متوفر على الموقع http://www.basra-science-journal.org

ISSN –1817 –2695

الاستلام 2017-7-18 ، القبول 2017-10-11

دراسة التركيب النووي لنظائر الأريبيوم (A=152-156) في إطار إنموذج البوزونات المتفاعلة

أشواق فيصل جعفر

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

الملخص

تم حساب مستويات الطاقة ذات التماثل الموجب واحتمالية الانتقال رباعي القطب الكهربائي وثنائي القطب المغناطيسي لنظائر الاريبيوم $^{152-156}$Er في أطار أنموذج البوزونات المتفاعلة. تمت دراسة سطح طاقة الجهد كدالة لمعاملات التشوه (β,γ). تمت دراسة صفة staggering في حزمة كاما للنظير ^{156}Er. من خلال نسبة الطاقة $E_{4_1^+}/E_{2_1^+}$ كذلك شكل سطوح طاقة الجهد اتضح إنَّ هذه النظائر تمتلك خصائص التحديد الاهتزازي U(5). قُورنت النتائج النظرية للإنموذجين مع القيم العملية المتوفرة وحصلنا على توافق جيد في ما بينها.

الكلمات المفتاحية: أنموذج البوزونات المتفاعلة (IBM-1)، (IBM-2)، الانتقالات الكهرومغناطيسية، سطح طاقة الجهد، نظائر الاريبيوم

المقدمة:

على الرغم من النجاح الكبير الذي حققته العديد من النماذج النووية المقترحة في ربط المعطيات وتفسير الحقائق النووية إلاَّ إنَّها لم تصل إلى مرحلة اعتماد أنموذج واحد، أي أنموذج موحد وشامل يستطيع أن يفسر كل ما يلخص النوى من تركيب وتفاعلات. إنَّ ظهور أنموذج البوزونات المتفاعلة أدى إلى إضافة مفاهيم جديدة حول الخصائص التجميعية للأنوية الزوجية – الزوجية ذات الأعداد الكتلية المتوسطة و الثقيلة [1-5]، وأستند هذا الإنموذج على الأفكار الأساسية لإنموذج القشرة [4]. لم يستطع أنموذج القشرة معالجة الأعداد الكبيرة من النيوكليونات خارج القشرة المغلقة مثلا المستوي 2^+ في نظير الساميريوم^{154}Sm له $3x16^{14}$ من المستويات [5] أما في أنموذج البوزونات المتفاعلة (IBM) يختزل هذه الأعداد الهائلة إلى 26 مستوى يحمل زخم زاوي 2^+. إنَّ

إنموذج البوزونات المتفاعلة (IBM) يعالج أزواج النيوكليونات خارج القشرة المغلقة التي تمت معالجتها كبوزون بحيث لم يأخذ بنظر الأعتبار درجات الحرية لهذه البوزونات [6] وسمي بـ (IBM-1) وقد تطور هذا الأنموذج بإدخال درجات الحرية للبوزونات ونتيجة لهذا التعديل تم الكشف عن خصائص نووية جديدة للنوى وسمي بأنموذج البوزون المتفاعل الثاني (IBM-2) [7,8] . حضيت نواة الاربيوم على اهتمام واسع من اغلب الباحثين في مجال الفيزياء النووية النظرية وقد كان لأنموذج البوزونات المتفاعلة الحصة الكبيرة في دراسة التركيب النووي لهذه النواة [9-13]. في هذا البحث ستُحسب طاقة المستويات والانتقالات الكهرومغناطيسية وسطح طاقة الجهد لنظائر الأربيوم $^{152-156}$Er في إطار أنموذج البوزونات المتفاعلة الأول والثاني (IBM-1) و (IBM-2) ومقارنة النتائج مع القيم العملية.

الأسس النظرية وهاملتوني النظام:

أنموذج البوزونات المتفاعلة الاول (IBM-1):

افترض أنموذج البوزونات المتفاعلة الاول إنَّ أزواج النيكليونات خارج القشرة المغلقة عبارة عن بوزونات تتفاعل مع بعضها من دون إنَّ يميزها في ما إذا كانت بوزونات من نوع بروتون او نيترون. هذه البوزونات لها زخم زاوي L=0 للبوزون نوع S و L=2 للبوزون نوع d وإن الخواص النووية التجميعية توصف بتفاعل هاتين الحالتين[1]. الصيغة العامة لهاملتوني إنموذج البوزونات المتفاعلة الاول IBM-1 بدلالة الجسيم الواحد والجسيمين : [14]

$$H = E_{\circ} + \varepsilon_S\left(s^{\dagger}.\tilde{s}\right) + \varepsilon_d \sum_{\mu} d^{\dagger}{}_{\mu}\,\tilde{d}_{\mu} + \sum_{L=0,2,4} \frac{1}{2}(2L+1)^{1/2} c_L \left[\left(d^{\dagger}\times d^{\dagger}\right)^{(L)} \times \left(\tilde{d}\times\tilde{d}\right)^{(L)}\right]_0^{(0)}$$
$$+ \frac{1}{\sqrt{2}}\nu_2\left[\left(d^{\dagger}\times d^{\dagger}\right)^{(2)} \times \left(\tilde{d}\times s\right)^{(2)} + \left(d^{\dagger}\times s^{\dagger}\right)^{(2)} \times \left(\tilde{d}\times\tilde{d}\right)^{(2)}\right]_0^{(0)}$$
$$+ \frac{1}{2}\nu_o\left[\left(d^{\dagger}\times d^{\dagger}\right)^{(0)} \times \left(s\times s\right)^{(0)} + \left(s^{\dagger}\times s^{\dagger}\right)^{(0)} \times \left(\tilde{d}\times\tilde{d}\right)^{(0)}\right]_0^{(0)}$$
$$+ u_2\left[\left(d^{\dagger}\times s^{\dagger}\right)^{(2)} \times \left(\tilde{d}\times s\right)^{(2)}\right]_0^{(0)} + \frac{1}{2}u_o\left[\left(s^{\dagger}\times s^{\dagger}\right)^{(0)} \times \left(s\times s\right)^{(0)}\right]_0^{(0)} \quad \ldots\ldots\ldots(1)$$

