

دراسة خصائص نظائر $Er^{156-162}$ الشفعية-شفعية باستخدام نموذج البوزونات المتفاعلة IBM-2

نجاة سالم الشفطري^{a1}، سعاد محمد بوقرين^{b2}، عياد الهادي الزوام^{c2}، دلنده محمد ناصف^{d2}
و الصادق محمد القاضي^{e2}

¹القسم العام، المعهد العالي للتقنيات الهندسية، طرابلس-ليبيا

²قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة طرابلس، طرابلس- ليبيا

^anajat_sh@yahoo.com; ^bSouad_bogrin@yahoo.com; ^ceyad1@yahoo.com; ^ddalendanasef9@gmail.com;
^eS.elkadi45@yahoo.com

المستخلص

تم في هذا البحث حساب مستويات الطاقة لبعض نظائر الإربيوم الشفعية - شفعية ذات الاعداد الكتلية من 156-162 باستخدام نموذج المفاعلة البوزونية IBM-2 كما تم ايجاد عزم القصور الذاتي ومربع طاقة الفوتون المنبعث للقيم المعملية والمحسوبة ورسم العلاقة البيانية بينهما وكذلك ايجاد النسبة $(E_{4_1^+}/E_{2_1^+})$ ومقارنتها مع التحديدات الثلاث (SU(3), O(6), U(5)) وأيضا رسم منحنيات (E_γ/I) كدالة في البرم I لنظائر Er المذكورة ومقارنتها بالمنحنيات المعيارية E-GOS، وتمت مقارنة جميع القيم المحسوبة مع القيم المعملية وأظهرت النتائج توافقاً جيداً بينهما، وبتطبيق طريقة E-GOS على النطاق الطبيعي (yrast band)، تبين ان للنظيرين ^{156}Er , ^{158}Er عند قيم برمية منخفضة خصائص غاما الغير مستقرة وبارتفاع قيم البرم انتقلت هذه الخصائص الى الحالة الدورانية، بينما أظهرت حالة النظيرين ^{160}Er , ^{162}Er خصائص دورانية.

الكلمات الدالة: الزخوم الزاوية؛ المفاعلة البوزونية؛ النطاق الطبيعي (yrast band)؛ النوى الشفعية-شفعية؛ منحنى E-GOS؛ نظائر الأربيوم.

Abstract

Interacting Boson model-2 was used to calculate the energy levels of some of the even-even erbium isotopes with mass numbers 156-162. The extracted moment of inertia has been plotted versus the square of energy of the emitted photon for the experimental and computed values. The ratio of the excitation energies of the first 4_1^+ over the first 2_1^+ , $[R = (E_{4_1^+}/E_{2_1^+})]$, is also calculated, and then compared with the three limits (SU (3), U (5) and O (6)).

نجاة سالم الشفرتي، سعاد محمد بوقرين، عياد الهادي الزوام، دلنده محمد ناصف و الصادق محمد القاضي

In addition, the E-GOS curve as a function of the spin is presented. All calculated values are compared with the available experimental data and show reasonable agreement. Whereas, the two isotopes ^{156}Er and ^{158}Er at low spin values had unstable gamma characteristics and with high spin values, these properties transferred to the rotational state, while the tow isotopes ^{160}Er and ^{162}Er showed a rotational behavior.

Keywords: Angular momentum; E-GOS curve; Erbium Isotopes; even-even nuclei; Interacting Boson Model-2; Yrast band.

المقدمة

يُعتبر الانتقال الطوري تبعاً للعدد النيوكليوني والبرم من أحد أهم الموضوعات في أبحاث البنية النووية، ويرتبط هذا الانتقال إرتباطاً وثيقاً بالآليات التي تولد من خلالها النوى الذرية زخماً زاوياً. في الآونة الأخيرة، تم تأسيس العديد من الظواهر المرصودة المرتبطة بتراكيب الحزم الجماعية المختلفة بشكل جيد عن طريق التحليل الطيفي لإشعاع γ داخل النطاق [1]. تُظهر هذه التركيبات المتميزة توليد الزخم الزاوي بطرق مختلفة، ويمكن أن تشارك الخصائص المختلفة في نمط واحد من الحركة الجماعية [2]. في النوى حيث تتشكل الحالة المثارة بشكل عام عن طريق الحركة الجماعية وانكسار الزوج النيوكليوني، يتم إعادة ترتيب مُتقنة لعدد قليل فقط من النيوكليونات بين المدارات القريبة من سطح فيرمي الذي يمكن ان ينتج في أنماط جماعية مختلفة تماماً. إن دراسة الإستنارات المجهرية لأنظمة النيوكليون المتعددة والانتقالات بين أنماط الإثارة المختلفة يمكن أن تلقي الضوء على طبيعة الحالات الواقعة بالقرب من سطح فيرمي، مما يسمح باستنتاج شكل المجال المتوسط النووي [3].

