة للتقسيم [N-1,1] و ببرم نظيري T=1 كانت متفقة مع القيم العملية حيث تكون فيها نسب التقارب عالية جدا بحيث لا يتعدى الفرق بين الحالتين 0.6 MeV ،عمليا المستوي ($J^+=0^+$),T=2)) التابع للتقسيم [N] تكون له طاقة عملية مقدارها MeV (15.227) في حين نتائج IBM-3 تساوي MeV(15.00) مما يدل على صحة اختيار قيمة المعامل a_T المختارة، وللوصف نفسه نلاحظ ظهور مستوي آخر عند برم نظيري T=2 بطاقة نظرية مقدارها MeV(15.567) وهي قريبة جدا من المستوي العملي $J=6^+$ بطاقة MeV(15.914) ، ومن الجدير بالذكر ان مستويات التناظر المختلط ضمن مدى الطاقة المختار تكون محصورة فقط ضمن التقسيمات [N-1,1] و [N-2,2] في حين ان مستويات التناظر الكلي تكون تابعة فقط للتقسيم [N] . نلاحظ من الجدول (2) ان هناك توافقا ممتازا للقيم العملية والنظرية لنسب التحديد لهذا النظير وهي قريبة لقيمة التحديد O(6) .



الشكل (1) مقارنة بين النتائج العملية والنظرية لمستويات الطاقة للنظير Si^{28} .

الـــنظـــيـــر Si^{30}: يحتوي هذا النظير على 14 بروتونا و16 نيوترونا وبالاعتماد على القشرة المغلقة Z=20 سيكون عدد بروتونات التكافؤ (6) في حين يكون عدد نيوترونات التكافؤ (4) . ان نتائج دراستنا لهذا النظير موضحة بالشكل (2) ومن مقارنة النتائج العملية والنظرية تؤكد التقارب والانسجام الواضحين بينهما . ومن الشكل نلاحظ وجود ثلاث حزم تابعة للتقسيم [N] وببرم نظيري T=1 فنجد ان مستويات الحزمة الأرضية ذات التناظر الكلي $(\mathbf{0_1^+,2_1^+,4_1^+,6_1^+})$ تكون قيمها العملية MeV(0.0, 2.235 , 5.279 , 9.367) منسجمة ومتوافقة مع النتائج النظرية MeV(0.0, 1.850 , 5.175, 9.972) وكذلك تم الحصول على المستويين ($J^+=8_1^+$) نظريا وكانت لهما القيم MeV (16.242) على التوالي . اما بالنسبة للحزمة الأخرى التابعة للتقسيم نفسه فظهرت على الترتيب الآتي ($\boldsymbol{J^+=0^+,2^+,4^+}$) وسجلت لها القيم MeV (3.787,4.830,7.223) و MeV (4.403 , 4.112 , 7.552) للنتائج العملية والنظرية على التوالي ، الحزمة الثالثة التابعة للتقسيم نفسه تكون فيها نسب التوافق مع النتائج العملية عالية جدا مع العلم ان جميع مستويات هذه الحزم هي مستويات تناظر كلي . وكذلك نجد ان مستويات التناظر المختلط التابعة للتقسيم [N-1,1] وببرم نظيري T=1 تظهر الانسجام الواضح والتوافق مع نتائج IBM-3 فالمستويات ($\boldsymbol{J^+=2^+,3^+,4^+,5^+}$) لا يتجاوز فرق الطاقة لها MeV (0.5) للنتائج العملية والنظرية ولجميع المستويات ، وهذا يؤكد نجاح IBM-3 في حساب قيم الطاقات لهذه المستويات . الدوال الموجية للمستوي $J^+=2^+$ هي كالآتي :

$$\left|2^{+}_{1}\right\rangle = 0.486\left|s_{\upsilon}^{2}s_{\pi}^{2}d_{\pi}^{1}\right\rangle + 0.397\left|s_{\upsilon}^{1}s_{\pi}^{3}d_{\upsilon}^{1}\right\rangle + 0.279\left|s_{\upsilon}^{1}s_{\pi}^{1}d_{\upsilon}^{1}d_{\pi}^{2}\right\rangle + 0.239\left|s_{\upsilon}^{1}s_{\pi}^{1}d_{\upsilon}^{1}d_{\pi}^{2}\right\rangle$$
$$- 0.229\left\{\left|s_{\upsilon}^{1}s_{\pi}^{2}s_{\delta}^{1}d_{\delta}^{1}\right\rangle + \left|s_{\upsilon}^{1}s_{\pi}^{1}s_{\delta}^{2}d_{\pi}^{1}\right\rangle\right\} + ...$$

$$\left|2^{+}_{2}\right\rangle = 0.567\left|s_{\upsilon}^{1}s_{\pi}^{2}d_{\upsilon}^{1}d_{\pi}^{1}\right\rangle + 0.401\left|s_{\upsilon}^{2}s_{\pi}^{2}d_{\pi}^{1}\right\rangle - 0.267\left|s_{\upsilon}^{1}s_{\pi}^{1}s_{\delta}^{1}d_{\pi}^{1}d_{\delta}^{1}\right\rangle$$
$$+ 0.231\left|s_{\pi}^{3}d_{\upsilon}^{2}\right\rangle + 0.200\left|s_{\pi}^{1}s_{\delta}^{2}d_{\delta}^{2}\right\rangle + ...$$