حيث إنّ $\varepsilon_s\varepsilon_d$, طاقة البوزون s والبوزون d. وان $c_L = 0,2,4$, $v_L = 0,2$, $u_L = 0,2$ تمثل معاملات التفاعل بين البوزونات. الرمز العلوي (0) , (2) تمثل ازدواجات الزخم الزاوي. تحوي المعادلة على تسع معاملات اثنان بدلالة الجسيم الواحد وسبع في بدلالة الجسمين. يمكن كتابة هاملتوني المعادلة (١) بدلالة مؤثرات كازمر للمجموعة U(6) [15]، في هذه الحالة يمكن القول إنَّ هناك ثلاثة تحديدات ديناميكية لهاملتوني المعادلة (١)، التحديد الاهتزازي U(5) والتحديد الدوراني SU(3) والتحديد الانتقالي O(6) (γ-unstable).يمكن كتابة مؤثر الهاملتوني بطريقة التوسيع المتعدد [16] :

$$\hat{H}_{sd} = \mathrm{E}_d\hat{n}_d + a_{\circ}\hat{P}^{+}.\hat{P} + a_1\hat{L}.\hat{L} + a_2\hat{Q}.\hat{Q} + a_3\hat{T}.\hat{T} + a_4\hat{T}_4.\hat{T}_4 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

E_d تمثل طاقة البوزون d و n_d عدد البوزونات نوع d اما P وL وQ هي مؤثرات تفاعل الازدواج والزخم الزاوي ومؤثر رباعي القطب و الحدين الأخيرين يمثلان ثماني القطب والقطب السادس عشر بين البوزونات على التوالي. وتأخذ الصيغ التالية[8]:

$\hat{Q} = \left(d^+ \times s + s^+ \times \tilde{d}\right)^2 + \chi\left(\tilde{d} \times d^+\right)^2$ مؤثر رباعي القطب الكهربائي ، $\chi = \pm\frac{\sqrt{7}}{2}$

$\hat{P} = \frac{1}{2}\left[(\tilde{d}.\tilde{d}) - (s.s)\right]$ مؤثر تفاعل الازدواج بين البوزونات

$\hat{L} = \sqrt{10}\left(d^+ \times \tilde{d}\right)^{(1)}$ مؤثر الزخم الزاوي للبوزون

$\hat{T}_l = (d^+ \times \tilde{d})^{(l)}$ مؤثر التفاعلات من الرتبة 2^l $l = 0,1,2,3,4$

$\hat{n}_d = \sqrt{5}T_\circ$ مؤثر العدد الكلي للبوزونات نوع d-boson

مؤثر إنتقال رباعي القطب الكهربائي يأخذ الصيغة التالية [17]:

$T^{E2} = \alpha[d^+ \times S + S^+\tilde{d}]^{(2)} + \beta[d^+ \times d]^{(2)}$ ..... (3)

أنموذج البوزونات المتفاعلة الثاني (IBM-2):

إنَّ هاملتوني أنموذج (IBM-2) يتكون من ثلاثة حدود: الحد الأول للبوزون البروتوني (proton boson) والحد الثاني للبوزون النيوتروني (neutron boson) والحد الأخير يصف التفاعل بين البوزون البروتوني و البوزون النيوتروني.

$H = H_\pi + H_\nu + H_{\pi\nu}$ ..... (4)

الصيغة العامة لهاملتوني إنموذج البوزونات المتفاعلة الثاني (IBM-2) [8,18] :

$H = \varepsilon_d(\hat{n}_{d\nu} + \hat{n}_{d\pi}) + k\left(\hat{Q}_\nu.\hat{Q}_\pi\right) + \hat{V}_{\nu\nu} + \hat{V}_{\pi\pi} + \hat{M}_{\nu\pi}$ .....(5)

الحد الأول من المعادلة (5) يمثل طاقة البوزون المنفرد نوع بروتون ونيترون. ($n_{d\pi}$ ، $n_{d\nu}$) عدد البوزونات نوع d، الحد الثاني يمثل قوة تفاعلات رباعي القطب بين البوزونات نوع بروتون ونيترون ، الحدين $V_{\nu\nu}$ ، $V_{\pi\pi}$ يمثلان تفاعلات بين البوزونات من النوع نفسه على التوالي. الحد الأخير $M_{\nu\pi}$ يمثل حد ماجورانا وقوة هذا الحد تتمثل في تأثيره على طاقة المستويات المتماثلة الخلط . وتكون هذه الحدود بالشكل التالي [18]:

$Q_p = \left[d_p^+ \times \tilde{s}_p + s_p^+ \times \tilde{d}_p\right]^{(2)} + x_p\left[d_p^+ \times \tilde{d}_p\right]^{(2)}$ .....(6)

$$V_{pp} = \frac{1}{2}\Sigma_{(L=0,2,4)}\, c_{Lp}[d_p^+ d_p^+]^{(L)}.[\tilde{d}_p \tilde{d}_p]^{(L)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(7)$$

$$M_{v\pi} = \frac{1}{2}\xi_2[s_v^+ d_\pi^+ - d_v^+ s_\pi^+]^{(2)}.[s_v d_\pi - d_v s_\pi]^{(2)} - \sum_{k=1,3}\xi k[d_v^+ d_\pi^+]^{(k)}.[d_v d_\pi]^{(k)} \quad \ldots\ldots..(8)$$

ويعطى مؤثر انتقال رباعي القطب الكهربائي في أنموذج IBM-2 [18]:

$$T(E2) = e_v.Q_v + e_\pi.Q_\pi \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(9)$$

e_π و e_v يمثلان الشحنة المؤثرة للبوزون نوع π و v على التوالي. أما مؤثر إنتقال ثنائي القطب المغناطيسي فيعطى بـ :

$$T(M1) = \sqrt{\frac{3}{4\pi}}(g_v.L_v + g_\pi.L_\pi) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(10)$$

g_π و g_v المعاملات الجيرومغناطيسية للبوزون نوع بروتون ونيترون على التوالي وإنَّ احتمالية إنتقال رباعي القطب الكهربائي تعطى بالعلاقة التالية:

$$B(E2; I_i \to I_f) = \frac{1}{2I_i+1}\left|\langle I_f \| T^{E2} \| I_i \rangle\right|^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(11)$$

واحتمالية انتقال ثنائي القطب المغناطيسي

$$B(M1; I_i \to I_f) = \frac{1}{2I_i+1}\left|\langle I_f \| T^{M1} \| I_i \rangle\right|^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(12)$$

النتائج والمناقشة:

لحساب مستويات الطاقة لنظائر الاريبيوم $^{152\text{-}156}$Er يتوجب علينا معرفة شكل النواة ويمكن ذلك من خلال قيمة النسبة $E_{4_1^+}/E_{2_1^+}$. ان هذه النسبة حددت شكل النواة بناءٍ على قيم تقريبية, فالنواة الاهتزازية U(5) لها قيمة تساوي ٢ و الانتقالية O(6) و الدورانية SU(3) تساوي ٢,٥ و ٣,٣٣ على التوالي [6, 14] . الجدول (١) يوضح قيمة هذه النسبة للنظائر المختارة.