إقترح ريجان [Regan] وآخرون [4] طريقة بسيطة تسمى منحني E-Gos (طاقة غاما على البرم)، لتمييز الإثارات الجماعية التي تؤدي إلى التذبذب أو الدوران. تم تطبيق هذه الوصفة على سلاسل النطاق الطبيعي (Yrast) $[0_1^+, 2_1^+, 4_1^+, 6_1^+, \dots]$ في النوى الشفعية - شفعية، وقد تم العثور على تطور واضح في التركيب من الإهتزاز إلى الدوران مع زيادة البرم.

إن معظم النوى في منطقة الكتل $150 < A < 190$ تنتمي إلى منطقة بالغة التشوه، عليه يمكن إستنتاج أن النطاق الطبيعي تُظهر بنية دورانية. ومع ذلك فإن آخر النتائج قدمت دليلاً على ظاهرة مثيرة للإهتمام بشكل خاص، وهي التطور من التركيب الدوراني إلى الاهتزازي كدالة في البرم [5]، وقد تم هنا ملاحظة التطور من تركيب غاما الغير مستقرة إلى التركيب الدوراني، في أطيف الإثارة للنوى الشفعية - شفعية في المنطقة الكتلية (156-158) لنظائر الإربيوم.

النظرية

تم استخدام نموذج المفاعلة البوزونية (IBM-2) والذي يميز بوزونات البروتون عن بوزونات النوترون لدراسة النوى الشفعية - شفعية، ويأخذ هذا النموذج في الاعتبار المفاعلة بين بوزونات البروتون وبوزونات النوترون، ويكون لكل منهما إما برم صفري وتسمى بوزونات الحالة - S، أو برم يساوي 2 وتسمى بوزونات الحالة - d، ويُعطى الشكل العام للدالة الهاملتونية في هذا النموذج [6,7] بالصورة التالية:

$$H = H_{\pi} + H_{\nu} + H_{\pi\nu} \quad (1)$$

كما يتضح، يحوي هذا الشكل هاملتونيوم للبروتون H_{π} وهاملتونيوم للنوترون H_{ν} ، وهاملتونيوم للمفاعلة بينهما $H_{\pi\nu}$ ، تُعرّف كل دالة هاملتونية بدلالة مجموعة من البارامترات في معادلات رياضية مُعرّفة في برنامج حاسوب يسمى NPBOS [4],[8]، يُستخدم هذا البرنامج لحساب مستويات الطاقة وبعض الخصائص النووية الأخرى.

تُعطى طاقات النطاق الطبيعي (Yrast) لحالات البرم I للمتذبذب التوافقي الكمي، بالمعادلة [9]

$$E_I = n\hbar\omega \quad (2)$$

حيث n عدد الفونونات ($n = \frac{I}{2}$) و ω التردد الزاوي. يختلف عنصر المصفوفة المختزل بين المستويات الطبيعية بمقدار $\Delta I = 2$. وتعطى حالات الطاقة الدورانية بالعلاقة [9].

$$E_I = \left[\frac{\hbar^2}{2J} \right] I(I+1) \quad (3)$$

حيث J عزم القصور الذاتي الدوراني، وبذلك يكون فرق الطاقة الدورانية بين مستويين متتاليين كالتالي:

$$E_I - E_{I-2} = E_{\gamma} = \left[\frac{\hbar^2}{2J} \right] (4I - 2) \quad (4)$$

$$\frac{2J}{\hbar^2} = (4I - 2)/E_{\gamma} \quad (5)$$

أما طاقة الفونون عند الانتقال بين حالتي البرم (I و $I - 2$) فتعطى بالعلاقة:

$$\hbar\omega = E_{\gamma} / (\sqrt{I(I+1)} - \sqrt{(I-2)(I-1)}) \quad (6)$$

تُعتبر النسبة $R = E_{\gamma}(I \rightarrow I - 2)/I$ طريقة فعالة للتمييز بين شكل التماثل الدوراني والاهتزازي المحوري حيث: في الاهتزازي [4]؛

$$R = \frac{\hbar\omega}{I} \xrightarrow{I \rightarrow \infty} 0 \quad (7)$$

وفي الدوراني فهي:

$$R = (\hbar^2/2J) \left(4 - \frac{2}{I}\right) \xrightarrow{I \rightarrow \infty} 4(\hbar^2/2J) \quad (8)$$

في التماثل الدوراني المحوري تتراوح قيمة R من $3(\hbar^2/2J)$ عندما $I = 2$ إلى $4(\hbar^2/2J)$ عندما تكون I كبيرة، بينما في الاهتزازي تتضاءل قيمة R نحو الصفر [4]. في هذه الورقة البحثية سنقوم بدراسة تركيب وسلوك النوى الاهتزازية والدورانية وغاما الغير مستقرة كدالة في البرم النووي باستخدام (E-GOS).