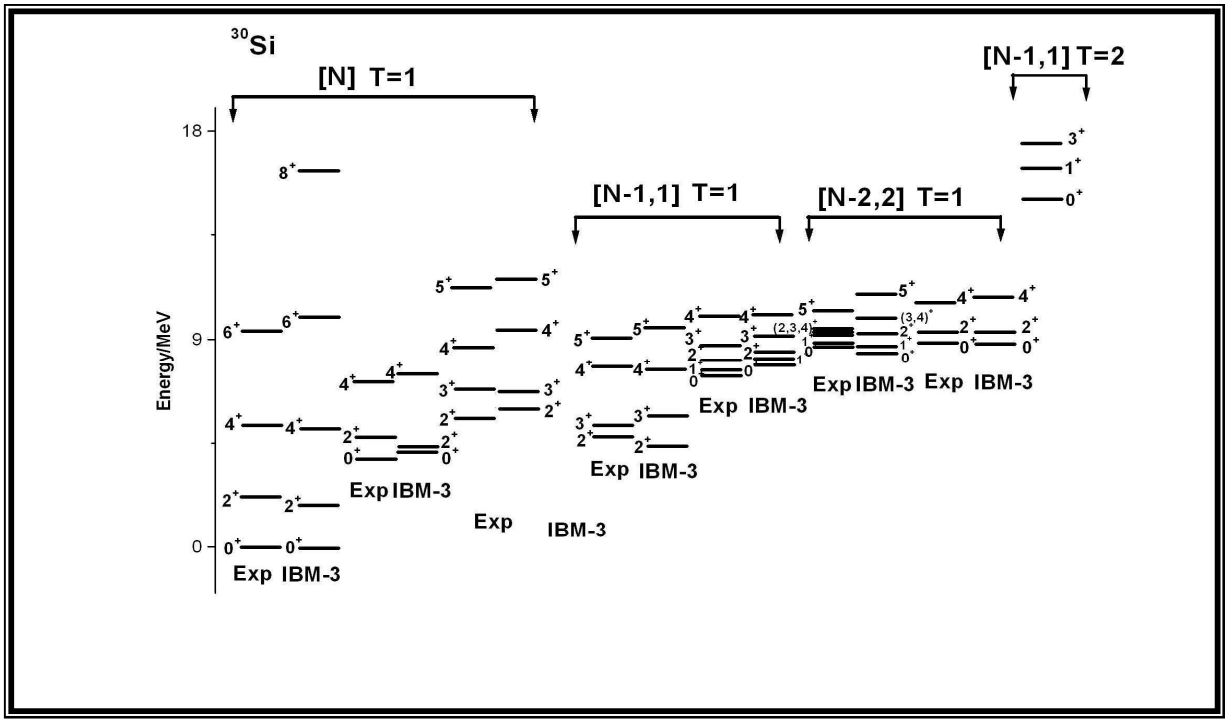
$$\left|2^{+}_{3}\right\rangle = 0.334\left|s_{\upsilon}^{1}s_{\pi}^{3}d_{\upsilon}^{1}\right\rangle - 0.334\left|s_{\delta}^{4}d_{\pi}^{1}\right\rangle - 0.323\left|s_{\delta}^{4}d_{\upsilon}^{1}\right\rangle + 0.289\left|s_{\upsilon}^{1}s_{\pi}^{1}s_{\delta}^{2}d_{\pi}^{1}\right\rangle$$
$$+ 0.225\left|s_{\upsilon}^{1}s_{\pi}^{1}d_{\upsilon}^{1}d_{\pi}^{2}\right\rangle + ...$$

الحد ($s_{\upsilon}^{1}s_{\pi}^{3}d_{\upsilon}^{1}$) يعني ان بوزون من نوع s_{υ} مزدوج مع ثلاثة بوزونات من نوع s_{π} وبوزون واحد من نوع d_{υ} بحيث يجب ان يكون العدد الكلي للبوزونات يساوي 5 بواقع 3 بوزون بروتوني و2 بوزون نيوتروني ، المستويان الأول والثالث هما مستوي 1-d-boson اما المستوي الثاني فهو مستوي-2-d boson ، اما فيما يخص مستويات التناظر المختلط في الحزمة الأخرى التابعة للتقسيم نفسه [N-1,1] والمتمثلة بالمستويات ($J^{+}=0^{+},1^{+},2^{+},3^{+},4^{+}$) فنجد ان قيمهم العملية (7.441,7.667,8.104,8.734,10.056)MeV تكون منسجمة ومتوافقة مع النتائج النظرية للأنموذج (7.872 , 8.171 , 8.490 , 9.192 , 10.072)MeV حيث نلاحظ ان المستويات ($J^{+}=0^{+},1^{+},2^{+}$) تكون متقاربة من بعضها والفرق في ما بينها قليل . اما مستويات التناظر المختلط الأخرى التابعة للتقسيم [N-2,2] و ببرم نظيري T=1 فظهرت على شكل حزمتين ، الحزمة الأولى وتضم المستويات ($J^{+}=0^{+},1^{+},2^{+},3^{+},4^{+},5^{+}$) تكون فيها نسب التقارب عالية بين النتائج العملية والنظرية بحيث لا يتعدى الفرق بين الحالتين MeV (0.8) ، اما الحزمة الأخرى فتضم المستويات ($J^{+}=0^{+},2^{+},4^{+}$) وسجلت لها القيم التالية MeV (8.887 , 9.362 , 10.622) و MeV(8.962 , 9.269 , 10.809) للنتائج العملية والنظرية على التوالي ونلاحظ كذلك ان المستويين $J^{+}=0^{+},2^{+}$ متقاربان من بعضهما وفرق الطاقة بينهما صغير ، من حسابات الأنموذج وجد ان طاقة المستويات ($J^{+}=0^{+},1^{+},3^{+},5^{+}$) التابعة للتقسيم [N-1,1] و T=2 تساوي MeV(15.006 , 16.398 , 17.498 , 19.478) ، عمليا لم تتوفر لدينا معلومات عن ظهور هذه المستويات ، نظريا تم الحصول على المستويات ($J^{+}=0^{+},8^{+},10^{+}$) ذات برم نظيري T=3 وسجلت لها القيم MeV(25.00 , 29.502 , 48.982) وهذا يؤكد إمكانية الأنموذج في حساب طاقات مستويات تهيجات البرم النظيري العالية . نسب الطاقة تم حسابها ووجد ان هناك تقاربا واضحا وممتازا مع النتائج

العملية والقيمة التحليلية للتحديد O(6) وكما هو موضح بالجدول (2).

جدول (2) يوضح القيم النظرية والعملية والتحليلية لنسب الطاقة لنظائر السليكون[15] :

A	قيم النسب	$E4_1^+/2_1^+$	$E2_2^+/2_1^+$	$E0_2^+/4_1^+$	$E0_2^+/2_1^+$
28	العملية	2.59	4.14	1.07	.79
	النظرية	2.59	3.82	1.00	2.77
30	العملية	2.82	2.15	1.01	2.40
	النظرية	2.84	2.38	1.03	2.8
32	العملية	2.83	2.18	0.90	2.57
	النظرية	2.82	1.92	0.86	2.42
U(5)	التحليلية	2.00	2.00	1.00	2.00
SU(3)		3.3	3.00	>>1	>> 2
O(6)		2.5	> 2	~1	4.50



شكل (2) مقارنة بين النتائج العملية والنظرية لمستويات الطاقة للنظير Si^{30} .