طيف الطاقة

إنَّ نظائر الاريبيوم $^{152\text{-}156}$Er لها عدد بروتونات تساوي ٦٨ وعدد نيترونات (٨٤-٨٨). لذا عدد بروتون بوزون يكون N_π=7 وعدد نيترون بوزون (1-3)=N_v اي إنّ $N=N_\pi+N_v$ فالعدد الكلي يساوي (٨-١٠) وهذا الرقم يقدم لنا وفرة من مستويات الطاقة مما يتيح لنا دراسة الخصائص النووية بشكل جيد. الجدولين (٢) و (٣) يوضحان قيم المعاملات المستخدمة في حساب قيم مستويات الطاقة لإنموذجي البوزونات المتفاعلة الأول والثاني على التوالي. الأشكال (1-3) توضح مقارنة قيم طاقة المستويات للنتائج النظرية IBM-1, IBM-2 مع النتائج العملية [19]. شملت الدراسة الحزمة الارضية المتمثلةبالمستويات $(0_1^+, 2_1^+, 4_1^+, 6_1^+, 8_1^+, 10_1^+, 12_1^+)$ والحزمة الشبيهة ببيتا وتشمل المستويات $(0_2^+, 2_2^+, 4_2^+)$والحزمة الشبيهة بحزمة كاما وشملت

المستويات $(2_3^+, 3_1^+)$ [20]. نلاحظ من الشكل (١) إنَّ نتائج IBM-2 للحزمة الارضية هي الأقرب للنتائج العملية المتوفرة . إنَّ المستويات التي تندرج تحت الرمز [N] هي مستويات متماثلة كليا، اما المستويات التي تكون تحت [N-1,1] هي مستويات ذات تناظر مختلط mixed symmetry states وهي خارج فضاء إنموذج (IBM-1). إنَّ أوطئ مستوي ذات تناظر مختلط في النظير ^{152}Er هو المستوي 2_2^+ ذي طاقة $E_{2_1^+} = 1.703$ MeV. الشكل (٢) يوضح طاقة المستويات للنظير ^{154}Er لم تتوفر نتائج عملية لهذا النظير فقط للحزمة الارضية وقد حصلنا على تقارب بين نتائج IBM-1 والنتائج العملية بينما نتائج IBM-2 تبدو متطابقة مع النتائج العملية .إنَّ أوطئ مستوي ذات تناظر مختلط لهذا النظير هو المستوي 2_3^+ ذي طاقة تساوي ١,٦٥٣MeV . مستويات الطاقة للنظير ^{156}Er موضحة بالشكل (٣) نلاحظ وجود وفرة من النتائج العملية ، فيما يخص الحزمة الارضية فالنتائج النظرية لكلا الأنموذجين نجحت في الوصول إلى تطابق جيد مع النتائج العملية، لكنهما اخفقا في الحصول على تطابق مع النتائج العملية لطاقة مستويات حزمة بيتا والنتائج الأقرب هي نتائج إنموذج (IBM-1). لوحظ في النتائج العملية لمستويات حزمة كاما ظاهرة مهمة وهي ظاهرة odd-even Staggering، هذه الظاهرة تمت دراستها بشكل واسع لما لها من أهمية كبيرة في تحديد شكل ونوع النواة [21, 22] . نتائج أنموذج IBM-1 لمستويات حزمة كاما فيما يخص هذه الظاهرة في النظير ^{156}Er جاءت مطابقة للنتائج العملية من حيث مواقع المستويات وتسلسلها، بينما نتائج أنموذج IBM-2 لا تشير إلى أي وجود لظاهرة odd-even Staggering في مستوياتها. أنَّ اتفاق نتائج IBM-1 مع النتائج العملية في تحديد وجود هذه الظاهرة في النظير ^{156}Er يعود إلى إن قيمة النسبة $E_{4_1^+}/E_{2_1^+}$ متطابقة وتساوي (٢,٣٥٠٥) و (٢,٣١٤٣) لنتائج (IBM-1) و (EPX.) على التوالي. وكلاهما يضعان النواة ضمن نوع γ- soft [22]. إنَّ أوطئ مستوي طاقة ذات تماثل مختلط للنظير ^{156}Er هو 2_4^+ وطاقته تساوي1.583 MeV يظهر المستوي 1^+ في نتائج IBM-2 بطاقة تساوي (2.025, 2.312, 2.512) MeV للنظائر الثلاثة على التوالي ولا تتوفر قيم عملية لحد ألان لهذه المستويات.

الانتقالات الكهرومغناطيسية:

تم حساب احتمالية الانتقال رباعي القطب الكهربائي B(E2) واحتمالية انتقال ثنائي القطب المغناطيسي B(M1) باستعمال المعادلات (٣, ١١, ١٢) لأنموذجي IBM-1 و IBM-2. الجدول (٥) يوضح قيم احتمالية انتقال رباعي القطب الكهربائي B(E2) وثنائي القطب المغناطيسي B(M1) لأنموذجي IBM-1 و IBM-2 إنَّ المعاملات التي ظهرت في المعادلات(3 ,11) تم تحديدها اعتمادا على ملائمة نتائج الانتقال $B(E2: 2_1^+ \to 0_1^+)$ مع القيم العملية لهذا الانتقال. إنَّ أقوى الانتقالات الكهربائية لنتائج (IBM-1, IBM-2) للنظيرين ^{154}Er و ^{156}Er هي $(10_1^+ \to 8_1^+)$ وإنَّ هذا الانتقال يحقق قواعد الانتقاء للتحديد الاهتزازي U(5) أما النظير ^{152}Er فالانتقال الكهربائي الأقوى لكلا النتائج النظريةهو$(8_1^+ \to 6_1^+)$.