نجاهة سالم الشفترى، سعاد محمد بوقرين، عياد الهادي الزوام، دلنده محمد ناصف و الصادق محمد القاضي

قام ريغان [4] برسم منحنيات نموذجية لطاقة غاما على البرم (E-GOS) كدالة في البرم I للحالات الثلاثة (U(5)، SU(3) و O(6) [2]، [5]، [10] باستخدام المعادلات التالية:

الحالة الاهتزازية U(5)

$$\frac{E_{\gamma}(I \rightarrow I-2)}{I} = \frac{\hbar\omega}{I} \quad (9)$$

الحالة الدورانية SU (3)

$$E_{\gamma}(I \rightarrow I-2)/I = (\hbar^2/2J) \left(4 - \frac{2}{I}\right) \quad (10)$$

حالة غاما الغير مستقرة O (6)

$$\frac{E_{\gamma}(I \rightarrow I-2)}{I} = \left(\frac{E_2^+}{4}\right) \left(1 + \frac{2}{I}\right) \quad (11)$$

الحسابات والمناقشة

تم في هذا البحث حساب مستويات الطاقة للنطاق الطبيعي لبعض نظائر عنصر الإريوم Er الشفعية-شفعية وذلك باستخدام برنامج NPBOS ورسم عدة منحنيات لقيم $\left(\frac{E_{\gamma}(I \rightarrow I-2)}{I}\right)$ كدالة في الزخم الزاوي I. تبين الجداول من (1) إلى (4) قيم مستويات الطاقة للنطاق الطبيعي المحسوبة بواسطة نموذج المفاعلة البوزونية IBM-2 والمعملية [11-13] بوحدة (MeV) ونسبة الخطأ للنظائر المذكورة، والجداول من (5) إلى (8) تبين القيم المعملية والمحسوبة لطاقة الإنتقال وعزم القصور الذاتي ومربع طاقة الفوتون لكل نظير أما الجدول (9) فيبين قيم طاقة المستوى (E_{2^+}) والنسبة بين (E_{4^+}/E_{2^+}) للتحديدات الثلاث لنظائر Er المذكورة. يوضح الشكل 1 منحنى (E_{4^+}/E_{2^+}) كدالة في العدد الكتلي. يعطي هذا المنحنى مؤشرات أولية لخصائص سلسلة النظائر قيد الدراسة وتبين أن النظائر تنتقل من الطور (6) O إلى الطور (3) SU أي من الحالة الغير مستقرة إلى الحالة الدورانية. ولزيادة المعلومات تم رسم منحنى عزم القصور الذاتي ($2J/\hbar^2$) كدالة في $(\hbar\omega)^2$ عند الانتقال من (I) إلى (I-2) كما في الشكل 2.

دراسة خصائص نظائر $^{156-162}\text{Er}$ الشفعية-شفعية باستخدام نموذج البوزونات المتفاعلة IBM-2

جدول 1. مستويات الطاقة للنظير ^{156}Er بوحدة MeV. جدول 2. مستويات الطاقة للنظير ^{158}Er بوحدة MeV.

J^π	E_{exp}	E_{cal}	Δ (%)
2_1^+	0.192	0.192	0.0
4_1^+	0.527	0.534	-1.33
6_1^+	0.970	0.971	-0.1
8_1^+	1.493	1.469	1.61
10_1^+	2.072	2.028	2.12
12_1^+	2.680	2.664	0.63

J^π	E_{exp}	E_{cal}	Δ (%)
2_1^+	0.3445	0.345	-0.14
4_1^+	0.7974	0.795	0.3
6_1^+	1.340	1.325	1.12
8_1^+	1.959	1.920	1.99
10_1^+	2.663	2.587	1.75
12_1^+	3.314	3.331	-0.51

جدول 3. مستويات الطاقة للنظير ^{160}Er بوحدة MeV. جدول 4. مستويات الطاقة للنظير ^{162}Er بوحدة MeV.