النظير Si^{32} : يحتوي هذا النظير على 14 بروتونا و18 نيوترونا وبالاعتماد على القشرة المغلقة Z=20 سيكون عدد بروتونات التكافؤ (6) في حين يكون عدد نيوترونات التكافؤ (2) وبعد ان تبين من دراستنا للنظيرين السابقين انتماؤهما للتحديد O(6) تم الاستمرار بتنسيق مؤثرات كازمر للحصول على نتائج نظرية متوافقة مع النتائج العملية والشكل (3) يوضح المقارنة بين نتائج IBM-3 والنتائج العملية فيما يخص مستويات الطاقة للنظير Si^{32} . مستويات التناظر الكلي للحزمة الأرضية التابعة للتقسيم [N] و T= 2 والمتمثلة

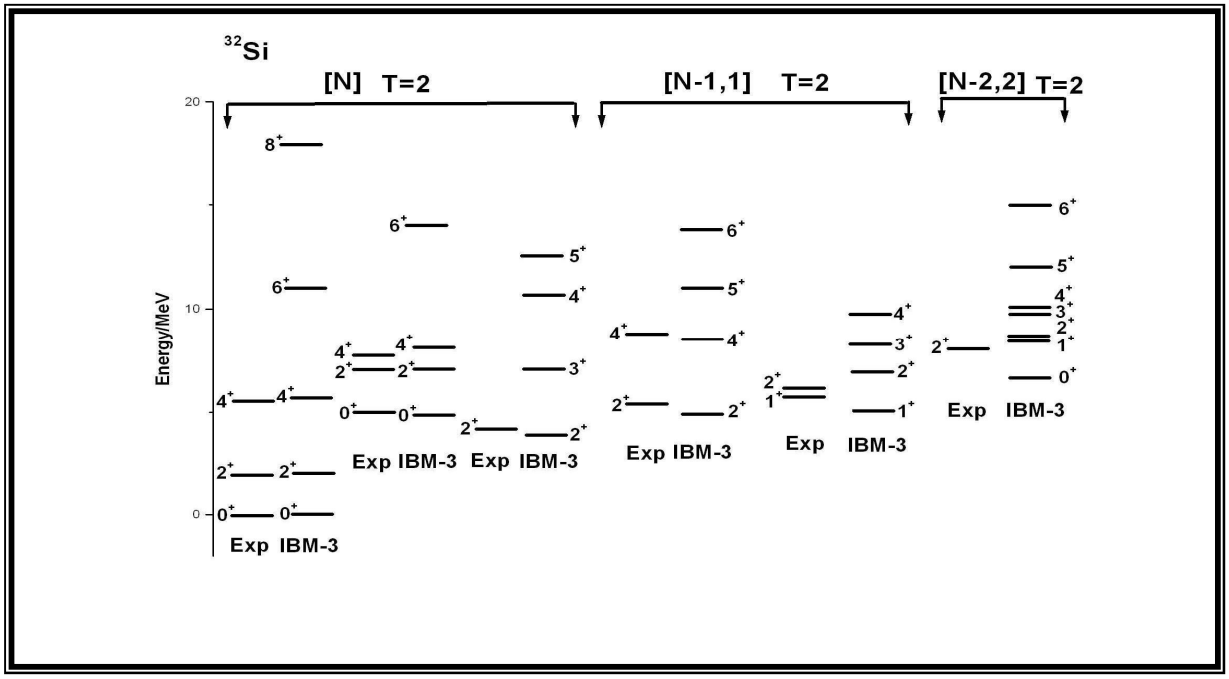
بالمستويات $(0_1^+,2_1^+,4_1^+)$ تظهر الانسجام الواضح للقيم العملية والنظرية فسجلت عند القيم MeV(0.0 , 1.941 , 5.502) للنتائج العملية و MeV (0.0 , 2.015 , 5.684)[8] حسب نتائج IBM-3 ، نظريا تم الحصول على المستويين $(6_1^+,8_1^+)$ فكانت لهما القيمتان MeV(11.005 , 17.975) ولم تتوفر لدينا معلومات تجريبية عن ظهور هذين المستويين. من الشكل يتبين الانسجام الواضح لمستويات حزمة بيتا التابعة للتقسيم [N] فطاقة هذه المستويات العملية $(J^+=0^+,2^+,4^+)$ تساوي MeV(4.983 , 7.083 , 7.793) و MeV(4.880 , 7.055 , 8.145) للنتائج النظرية على التوالي ، اما ما تبقى من مستويات حزمة بيتا فتم الحصول عليها نظريا والمتمثلة بالمستوي $(J^+=6^+)$ عند القيمة MeV(14.075) ، الحزمة الأخرى التابعة للتقسيم نفسه أعلاه والتي تمثل مستويات حزمة كاما فقد تم الحصول فقط على المستوي العملي $(J^+=2^+)$ عند القيمة MeV(4.230) اما المستويات الأخرى $(J^+=2^+,3^+,4^+,5^+)$ التي تنتمي للحزمة نفسها فقد تم الحصول عليها نظريا وسجلت لها القيم MeV(3.864 , 7.105 , 10.675 , 12.515 , 14.075) . الحزمة الأولى التابعة للتقسيم [N-1,1] فقد ظهرت لها المستويات العملية $(J^+=2^+,4^+)$ عند القيم MeV (5.412 , 8.758) تقابل القيم النظرية MeV (4.950 , 8.592) اما المستويات الأخرى فقد تم الحصول عليها نظريا ، ومن خلال الشكل نلاحظ ظهور المستوي 1_1^+ التابع للتقسيم [N-1,1] عند قيمة عملية MeV(5.785) متوافقة مع نتائج IBM-3 MeV(5.115) وكذلك نلاحظ ان المستوي $(J^+=2^+)$ تكون قيمته العملية MeV(6.170) متوافقة مع نتائج IBM-3 وتساوي MeV(6.772) ، في حين لم تتوفر لدينا معلومات تجريبية عن المستويات الأخرى التابعة للحزمة نفسها التي تم الحصول عليها بواسطة الأنموذج . الدوال الموجية للمستوي $J^+=2^+$ هي كالآتي:

$$\left|2^+_1\right\rangle = 0.691\ \left|s^1_\upsilon s^2_\pi d^1_\pi\right\rangle + 0.399\ \left|s^3_\pi d^1_\upsilon\right\rangle + 0.277\ \left|s^1_\pi d^2_\pi d^1_\upsilon\right\rangle + 0.234\ \left|s^1_\upsilon d^3_\pi\right\rangle + 0.237\ \left|s^1_\pi d^1_\upsilon d^2_\pi\right\rangle + ...$$

$$\left|2^+_2\right\rangle = 0.627\ \left\{\left|s^1_\upsilon s^1_\pi d^2_\pi\right\rangle + \left|s^2_\pi d^1_\pi d^1_\upsilon\right\rangle\right\} + 0.295\ \left\{\left|s^1_\pi s^1_\delta d^1_\pi d^1_\delta\right\rangle\right\} + 0.212\ \left\{\left|d^1_\upsilon d^3_\pi\right\rangle\right\} - 0.147\ \left\{\left|s^2_\pi d^2_\delta\right\rangle + \left|d^2_\pi s^2_\delta\right\rangle\right\} + 0.108\ \left|d^1_\upsilon d^3_\pi\right\rangle + ...$$

$$\left|2^+_3\right\rangle = 0.573\ \left|d^1_\upsilon s^3_\pi\right\rangle + 0.380\ \left|d^1_\upsilon s^1_\pi d^2_\pi\right\rangle + 0.330\ \left|s^1_\pi s^2_\delta d^1_\pi\right\rangle - 0.330\ \left\{\left|s^1_\upsilon s^2_\pi d^1_\pi\right\rangle + \left|s^2_\pi s^1_\delta d^1_\delta\right\rangle\right\} - 0.213\ \left|s^2_\pi s^1_\delta d^1_\delta\right\rangle + ...$$

نلاحظ ان المستوي المتهيج الأول لم يظهر فيه بروتون- نيوترون بوزون وهذا يعني ان هذا المستوي هو نتيجة تفاعل بوزونات من نوع بروتون- بوزون و نيوترون بوزون، اما المستويان الأخريان فإنهما يحتويان على مركبه لهذا البوزون . تم الحصول على حزمة واحدة فقط تابعة للتقسيم [N-2,2] و T=2 تنتمي لها المستويات ($J^+ = 0^+,1^+,2^+,3^+,4^+,5^+,6^+$) عند القيم النظرية MeV (6.634 , 8.445 , 8.645 , 9.745 , 10.065 , 12.085 , 15.035) في حين تم الحصول فقط على المستوي العملي ($J^+ = 2^+$) الذي ظهر عند القيمة MeV (8.066) . ومن الجدير بالذكر ان طاقة المستويين 2_1^+ و 0_2^+ تزداد كلما اقتربنا من القشرة المغلقة وهذا يؤكد نجاح الأنموذج في حساب طاقات المستويات وفق المعاملات المختارة للهاملتوني . نلاحظ من الجدول (2) ان هنالك توافقا ممتازا بالقيم النظرية والعملية للنسب لهذا النظير .



شكل (3) مقارنة بين النتائج العملية والنظرية لمستويات الطاقة للنظير ^{32}Si .

4. مستويات التناظر المختلط

ان تجارب الطيف النووي قد أوضحت وبشكل كامل وجود مستويات التناظر المختلط (*Mixed symmetry states*) ضمن مستويات الطاقة النووية ، عندما درس (*Faessler*) عام 1966 الحركة النووية التجميعية بين ان عدد البروتونات والنيوترونات تؤثر على هذه الحركة ولاسيما على سعتها [9] . وفي عام 1975 قام (*Ciroiner*) بمعالجة جديدة لهذه المسالة باستخدام الانتقال ثنائي القطب المغناطيسي في الانوية المشوهة ، بعد ذلك درس (*Bohr and Mottelson*) عدة انوية باستخدام أنموذجيهما لكن هذه الدراسات لم تستطع حساب طاقة هذه المستويات بشكل دقيق . لم يستطع أنموذج البوزونات المتفاعلة الأول في تحديد هذه

المستويات وعند تطوير هذا الأنموذج وإدخال درجات الحرية عليه استطاع الكشف عن الكثير من خصائص هذه المستويات، ان أهم مميزات أنموذج IBM-2 انه استطاع ان يتنبأ بمستويات التناظر المختلط ، إذ بين ان مستويات 1^+ التي لم يستطع أنموذج IBM-1 من حسابها تعتبر من أكثر المستويات التي تحمل خصائص التناظر المختلط وأكثرها تميزا[10] ، ولاحظ (*Ritcher*) عام 1984 ان اوطا مستوي 1^+ الذي يحمل خصائص التناظر المختلط تتقاطع فيه حركة البروتونات والنيوترونات بنمط حركة تشبه المقص يعرف بـــ (*Scissors mode*)[11]

(ويعني ان حركة البروتون والنيوترون ليست في طور واحد) . تتميز مستويات التناظر المختلط بالمميزات التالية [12] :

1. احتمالية الانتقالات E2 (رباعي القطب الكهربائي) قوية بين هذه المستويات وهذا يثبت طبيعة عزم رباعي القطب التجميعي .
2. عند انحلال هذه المستويات إلى مستويات التناظر الكلي تكون احتمالية الانتقال ثنائي القطب المغناطيسي (M1) قوية في حين احتمالية الانتقال رباعي القطب الكهربائي (E2) تكون ضعيفة .

من اجل تحديد مستويات التناظر المختلط تم دراسة سلوك هذه المستويات كدالة لمعاملات ماجورانا وتحديدا للمعاملات (C_{11} , C_{31}) ومعرفة تأثير تغير قيم هذين المعاملين على مستويات الطاقة . والشكل (4a) يوضح تغير مستويات الطاقة للنظير ^{28}Si عند تغير المعامل C_{11} مع الحفاظ على بقية المعاملات ثابتة عند قيمها المثالية حيث نلاحظ ان المستوي (1_1^+) ذا التناظر المختلط يتأثر بصورة كبيرة ويزداد بزيادة المعامل في حين نجد ان المستويات $(\mathbf{3_1^+,4_2^+,2_2^+})$ ذات التناظر الكلي فلا تتأثر بتغير المعامل ماعدا تغير طفيف جدا بالطاقة للمستوي $(2_2)^+$. اما تأثير المعامل على المستويات $(\mathbf{2_3^+,2_4^+,4_3^+})$ فنلاحظ إنها تتناسب تناسبا طرديا مع زيادته فكلما ازدادت قيمة المعامل C_{11} ازدادت معه مستويات الطاقة إلى ان تصل إلى الإشباع أو التغير الطفيف ولاسيما بعد القيمة المثالية .