سطح طاقة الجهد

تم حساب سطح طاقة الجهد لكل نواة وفق معادلة سطح طاقة الجهد Potential Energy Surface المعتمدة على β , γ [8,23]:

$$E(\beta,\gamma)=\frac{N}{1+\beta^2}(R_1+R_2\beta^2)+\frac{N(N-1)}{(1+\beta^2)^2}\left(R_3\beta^4+R_4\beta^3\cos3\gamma+R_5\beta^2+R_6\right) \quad \ldots\ldots\ldots (13)$$

N هو العدد الكلي للبوزونات وβ معامل التشوه وتأخذ القيم(0-3) بينما γ عامل زاوية التشوه وقيمها(0^0 – 60^0) $R_1,\ldots,R_6$: معاملات تعتمد على معاملات هاملتوني النظام في حساب مستويات الطاقة لأنموذج IBM-1. الشكل (5) سطوح طاقة الجهد لنظائر الاربيوم $^{152\text{-}156}$Er . إنَّ نتائج سطح طاقة الجهد لإنموذج IBM-1 تشير إلى انتماء جميع النظائر المدروسة إلى التحديد U(5). إنَّ لكل قيمة من قيم β سطوح تساوي جهد تتساوى فيها قيم الطاقة على امتداد قيم كاما $\gamma = 0^0 - 60^0$ ، وان اوطئ قيمة لسطح طاقة الجهد تساوي صفر لجميع النظائر عند $\beta = 0$ و $\gamma = 0^0$ وأعلى قيمة لها تساوي ٥,٤٠٧, ٥,٧٢٠, ٣,٩١٠ للنظائر ^{152}Er و ^{154}Er و ^{156}Er على التوالي وهذا يدل على انتماء هذه النظائر إلى التحديد U(5) [23].

صفة Staggering في حزمة كاما كدالة للزخم الزاوي:

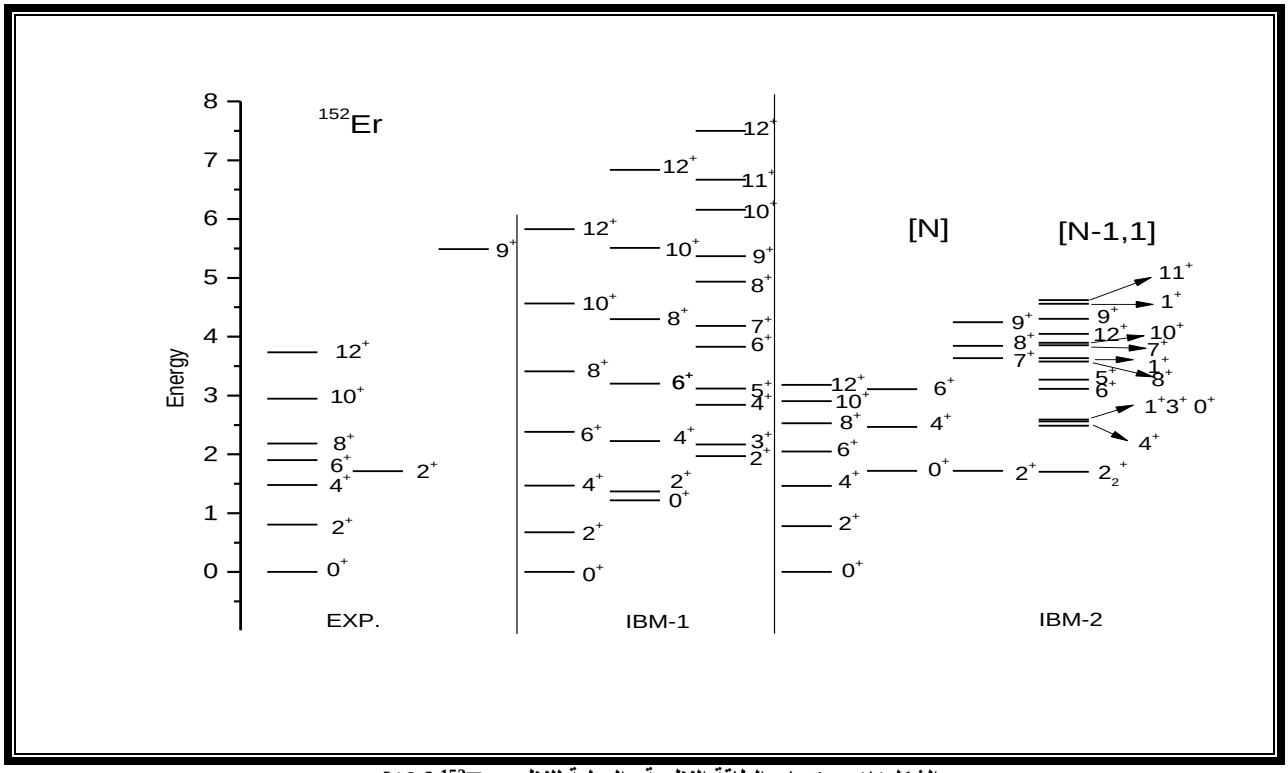
يمكن توضيح هذه الصفة يشكل عام بواسطة المعادلة : [24, 25]

$$S(J) = \frac{[(E(J_\gamma^+) - E(J-1)_\gamma^+] - [E(J-1)_\gamma^+ - E(J-2)_\gamma^+]}{E(2_g^+)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (14)$$