J^π	E_{exp}	E_{cal}	Δ (%)
2_1^+	0.102	0.102	0.0
4_1^+	0.329	0.325	1.2
6_1^+	0.666	0.649	2.5
8_1^+	1.096	1.062	3.1
10_1^+	1.602	1.604	-0.12
12_1^+	2.165	2.201	-1.66

J^π	E_{exp}	E_{cal}	Δ (%)
2_1^+	0.126	0.126	0.0
4_1^+	0.3899	0.387	0.74
6_1^+	0.7657	0.752	1.79
8_1^+	1.229	1.200	2.36
10_1^+	1.761	1.761	1.98
12_1^+	2.340	2.320	0.85

جدول 5. قيم طاقة الانتقال وعزم القصور الذاتي ومربع طاقة الفوتون للنظير ^{156}Er العملية والمحسوبة.

$J_i^+ \rightarrow J_f^+$	Exp			Cal		
	E_γ (MeV)	$2J/\hbar^2$ (MeV) ⁻¹	$(\hbar\omega)^2$ (MeV) ²	E_γ (MeV)	$2J/\hbar^2$ (MeV) ⁻¹	$(\hbar\omega)^2$ (MeV) ²
$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	0.345	17.417	0.020	0.345	17.391	0.020
$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	0.453	30.912	0.050	0.450	31.111	0.049
$6_1^+ \rightarrow 4_1^+$	0.543	40.546	0.073	0.530	41.509	0.070
$8_1^+ \rightarrow 6_1^+$	0.619	48.465	0.095	0.595	50.420	0.088
$10_1^+ \rightarrow 8_1^+$	0.674	56.380	0.113	0.667	56.972	0.111
$12_1^+ \rightarrow 10_1^+$	0.681	67.548	0.116	0.744	61.828	0.138

نجاة سالم الشفرتي، سعاد محمد بوقرين، عياد الهادي الزوام، دلنده محمد ناصف و الصادق محمد القاضي

جدول 6. قيم طاقة الانتقال وعزم القصور الذاتي ومربع طاقة الفوتون للنظير ^{158}Er المعملية والمحسوبة.

$J_i^+ \rightarrow J_f^+$	Exp			Cal		
	E_γ (MeV)	$2J/\hbar^2$ (MeV) ⁻¹	$(\hbar\omega)^2$ (MeV) ²	E_γ (MeV)	$2J/\hbar^2$ (MeV) ⁻¹	$(\hbar\omega)^2$ (MeV) ²
$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	0.192	31.250	0.006	0.192	31.25	0.006
$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	0.335	41.791	0.027	0.342	40.936	0.029
$6_1^+ \rightarrow 4_1^+$	0.443	49.661	0.049	0.437	50.343	0.047
$8_1^+ \rightarrow 6_1^+$	0.523	57.361	0.068	0.498	60.241	0.062
$10_1^+ \rightarrow 8_1^+$	0.579	65.630	0.084	0.559	67.979	0.078
$12_1^+ \rightarrow 10_1^+$	0.609	75.534	0.093	0.636	72.327	0.101

جدول 7. قيم طاقة الانتقال وعزم القصور الذاتي ومربع طاقة الفوتون للنظير ^{160}Er المعملية والمحسوبة.

$J_i^+ \rightarrow J_f^+$	Exp			Cal		
	E_γ (MeV)	$2J/\hbar^2$ (MeV) ⁻¹	$(\hbar\omega)^2$ (MeV) ²	E_γ (MeV)	$2J/\hbar^2$ (MeV) ⁻¹	$(\hbar\omega)^2$ (MeV) ²
$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	0.125	48.000	0.003	0.126	47.619	0.003
$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	0.265	52.850	0.017	0.261	53.640	0.017
$6_1^+ \rightarrow 4_1^+$	0.376	58.542	0.035	0.365	60.274	0.033
$8_1^+ \rightarrow 6_1^+$	0.463	64.753	0.053	0.448	66.964	0.05
$10_1^+ \rightarrow 8_1^+$	0.532	71.429	0.071	0.526	72.243	0.069
$12_1^+ \rightarrow 10_1^+$	0.579	79.447	0.084	0.594	77.441	0.088

يمثل شكل 3 المنحنيات المعيارية للعلاقة $\left(\frac{E_\gamma}{I}\right)$ (E-GOS) كدالة في I لـ $U(5)$, $O(6)$, $SU(3)$ للمستوى 2_1^+ عند (0.500, 0.300, 0.100) بوحدة (MeV) على التوالي باستخدام المعادلات (9)، (10)، (11). أما الشكل (4) يوضح

مدى التطابق بين القيم المعملية والمحسوبة لقيمة $\left(\frac{E_\gamma}{I}\right)$ كدالة في البرم.