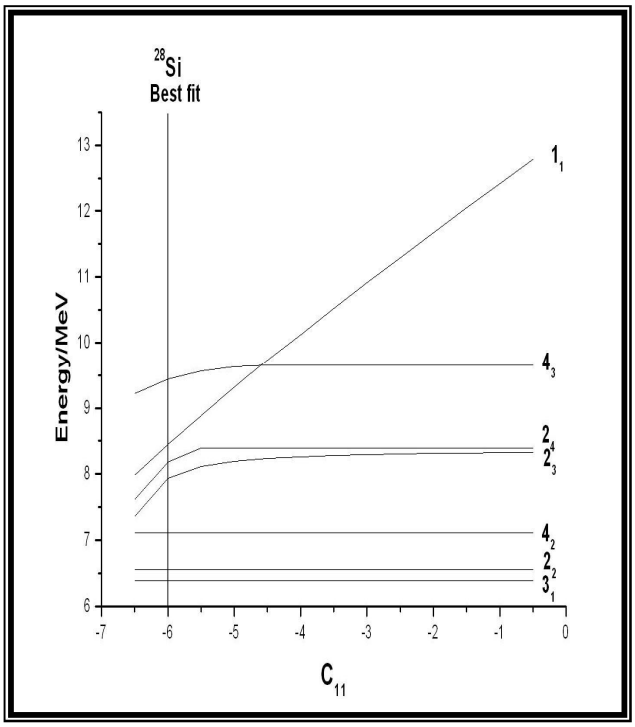
اما فيما يخص النظير ^{30}Si وما يوضحه الشكل (4b) فنجد ان المستوي 1_1^+ يسلك نفس سلوك المستوي 1_1^+ في النظير ^{28}Si في حين نجد ان مستويات التناظر الكلي المتمثلة بالمستويين $(\mathbf{2_3^+,4_3^+})$ لم تتأثر قط بتغير المعامل C_{11} . اما المستويات ذات التناظر المختلط فنجد أنها تتأثر بصورة طفيفة ومتقطعة ولاسيما عند المستويات $(\mathbf{3_1^+,4_2^+,2_2^+})$ وتتجه إلى النقصان عندما تقل قيمة المعامل عن القيمة المثالية .

الشكل (4c) يوضح تغير المستويات $1_1^+4_3^+, 2_4^+, 2_3^+, 3_1^+$ للنظير ^{32}Si كدالة للمعامل C_{11} وفيما يخص مستويات التناظر المختلط فنجد ان المستويين $(\mathbf{1_1^+,2_4^+})$ يتناسبان طرديا مع تغير المعامل C_{11} فتزداد قيمة طاقتهما حينما تزداد قيمته وتهبط عندما تقل قيمته بعد القيمة المثالية (*Best fit*) في حين نجد ان المستويات الأخرى تتأثر وبصورة طفيفة بتغيره.اما بالنسبة للمستويات ذات التناظر الكلي والمتمثلة بالمستويين $(\mathbf{4_2^+,2_2^+})$فنجد ان المستوي 4_2^+ ثابت بزيادة المعامل ولا يتغير إطلاقا عندما تقل قيمة المعامل عن القيمة المثالية في حين نجد ان المستوي 2_2^+ يتأثر بصورة طفيفة جدا بتغير المعامل C_{11} .

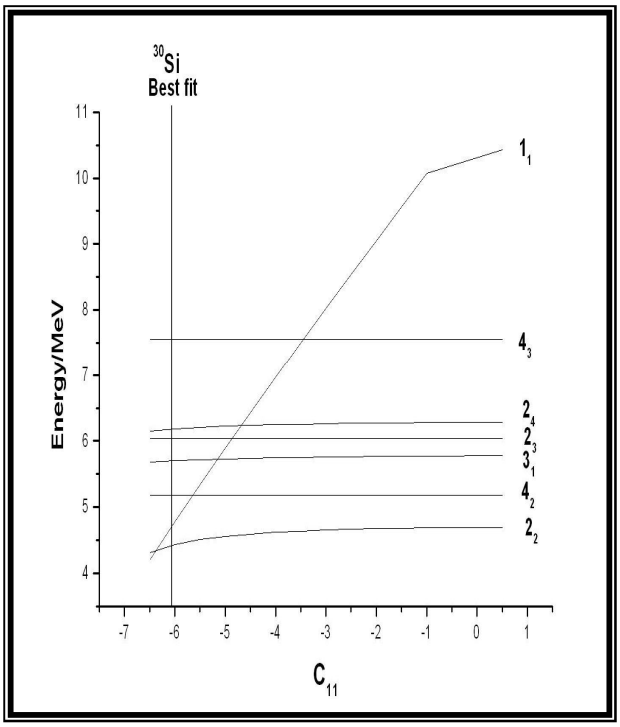
اما بالنسبة لتأثير المعامل C_{31} على مستويات الطاقة فنجد ان سلوك المستويات اختلف عن سلوكها السابق بتغير المعامل C_{11}. وفيما يخص النظير ^{28}Si وما يوضحه الشكل (4d) فنجد ان مستويات التناظر

الكلي $(3_1^+,4_2^+,2_2^+)$ تكون ثابتة بزيادة المعامل C_{31} ماعدا طاقة المستوي 2_2 حيث تهبط عندما تقل قيمته بعد القيمة المثالية (*Best fit*) . اما بالنسبة لمستويات التناظر المختلط $(1_1^+,2_3^+,2_4^+,4_3^+)$نجد ان المستوي 1_1^+ يتأثر بصورة كبيرة بتغير المعامل وينحدر عندما تقل قيمته عن القيمة المثالية النظرية . اما بالنسبة للمستويات الأخرى فنجد أنها تتأثر وتتجه نحو الهبوط عندما تقل قيمة المعامل عن القيمة المثالية النظرية .