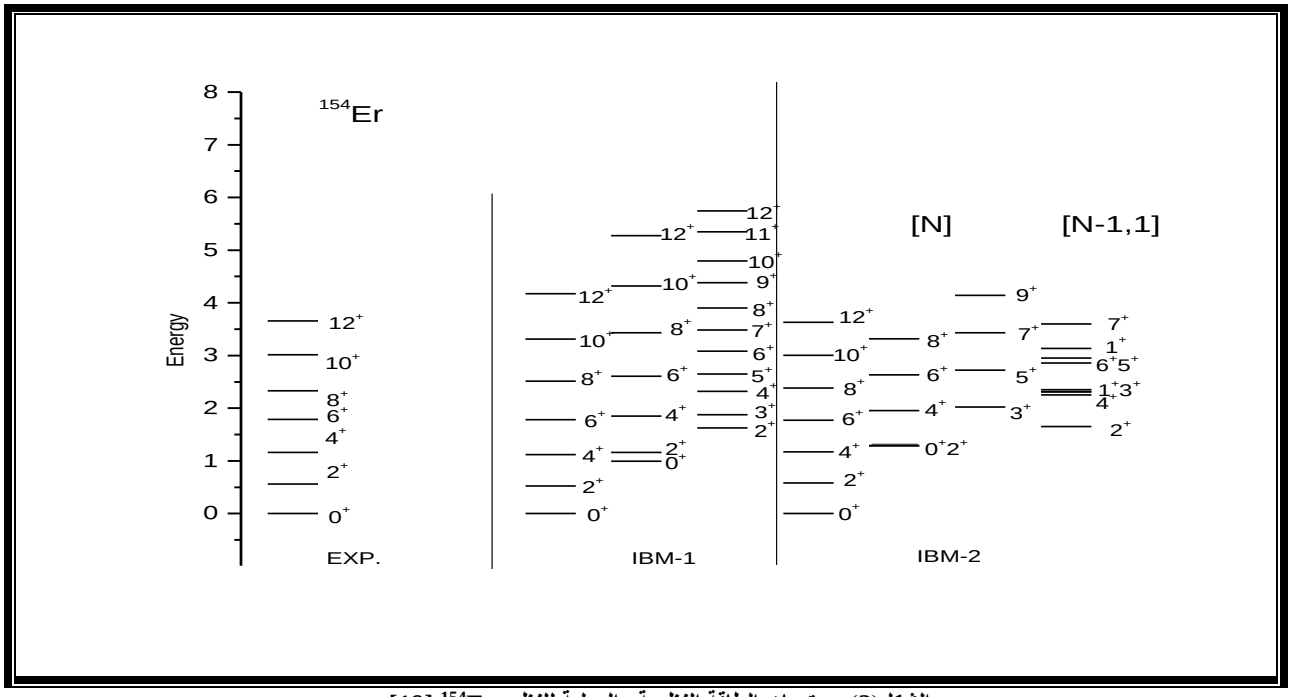
حيث S(J) : هي إزاحة المستوي $(J-1)_\gamma^+$ الذي يرتبط مع جاراته من المستويات $(J)_\gamma^+$ و $(J-2)_\gamma^+$، معايرة مع طاقة المستوي المثار الأول (2_1^+). إنَّ ظهور هذا الصفة في حزمة كاما للنظير ^{156}Er يجعله في المنطقة الانتقالية (النقطة الحرجة E(5) [26] بين التحديدين U(5) و O(6). إنَّ النتائج العملية والنظرية (IBM-1) لقيم S(J) موضحة في الشكل (٤). نلاحظ السلوك التذبذبي لـ S(J) إذ تكون ذات قيمة سالبة عندما (J_γ^+) زوجية وموجبة عند (J_γ^+) فردية، إنَّ قيمة S(4) تساوي (-1.062) للنتائج العملية و(-0.8385) لنتائج (IBM-1) ومن هنا تبدأ بالزيادة التدريجية لتصل في S(8) إلى القيمة (-0.83309) للنتائج العملية و في S(10) إلى(-2.2055) لنتائج (IBM-1).

الاستنتاجات:

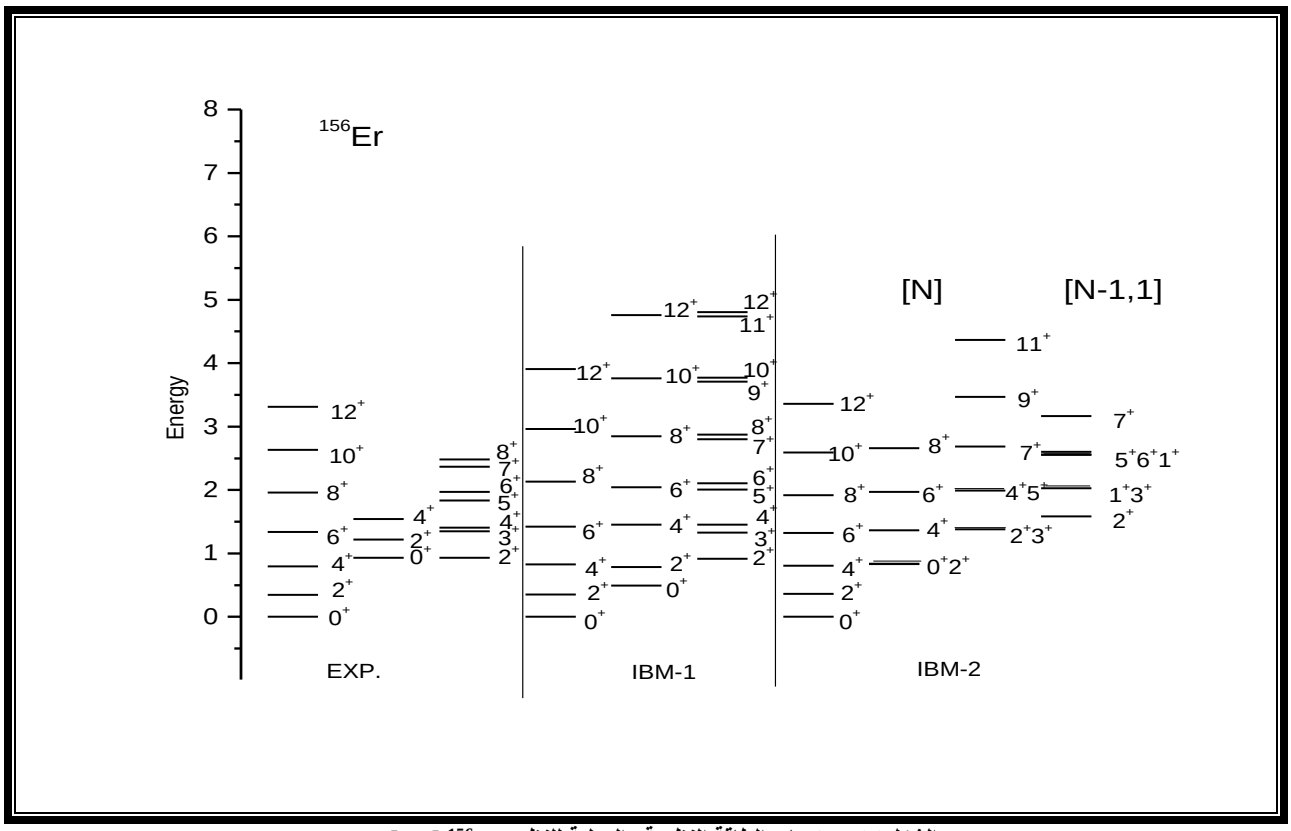
أظهرت النتائج النظرية لكلا الإنموذجين ان نظائر الاربيوم $^{152-156}Er$ تمتلك خصائص التحديد U(5) . هناك توافق جيد لنتائج مستويات الطاقة لكل من (IBM-1) و (IBM-2) مع النتائج العملية من حيث ترتيب المستويات وشكل الحزم . استنتجنا من شكل حزمة كاما للنظير ^{156}Er إن هناك وجود لظاهرة odd-even staggering بين مستويات الحزمة كاما وكان هناك اتفاق حول وجود هذه الظاهرة بين نتائج (IBM-1) والنتائج العملية وبالتالي ممكن القول أنَّ هذا النظير يمتلك جزء من خصائص التحديد soft -γ.