يوضح الشكل 5 (أ-ب) مقارنة لمنحني النظيرين ^{156}Er و ^{158}Er مع منحنيات E-Gos كما يتضح من الشكل أن هذين النظيرين لهما نفس السلوك حيث انهما في المدى من $I = 2$ إلى $I = 10$ تميل إلى الحالة الغير مستقرة $O(6)$ ولكن عندما تكون قيم I أكبر فإنها تتبع المنحنى الدوراني $SU(3)$ [4] و [14] , أما النظيرين ^{160}Er و ^{162}Er

دراسة خصائص نظائر $^{162-156}\text{Er}$ الشفعية-شفعية باستخدام نموذج البوزونات المتفاعلة IBM-2

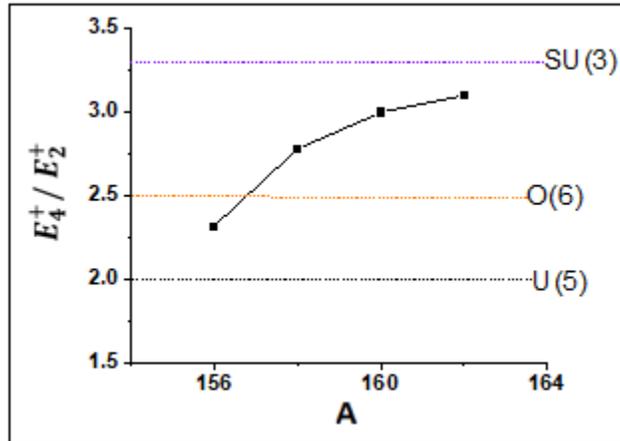
وكما هو ملاحظ من الشكل 6 (أ وب) فإنهما يسلكان نفس السلوك أيضا وبمقارنتهما بالمنحنيات المعيارية نجد انهما يماثلان المنحنى الدوراني SU (3).

جدول 8. قيم طاقة الانتقال وعزم القصور الذاتي ومربع طاقة الفوتون للنظير ^{162}Er المعملية والمحسوبة.

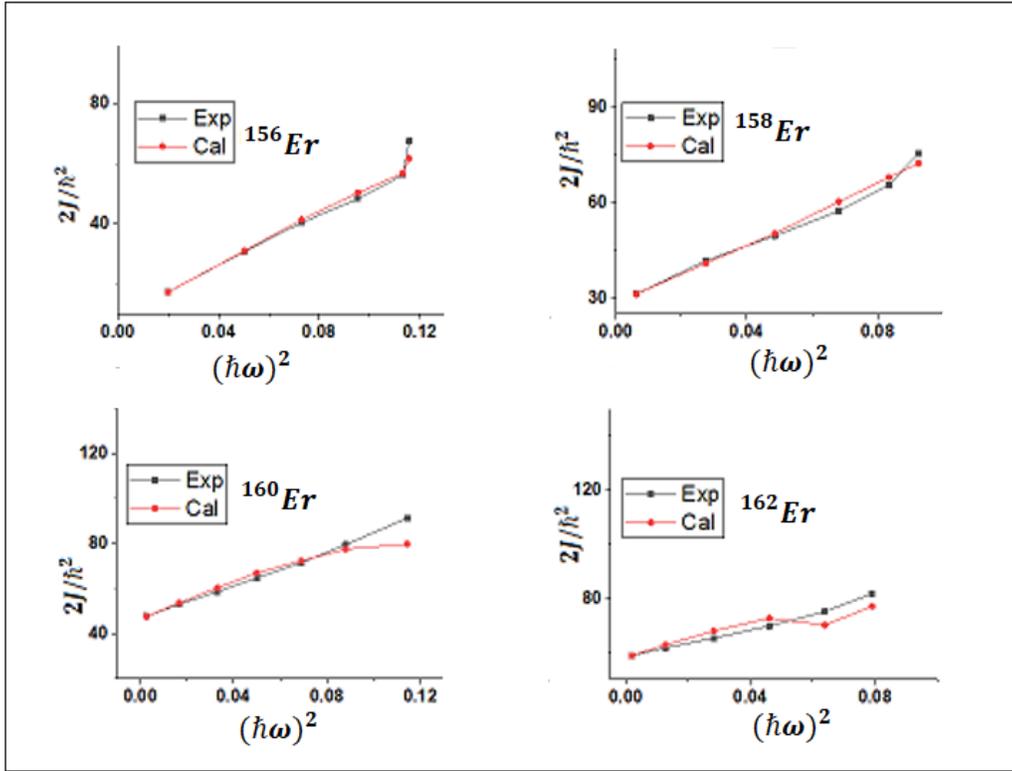
$J_i^+ \rightarrow J_f^+$	Exp			Cal		
	E_γ	$2J/\hbar^2$ (MeV) ⁻¹	$(\hbar\omega)^2$ (MeV) ²	E_γ (MeV)	$2J/\hbar^2$ (MeV) ⁻¹	$(\hbar\omega)^2$ (MeV) ²
$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	0.102	58.824	0.000	0.102	58.824	0.002
$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	0.227	61.674	0.013	0.223	62.780	0.012
$6_1^+ \rightarrow 4_1^+$	0.337	65.282	0.028	0.324	67.901	0.026
$8_1^+ \rightarrow 6_1^+$	0.430	69.767	0.046	0.413	72.639	0.042
$10_1^+ \rightarrow 8_1^+$	0.506	75.099	0.064	0.542	70.111	0.073
$12_1^+ \rightarrow 10_1^+$	0.563	81.705	0.079	0.597	77.052	0.089