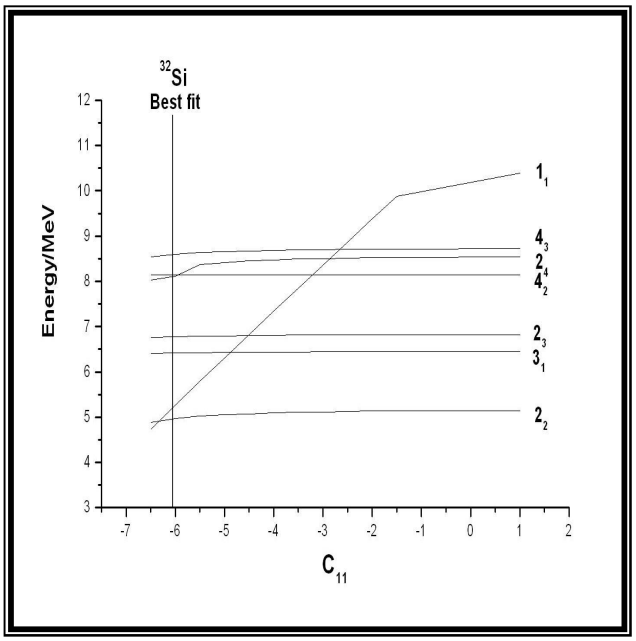
وبالنظر إلى تغير قيمة مستويات الطاقة للنظير ^{30}Si كدالة للمعامل C_{31} وما يوضحه الشكل (4e) فنجد ان مستويات التناظر المختلط والمتمثلة بالمستويات $(4_2^+,3_1^+,2_4^+,1_1^+)$ تتأثر بصورة كبيرة وتنحدر بشدة حينما تهبط قيمة هذا المعامل عن القيمة المثالية له ثم تزداد هذه المستويات تدريجيا بزيادته وهذا يؤكد حساسية هذه المستويات مختلطة التناظر لتغيرات معاملات ماجورانا ، في حين مستويات التناظر الكلي المتمثلة بالمستويات $(2_3^+,4_3^+)$ فنجد ان المستوي 2_3 لا يتأثر بتغير المعامل C_{31} في حين المستوي 4_3^+ فانه يبدأ بالنقصان بطاقته تدريجيا وبصورة طفيفة عندما تقل قيمة المعامل عن القيمة المثالية . ولنتفحص تغير مستويات الطاقة للنظير ^{32}Si كدالة للمعامل C_{31} وما يوضحه الشكل (4f) نجد ان طاقة جميع المستويات تتأثر بتغير المعامل C_{31}.



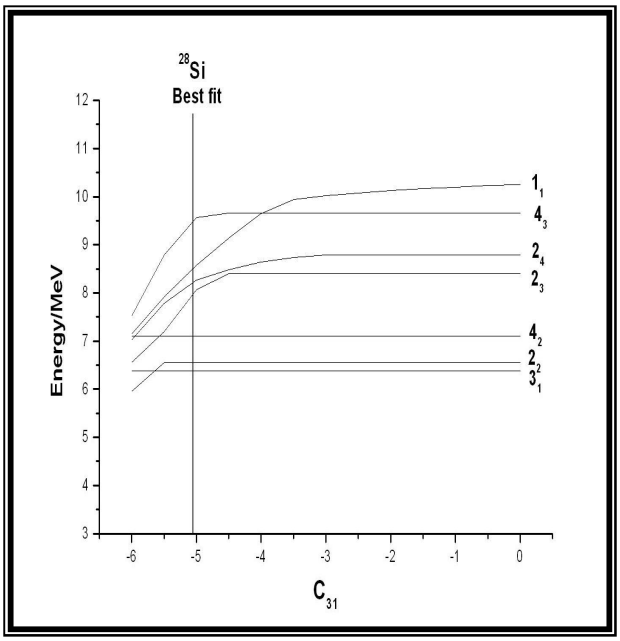
(a)



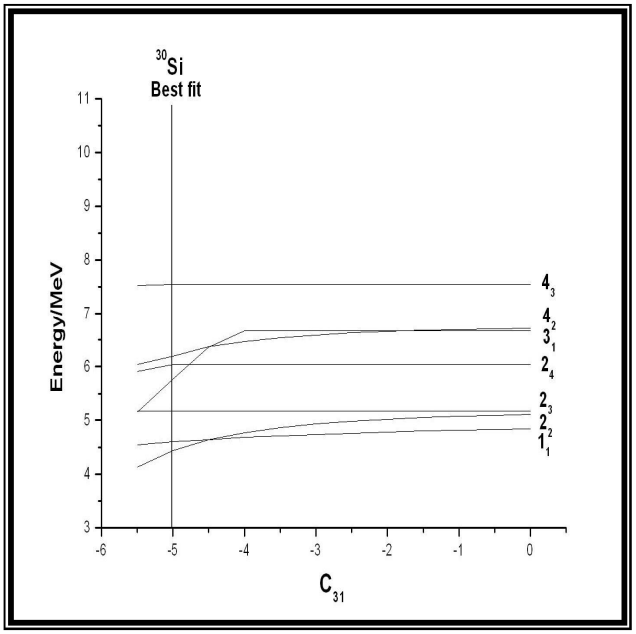
(b)



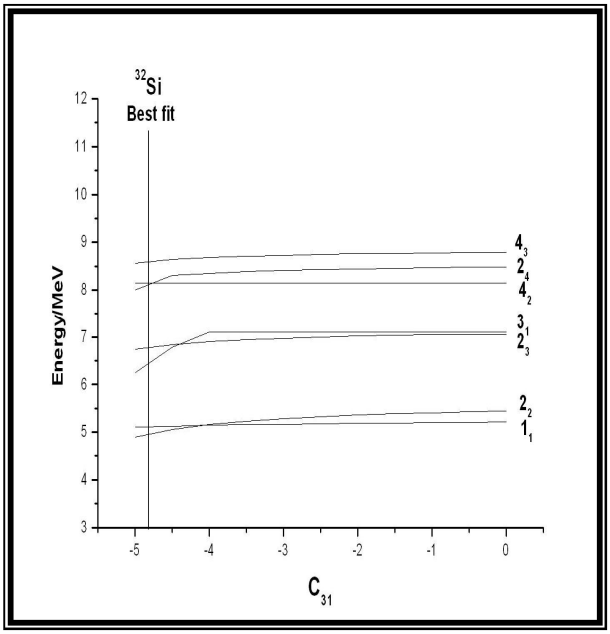
(c)



(d)



(e)



(f)

الشكل (4) يوضح تغير مستويات الطاقة كدالة لمعاملات ماجورانا C_{11} و C_{31} .