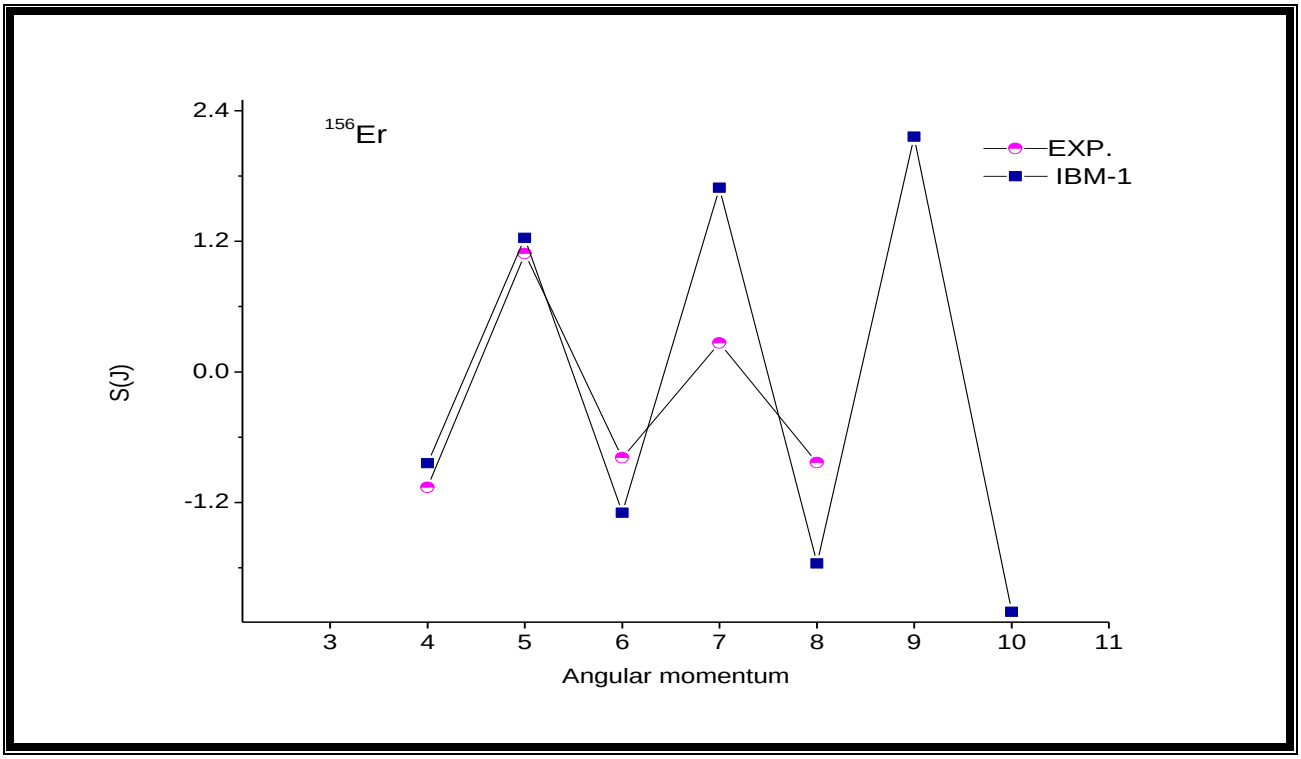
الشكل(١) مستويات الطاقة النظرية والعملية للنظير ^{152}Er [19]



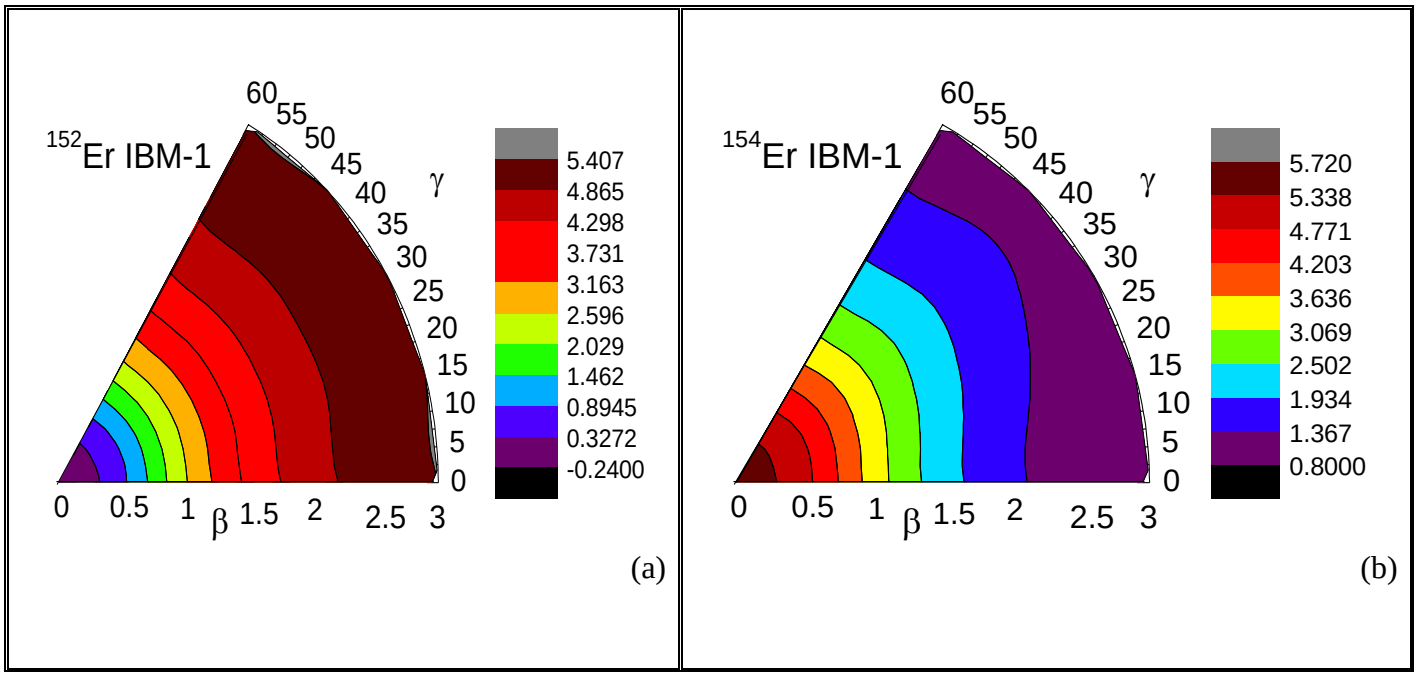
الشكل(2) مستويات الطاقة النظرية والعملية للنظير ^{154}Er [19]