جدول 9. طاقة المستوى E_{2^+} والنسبة (E_{4^+}/E_{2^+}) للتحديدات الثلاث ولنظائر Er المحسوبة.

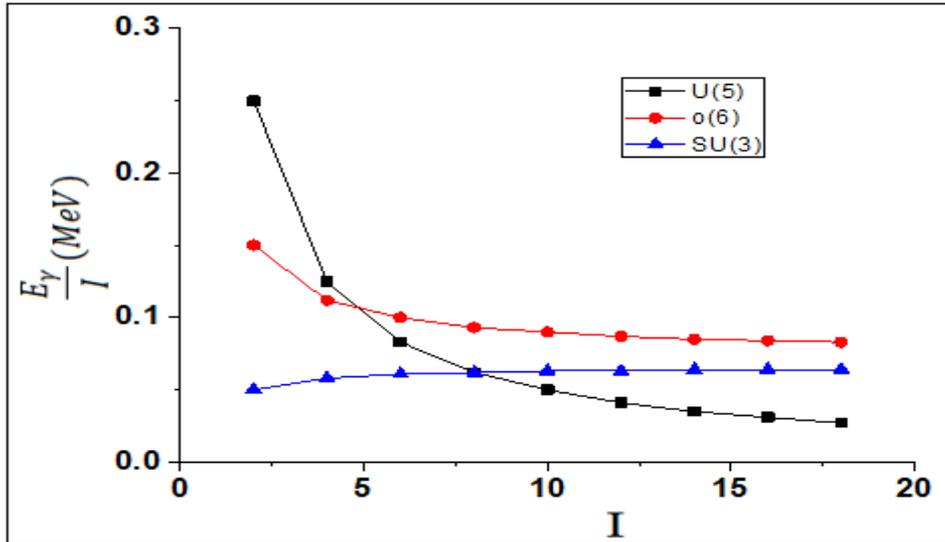
	U (5)	O (6)	SU (3)	^{156}Er	^{158}Er	^{160}Er	^{162}Er
E_{2^+}	500	300	100	0.345	0.192	0.126	0.102
(E_{4^+}/E_{2^+})	2.0	2.5	3.3	2.3	2.78	3.0	3.1



شكل 1. منحنى E_{4^+}/E_{2^+} والتحديدات الثلاث.