5. الانتقالات الكهرومغناطيسية

بصورة عامة مؤثر الانتقال الكهرومغناطيسي في أنموذج IBM-3 يتكون من المركبات (العددي (*isoscalar*) و الاتجاهي (*isovector*) و التنسوري (*isotensor*)) :

$$\hat{T}^{l}_{m_l}(l_1,l_2)=\alpha\hat{T}^{l,0}_{m_l,0}(l_1,l_2)+\beta\hat{T}^{l,1}_{m_l,0}(l_1,l_2)+\gamma\hat{T}^{l,2}_{m_l,0}(l_1,l_2) \quad (8)$$

الرموز فوق المؤثرات تشير إلى الزخم الزاوي والبرم النظيري على التوالي . بصورة عامة مؤثر الانتقال في IBM-3 يكون فيه النظير التنسوري مستثنى [13]. أما مؤثر الانتقال رباعي القطب الكهربائي $E2$ فيكون له مركبة اتجاهية وعددية في فضاء البرم النظيري للبوزون وكالاتي[14]

$$T(E2)=T^{0}(E2)+T^{1}(E2) \quad (9)$$

$$\begin{aligned} T^{0}(E2)&=\alpha_0\sqrt{3}\left[(s^{+}\hat{d})^{20}+(d^{+}\hat{s})^{20}\right]+\beta_0\sqrt{3}\left[(d^{+}\hat{d})^{20}\right]\\ T^{1}(E2)&=\alpha_1\sqrt{3}\left[(s^{+}\hat{d})^{21}+(d^{+}\hat{s})^{21}\right]+\beta_1\sqrt{3}\left[(d^{+}\hat{d})^{21}\right] \end{aligned} \quad (10)$$

أما مؤثر الانتقال ثنائي القطب المغناطيسي $M1$ هو الأخر يتكون من مركبتين عددية واتجاهية وكالاتي :

$$T(M1)=T^{0}(M1)+T^{1}(M1) \quad (11)$$

$$T^{0}(M1)=g_0\sqrt{3}(d^{+}\hat{d})^{10}=g_0\,L/\sqrt{10} \quad (12)$$

$$T^{1}(M1)=g_1\sqrt{3}(d^{+}\hat{d})^{11}$$

حيث g_1 و g_0 هما قيم معامل g عندما T=1 , T=0 على التوالي و L مؤثر الزخم الزاوي . وان احتمالية الانتقال الكهرومغناطيسي تحسب من المعادلة الآتية :

$$B(\overline{w}\lambda;J_i\rightarrow J_f)=\frac{2J_f+1}{2J_i+1}\left|\left\langle J_f\left|T(\overline{w}\lambda)\right|J_i\right\rangle\right|^2 \quad (13)$$

حيث $\overline{w}\lambda\equiv E\lambda \quad or \quad M\lambda$.

تم حساب معدلات الانتقال الرباعي القطب الكهربائي باستخدام المعادلة (13) التي تصف مؤثرات (*isoscalar*) و (*isovector*) للبوزون الواحد وذلك من خلال تحديد قيم معاملات (β_0، α_0) و(β_1،α_1) وفي حساباتنا الحالية تم تحديد قيم هذه المعاملات الموضحة في الجدول (3) اعتمادا على القيمة العملية للانتقال $\mathbf{2_1\rightarrow 0_1}$ ولخصت نتائج الانتقال رباعي القطب الكهربائي B(E2) في الجدول (5) حيث تشير هذه القيم إلى التقارب والانسجام الواضح بين النتائج النظرية IBM-3 والنتائج العملية المتوفرة لدينا . وتعتبر احتمالية الانتقال رباعي القطب الكهربائي B(E2) وقابلية حسابها من العوامل المهمة والأساسية في قابلية تحديد نجاح أي أنموذج نووي لأنها تعتمد على قيم الدوال الموجية المحسوبة من خلال حسابات مستويات الطاقة . تم حساب نسب التفرع لمعرفة شكل النواة والتحديد الذي تنتمي إليه ويمكن تعريف نسبة التفرع بأنها النسبة بين انتقاليين لهما المستوي الابتدائي نفسه ، والجدول (4) يوضح نتائج قيم نسب الفرع الاتية

$$(R_1 = B(E2;2_2 \to 0_1)/B(E2;2_1 \to 2_1) \quad ، \quad (R_2 = B(E2;2_2 \to 2_1)/B(E2;2_1 \to 0_1)$$،

$$(R_3 = B(E2;4_2 \to 4_1)/B(E2;4_2 \to 2_2) \text{ ، } (R_4 = B(E2;4_1 \to 2_1)/B(E2;2_2 \to 2_1)$$

لنظائر السليكون وسجلنا توافقا جيدا للنسب وكانت أعلى النتائج هي للنظير ^{28}Si .

ان احتمالية حدوث الانتقال ثنائي القطب المغناطيسي في أنموذج IBM-3 تم الحصول عليه من خلال استخدام المعادلة (13) التي تصف مؤثرات *isoscalar* و *isovector* للبوزون الواحد وتم ذلك من خلال تحديد قيم المعاملات (g_0 , g_1) الموضحة في الجدول (3) . لم تتوفر لدينا معلومات تجريبية فيما يخص احتمالية الانتقال ثنائي القطب المغناطيسي للنظير ^{32}Si وذلك لاقتراب عدد النيوترونات إلى القشرة المغلقة Z=20 ، نظريا أعلى الانتقالات سجلت للنظير ^{30}Si والخاصة بالمستويات متناظرة الخلط .