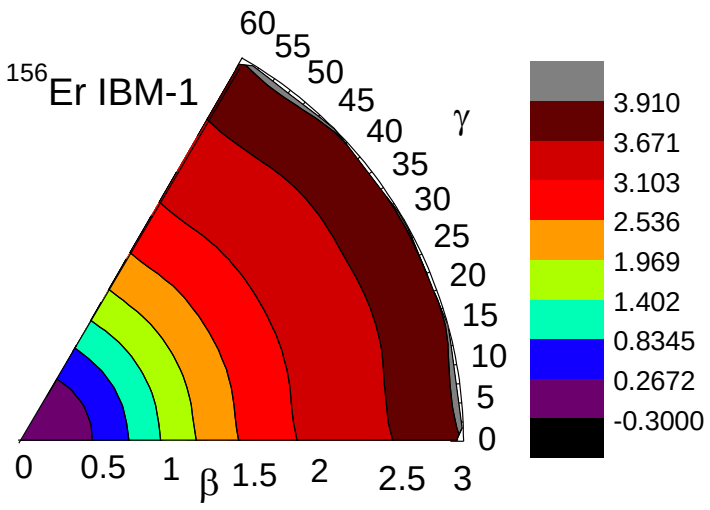


الشكل(3) مستويات الطاقة النظرية والعملية للنظير ^{156}Er [19]



الشكل(٤)S(J) دالة للزخم الزاوي لمستويات حزمة كاما للنتائج النظرية والعملية للنظير ^{156}Er [19]





(c)

الشكل (5) سطوح طاقة الجهد لنظائر الاريبيوم $^{152\text{-}156}$Er

الجدول (1) يوضح قيم النسبة ($E4_1^+/E2_1^+$) للنظائر ($^{152\text{-}156}$Er)

	^{152}Er	^{154}Er	^{156}Er
EXP.	1.8329	2.0723	2.3143
IBM-1	2.1787	2.1362	2.3505
IBM-2	1.8818	2.0207	2.2265

الجدول (٢) يوضح قيم معاملات الهاملتوني لأنموذج IBM-1 المستخدمة لنظائر الأريبيوم ($^{152\text{-}156}$Er)

A	N	E_d	a_o	a_1	a_2	a_3	a_4
152	8	0.60	0.000	0.011	-0.006	0.03	0.014
154	9	0.50	0.000	0.003	-0.008	0.05	0.017
156	10	0.27	0.000	0.010	-0.006	0.065	0.007

الجدول (٣) يوضح قيم معاملات الهاملتوني لأنموذج IBM-2 المستخدمة لنظائر الأربيوم ($^{152-156}$Er) . $\xi_1=\xi_3=$ 0.3MeV , ξ_2=0.22 MeV

A	Nπ	Nν	ε	κ	χ_ν	χ_π	$C_{L\nu}$(L=0,2,4)	$C_{L\pi}$ (L=0,2,4)
152	7	1	0.80	-0.012	-0.2	-0.5	0,0,0	0.23,0.23, -0.13
154	7	2	0.62	-0.013	-0.2	-0.5	0,0,0	0.23,0.23, 0.00
156	7	3	0.42	-0.014	-0.2	-0.5	0,0,0	0.23,0.23, 0.16

الجدول (4) يوضح قيم المعاملات المستخدمة في الحسابات النظرية لاحتمالية الانتقال الكهرومغناطيسية B(E2) , B(M1)

	IBM-1		IBM-2			
	α	β	e_π	e_υ	g_π	g_ν
^{١٥٢}Er	0.028	0.000	0.12	0.06	0.6	0.3
^{١٥٤}Er	0.082	0.000	0.12	0.06	0.6	0.3
^{١٥٦}Er	0.087	0.000	0.12	0.06	0.6	0.3