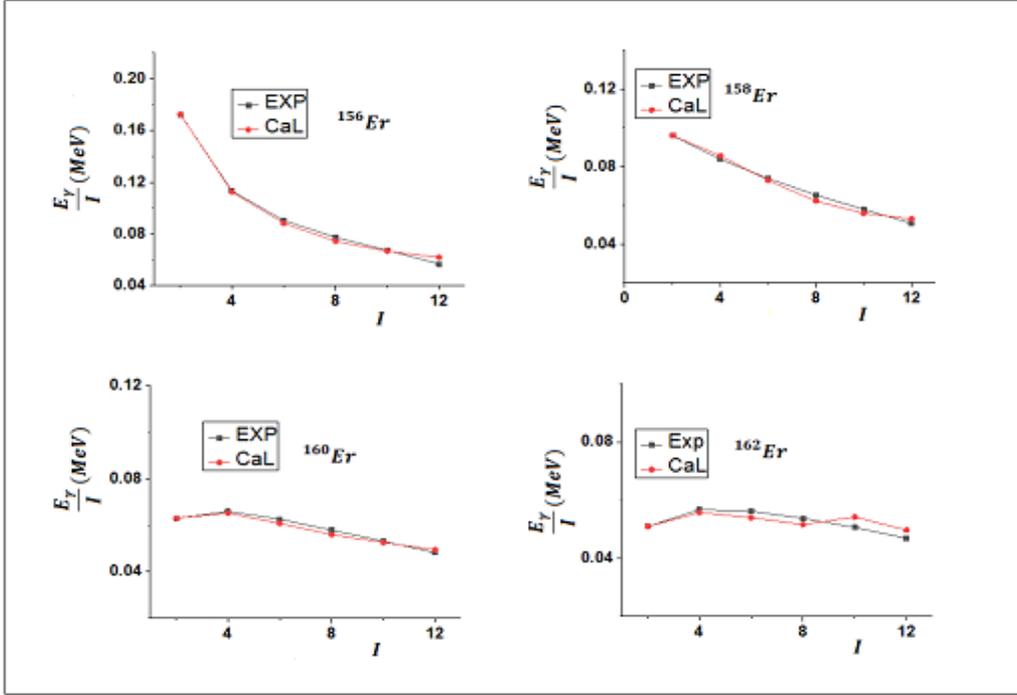


شكل 2. العلاقة بين عزم القصور الذاتي ومربع طاقة الفوتون.

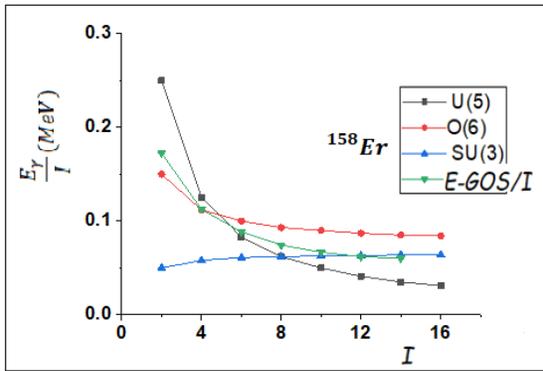


شكل 3. منحى E-GOS النموذجي.

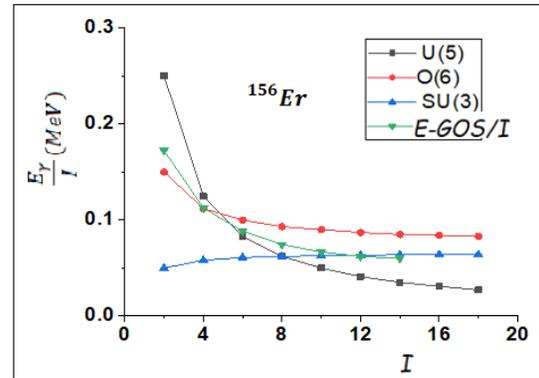
دراسة خصائص نظائر $^{162-156}\text{Er}$ الشفعية-شفعية باستخدام نموذج البوزونات المتفاعلة IBM-2



شكل 4. القيم العملية والمحسوبة (E_γ/I) كدالة في (I) لنظائر $^{156-162}\text{Er}$ الشفعية-شفعية.

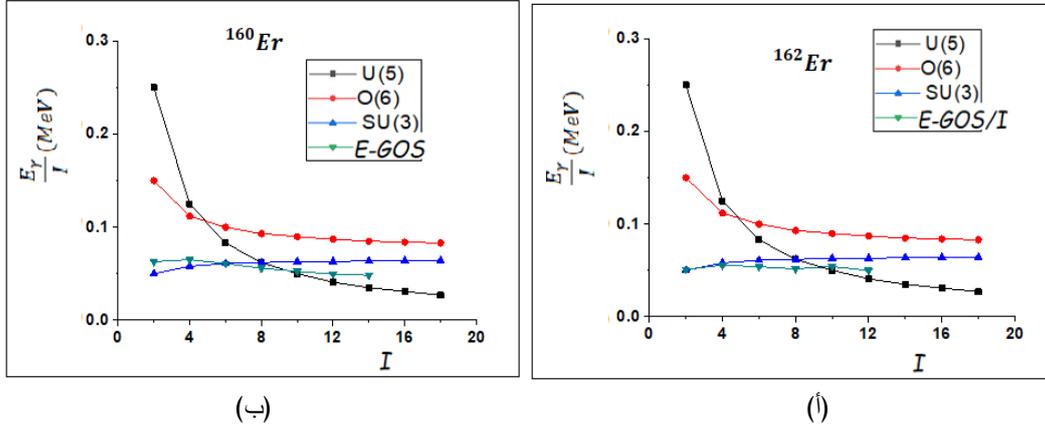


شكل 5 (ب). منحنى E-Gos المحسوب للنظير ^{156}Er مع المنحنيات المعيارية.