الاستنتاجات

من خلال الدراسة التي قمنا بها لمستويات الطاقة والانتقالات الكهرومغناطيسية وتأثير تهيجات البرم النظيري على قيم هذه المستويات وكذلك نوعية التناظر ومن خلال المعلومات التي حصلنا عليها يمكن تلخيص الاستنتاجات وكما يأتي :من خلال نسب الطاقة تم تحديد كل نواة اعتمادا على مثلث كاستن واتضح لنا ان انوية السليكون تكون قريبة جدا من التحديد الانتقالي O(6) . عند إضافة تأثير تفاعلات ماجورانا على قيم مستويات الطاقة اتضح لنا ان المستوي ذا التناظر المختلط 1^+ هو من أكثر المستويات تأثرا بالتغيرات في معاملات ماجورانا إضافة إلى مستويات التناظر المختلط $J^+=2^+$. عند دراسة الانتقالات الكهرومغناطيسية للانوية وجدنا ان هنالك توافقا جيدا بين الانتقالات ولاسيما حينما يكون الانتقال داخل الحزمة نفسها ، حصلنا على توافق عند حساب نسب التفرع مع العلم ان نسب التفرع دائما قابلة للخطأ . استطاع أنموذج IBM-3 في تحديد مستويات البرم النظيري في جميع النظائر . من مقارنة النتائج التجريبية وجدنا توافقا جيدا بينهما داعما قابلية الانموذج في دراسة خواص هذه الانوية الخفيفة .

جدول (3) يوضح قيم احتمالية حدوث الانتقال رباعي القطب الكهربائي B(E2) بوحدات e^2b^2 والانتقال ثنائي القطب المغناطيسي B(M1) بوحدات μ_N^2 لنظائر السليكون Si^{28-30}

B(E2)						
$J_i^+ \to J_f^+$	^{28}Si		^{30}Si		^{32}Si	
	EXP	IBM-3	EXP	IBM-3	EXP	IBM-3
	0.0066	0.0058	0.0046	0.0048	0.0000	0.0040
$2_1 \to 0_1$	0.0001	0.0004	0.0000	0.0003		0.0003
$2_2 \to 0_1$	0.0003	0.0002		0.0002		0.0003
$2_2 \to 0_2$	0.0004	0.0000	00.000	0.0000		0.0000
$0_2 \to 2_1$	0.0069	0.0076	0.0025	0.0060		0.0048
$4_1 \to 2_1$	0.0000	0.0003	0.0049	0.0020		0.0001
$4_2 \to 2_1$	0.0146	0.0041		0.0030		0.0022
$4_2 \to 2_2$	0.0001	0.0004	0.0002	0.0002		0.0002
$3_1 \to 2_1$		0.0000	0.0000	0.0002		0.0002
$1_1 \to 2_1$	0.0049	0.0077		0.0058		0.0042
$6_1 \to 4_1$		0.0076	0.0001	0.0060	0.0000	0.0001
$2_2 \to 2_1$		0.0037		0.0028		0.0048
$4_2 \to 4_1$	0.0066	0.0058	0.0046	0.0048		0.0020
B(M1)						
$J_i^+ \to J_f^+$	^{28}Si		^{30}Si		^{32}Si	
	EXP	IBM-3	EXP	IBM-3	EXP	IBM-3
$0_2 \to 1_1$	0.00014	0.0000	0.0001	0.0000		0.0000
$1_1 \to 0_1$	0.0043	0.0000	0.0093	0.0069		0.0103
$1_1 \to 2_1$		0.0000	0.1611	0.0000		0.0000
$2_2 \to 2_1$		0.0000	0.0021	0.0000		0.0000
$2_3 \to 1_1$		0.0000	0.0644	0.0135		0.0331

جدول (4) يوضح قيم نسب التفرع لنظائر السليكون Si^{28-32}.

A	R_1	R_2	R_3	R_4
28	0.053	1.31	0.902	1
30	0.05	1.25	0.933	1
32	0.063	1.20	0.909	1
U(5)	0.01	1.40	0.72	1.0
SU(3)	0.70	0.02	0.03	6.93
O(6)	0.07	0.79	0.75	1.84

المصادر

[1] A. Arima and F. Iachello, Ann. Phys., 99, 253 (1976).

[2] A. Arima and F. Iachello, Ann. Phys., 111, 201 (1978).

[3] A. Arima and F. Iachello, Ann. Phys., 123, 468 (1979).

[4] F. Iachello and A. Arima, " *The Interacting Boson Model*" ,Cambrideg, Cambrideg University Press (1987).

[5] F. H. Al-Khudair ,"Ph. D Thesis , Tsinghua University, Beijing , China (2005) .

[6] J .E. Garcia-Ramos and P.Van Isacker. Ann. Phys. 274, 45 (1999).

[7] G.L. Long, Chinese Journal of Nuclear Physics, 16, 331 (1994).

[8] National Nuclear Data Center *http://www.nndc.bnl.gov* (2011).

[9] F. H. Al-khudair ,"M. Sc. Thesis , Basrah university ,(1995).

[10] M. Sambataro , O.Scholten , A.E.L.Dieperink . N.Lo Iudice , F.Palumbo, Phys. Lett. B 137 (1984), 27 .

[11] Richter A . Nucl . Phys . , 1991 , A 522: 139c-166c .

[12] D. Hamilton, A. Irback and J.P. Elliott, Phys. Rev. Lett., 53, 2469 (1984).

[13] J. P. Elliott, J. A. Evans, and S. V. Lac, Nucl. Phys. A 597, 341 (1996).

[14] F. H. Al-Khudair, Y. S. Li, and G. L. Long, Phys. Rev. C 75, 054316 (2007).

[15] J. Stachel , P.Van Isacker, K. Heyde , Phys. Rev.C25,650 (1982) .

Isospin and Symmetry Exatations in Light Nuclei Silicon ($^{28-32}$Si) & Magnesium ($^{22-26}$Mg) Isotopes.

F. H. Khudair And Musa Mohammed Mahdy

Department of Physics – College of Education – University of Basrah
Basrah – Iraq

Abstract

The interacting boson model with isospin (IBM-3) has been used to study the positive parity states in (even-even) $^{28-32}$Si and $^{22-26}$Mg isotopes . The bands structure and symmetry have been investigated . Special attention is given to the occurrence isospin excitations . To identify nuclei's shape , the energy ratios were calculated . The reduced electric quadruple transitions probability B(E2), the magnetic dipole transitions B(M1) and branch ratios were calculated , and these transitions were compared with available experimental data , well as we study the energy levels for Si and Mg as a function of Majorana parameters which are so necessary for the identification of the mixed symmetry states .The calculated results are compared with available experimental data , and they are in general good agreement . according to our theoretical results , we found that the silicon isotopes belong to the O(6) limit (γ-unstable), while the magnesium isotopes appears the limits of U(5) and Su(3) according to IBM-3 limits properties . It was pointed out that IBM-3 is equitably reliable for the description of spectra and other properties of these nuclei .