الجدول (5) احتمالية الانتقال الكهرومغناطيسية B(E2), B(M1) للنظائر $^{152-156}Er$

$I_i^+ \rightarrow I_f^+$	^{152}Er					^{154}Er					^{156}Er				
	B(E2) e^2b^2			B(M1) μ_N^2		B(E2) e^2b^2			B(M1) μ_N^2		B(E2) e^2b^2			B(M1) μ_N^2	
	EXP.	IBM-1	IBM-2	EXP.	IBM-2	EXP.	IBM-1	IBM-2	EXP.	IBM-2	EXP.	IBM-1	IBM-2	EXP.	IBM-2
$2_1 \rightarrow 0_1$	-	0.0072	0.1026	-	-	-	0.0775	0.1078	-	-	0.3276(89)	0.1148	0.1181	-	-
$4_1 \rightarrow 2_1$	-	0.0122	0.1815	-	-	-	0.1305	0.1902	-	-	0.5834(349)	0.1875	0.2027	-	-
$6_1 \rightarrow 4_1$	0.0153(267)	0.0153	0.2335	-	-	-	0.1641	0.2480	-	-	0.6180(997)	0.2327	0.2617	-	-
$8_1 \rightarrow 6_1$	0.0168(289)	0.0167	0.2571	-	-	-	0.1810	0.2817	-	-	0.2492(598)	0.2566	0.2994	-	-
$10_1 \rightarrow 8_1$	-	0.0164	0.2516	-	-	-	0.1830	0.2916	-	-	0.2890(648)	0.2626	0.31795	-	-
$12_1 \rightarrow 10_1$	-	0.0145	0.2149	-		-	0.1713	0.2782	-	-	0.2542(1196)	0.2527	0.31790	-	-
$0_2 \rightarrow 2_1$	-	0.0108	0.1694	-	-	-	01032	0.1757		-	-	0.1204	0.1750	-	-
$1_1 \rightarrow 2_1$	-	-	0.0036	-	0.0000	-	-	0.0058	-	0.0000	-	-	0.0076	-	0.0000
$1_1 \rightarrow 0_1$	-	-	-	-	0.0000	-	-	-	-	0.0001	-	-	-	-	0.0005
$3_1 \rightarrow 2_1$	-	0.0000	0.0036	-	0.0000	-	0.0000	0.0000	-	0.0000	-	0.0000	0.0000	-	0.0000
$3_2 \rightarrow 2_1$	-	0.0000	0.0000	-	0.0000	-	0.0000	0.0058	-	0.0000	-	0.0000	0.0075	-	0.0000
$3_2 \rightarrow 2_2$	-	0.0000	0.0000	-	0.0000	-	0.0000	0.0004	-	0.0172	-	0.0000	0.0004	-	0.0192
$1_1 \rightarrow 2_4$	-	-	0.0038	-	0.0000	-	-	0.0484	-	0.0000	-	-	0.1122	-	0.0000
$3_2 \rightarrow 2_4$	-	-	0.0035	-	0.0012	-	0.090	0.0563	-	0.0000	-	0.1274	0.1115	-	0.0000
$6_3 \rightarrow 4_3$	-	-	0.1331	-	-	-	0.1273	0.1633	-	-	-	0.1784	0.2252	-	-
$1_2 \rightarrow 0_3$	-	-	-	-	0.0000	-	-	-	-	0.0316	-	-	-	-	0.0344
$1_{١} \rightarrow .^{٢}{}_{٢}$	-	-	0.1017	-	0.0004	-	-	0.0002	-	0.0351	-	-	0.0002	-	٠,٠٣٩٢

المصادر:

1- A. Arima and F. Iachello, Ann. Phys. (N.Y),99, 253, (1976)

2- O. Scholten, Ph. D. Thesis, University of Groningen,(1980)

3- F. Iachello "Interacting Bosons in Nuclear Physics", Plenum press ,New York,(1979)

4- Maria G. Mayer, Phys. Rev. 74, 253, (1948)

5- R. F. Casten, Nuclear structure from a simple perspective, Oxford university Press, (1990).

6- A. Arima, T. Otsuka, F. Iachello, and I. Talmi, Phys. Lett.B, 66, 205, (1977).

7- R. F. Casten, A. Gelberg and P. Von Brentano, Phys. Rev. C36, 1225, (1987).

8- F. Iachallo and A. Arima, “The interacting Boson model”, Cambridge University Press. (1987)

9- M. D. Okasha, International Journal of Advanced Research in Physical Science ,2, 59, (2015).

10- A. M. ASHIG, J. of al-Anbar university for pure science, 1, 1, (2007).

11- I. T. Al-Alawy, A. K. Aobaid, W. B. Salih, J. of al-Anbar university for pure science, 3, 1, (2009).

12- A. A. Mohammed- Ali and D. A. Shamran, J. of Kerbala university, 12, 250, (2014).

13- Hua-Chuan Wu and Xiao-Qian Zhou, Nuc. Phys. A, 417, 67, (1984).

14- A. Arima and F. Iachello, Ann. Phys. , 111, 201, (1978).

15- B. R. Barrett, Lecture notes in physics, 180, 407 (1983).

16- R. F. Casten and D. Warner , Rev. Mod. Phys. , 60 , 389 , (1988)

17- A. F. Barfield, B. R. Barrett, K. A. Sage and P.D Duval, Z phys. Atom and Nuclei, 311, 205, (1983).

18- S. A. Berendakov, L. I. Gover and A. M. Demidov, Physics of Atomic Nuclei,61, 1437,(1998).

19- National Nuclear Data Centerhttp://www.nndc.bnl.gov.

20- M. Sakai, "Quasi bands in even-even nuclei", Atomic data and nuclear tables, 31, 399, (1984).

21- M. Gercekliogl u, Czech. J. Phys. , 52, 705, (2002).

22- E. A. McCutchan, D. Bonatsos, N. V. Zamfir and R. F. Casten, Phys. Rev. C76, 024306, (2007).

23- K. Heyde, P. V. Isacker, M. Waroquier and J. Moreau, Phys. Rev. C29, 1420, (1984).

24- F. H. Al-Khudair, A R. Subber, and A. F. Jaafer, Commun. Theor. Phys. 62 ,847(2014)

25- E. A. McCutchan, D. Bonatsos, N. V. Zamfir and R. F. Casten, Phys. Rev. C76, 024306, (2007).

26- B. Vaidya, Gamma ray spectroscopy of some N=78 nuclei, Project report for Indian institute of technology Roorkee, 1, (2008).

Study the Nuclear Structure of Erbium Isotopes (A=152-156) Using Interacting Boson Model

Ashwaq Faisal Jaafer

Department of Physics, College of Education Pure Sciences,

University of Basrah, Basrah, Iraq

Abstract

The energy levels of some even- even $^{152\text{-}156}$Er isotopes have been studied within the framework of the interacting boson model (IBM-1) and (IBM-2) . The B(E2) , B(M1) and potential energy surface of above nuclei have been calculated. Also we studied staggering in γ-band energies for ^{156}Er. From the energy ratio $E_{4_1^+}/E_{2_1^+}$value and the potential energy surface shapes we can prove that these nuclei have a vibration U(5) limit. The results of this work have good agreement with experimental results.

Keywords: interacting boson model (IBM-1), (IBM-2), electromagnetic transitions, potential energy surface, Erbium isotopes.