شكل 5 (أ). منحنى E-Gos المحسوب للنظير ^{158}Er مع المنحنيات المعيارية.

نجاة سالم الشفتري، سعاد محمد بوقرين، عياد الهادي الزوام، دلنده محمد ناصف و الصادق محمد القاضي



شكل 6 (أ). منحنى E-Gos المحسوب للنظير ^{160}Er شكل 6 (ب). منحنى E-Gos المحسوب للنظير ^{162}Er مع المنحنيات المعيارية.

الخلاصة

تناولنا في هذا البحث دراسة الخصائص النووية لنظائر الإربيوم كدالة في البرم وقد وجدنا أن النظيرين ^{156}Er و ^{158}Er لهما خصائص غاما الغير مستقرة وكلما زادت قيم البرم انتقلت الى الحالة الدورانية بينما النظيرين ^{160}Er و ^{162}Er لهما خصائص دورانية خالصة أي ان هذه السلسلة من النظائر تنتقل من الحالة الغير مستقرة الى الحالة الدورانية.

المراجع

- [1] Pipidis, A., Riley, M. A., Simpson, J., Janssens, R. V. F., Kondev, F. G., Appelbe, D. E., ... and Ragnarsson, I. (2005). Structural behavior of Dy 157, 158, 159 in the $I= 30- 50 \hbar$ spin regime. *Physical Review C*, **72**(6), 064307.
- [2] Hou, Z. F., Zhang, Y., and Liu, Y. X. (2010). Understanding nuclear shape phase transitions at the nucleon level with a boson mapping approach. *Physics Letters B*, **688**(4-5), 298-304.
- [3] Zhou, H. B., Huang, S., Dong, G. X., Shen, Z. X., Lu, H. J., Wang, L. L., ... and Xu, F. R. (2018). Evidence for rotational to vibrational evolution along the yrast line in the odd-A rare-earth nuclei. *arXiv preprint arXiv:1801.09824*.
- [4] Regan, P. H., Beausang, C. W., Zamfir, N. V., Casten, R. F., Zhang, J. Y., Yamamoto, A. D., ... and Ressler, J. J. (2003). Signature for vibrational to rotational evolution along the yrast line. *Physical review letters*, **90**(15), 152502.
- [5] Shen, S. F., Chen, Y. B., Xu, F. R., Zheng, S. J., Tang, B., and Wen, T. D. (2007). Signature for rotational to vibrational evolution along the yrast line. *Physical Review C*, **75**(4), 047304.
- [6] Arima, A., and Iachello, F. (1981). The Interacting Boson Model. *Annual Reviews Inc.*, **31**, 75-105.

- [7] Casten, R. F., Gelberg, A., and Von Brentano, P. (1987). Systematic evidence for degrees of freedom beyond the sd phenomenological interacting boson model. *Physical Review C*, **36**(3), 1225.
- [8] Iachello, F. and Arima, A. (1974). Boson symmetries in vibrational nuclei. *Physics Letters B*, **53**(4), 309-312.
- [9] Scharff-Goldhaber, G., and Weneser, J. J. (1955). System of Even-Even Nuclei. *Phys. Rev.* **98**, 212.
- [10] Al-Jubbori, M. A., and Al-Saffar, H. A. (2014). Calculations of Ground Band in even-even 170-180 W nuclei by Interacting boson model (IBM-1). *Diyala Journal For Pure Sciences*, **10**, 2222-8373
- [11] Kitao, K., Tendow, Y. and Hashizume, A. (2002). Nuclear Data Sheets fo A= 120. *Nuclear Data Sheets*, **96**(2), 241-390.
- [12] Tamura, T. (2007). Nuclear Data Sheets for A=122. *Nuclear Data Sheets*, 10B, 455.
- [13] Katakura, J. and Wu, Z. D. (2008). Nuclear data sheets for A= 124. *Nuclear Data Sheets*, **109**(7), 1655-1877.
- [14] Dejbakhsh, H., Latypov, D., Ajupova, G. and Shlomo, S. (1992). Exploring the validity of Z= 38 and Z= 50 proton closed shells in even-even Mo isotopes. *Physical Review C*, **46**(6), 2326.