The Libyan Journal of Science
University of Tripoli Vol. 29, No. 1
https://uot.edu.ly/journals/index.php/ljs

التحليل البنيوي لنظائر التنجستن $^{168-172}_{74}W$ الشفعية- شفعية باستخدام نموذج البوزونات المتفاعلة IBM-2

عياد الهادي الزوام[1]، فوزي حاجي ابو الشواشي[2]، وهيبة عمر هدوار[3]

1. قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة طرابلس، ليبيا

2. كلية التقنية الهندسية زواره، ليبيا.

3. قسم الفيزياء كلية العلوم قصر الاخيار، جامعة المرقب ليبيا

Corresponding author: a.ezwam@uot.edu.ly

ARTICLE INFO

Article history:

Received *05/11/2025*

Received in revised form *25/12/2025*

Accepted *02/02/2026*

الملخص

تم في هذه الدراسة حساب مستويات الطاقة الدنيا y-rast لنظائر التنجستن الشفعية-شفعية $^{168-172}W$ باستخدام نموذج البوزونات المتفاعلة IBM-2. وكانت النتائج المحسوبة متفقة مع النتائج المعملية كما قمنا. بتحليل طبيعة البنية النووية لهذه النظائر من خلال استخدام عدة طرق لتحديد ماهية نظائر الدراسة منها النسب: $\frac{E_I^+}{E_2^+}$ ، والنسب $r\frac{(I+2)}{I}$ ، وكذلك منحنى $(\boldsymbol{E-GOS})$ بين طاقة غاما مقسومة على البرم $(\frac{E_\gamma}{I})$ كدالة للبرم والتي سميت بمنحنيات $(\boldsymbol{E-GOS})$. ومقارنة النتائج بالتحديدات العيارية المرجعية لمعطاة لتحديد خصائص النوى دورانية متشوهة SU(3)، غاما الناعمة O(6)، اهتزازية U(5) والتحديدين الانتقاليين X(5) و E(5).ومن خلال الحسابات لقد تم تصنيف النظيرين $^{168-170}W$ الشفعية-شفعية على انهما ينتميا الى التحديد الانتقالي X(5) أي من O(6) الى SU(3) وذلك بواسطة الطريقتين $\frac{E_I^+}{E_2^+}$ و $(\boldsymbol{E-GOS})$ والعكس في حالة استخدام النسبة $r\frac{(I+2)}{I}$ وجميع الطرق اكدت ان النظير ^{172}W ذو خصائص دورانية SU(3).

الكلمات المفتاحية: التنجستن، بوزونات متفاعلة، نوى اهتزازية، نوى دورانية، نوى غاما الناعمة.

ABSTRACT

In this study the energy levels (y-rast) have been calculated by using the interacting boson model (IBM-2), for the even-even tangesten $^{168-172}w$ isotopes and the results compared with the experimental data, and they were a good match. The dynamic symmetries were able to determine after these calculations, by used several tests like ratio $\frac{E_I^+}{E_2^+}$, $r\frac{(I+2)}{I}$, and E-GOS. The results were compared with available limits, rotation SU(3),soft-Gamma O(6) and vibration U(5),X(5) and E(5) for each

isotope. The two even even $^{168\text{-}170}$W are going on From O(6) to SU(3) by $\frac{E_I^+}{E_2^+}$ and ($\boldsymbol{E-GOS}$) but the even even $^{168\text{-}170}$W isotopes are found going on from SU(3) to O(6) by $\boldsymbol{r}\frac{(I+2)}{I}$ ratio. However the ^{172}w isotope is found at SU(3) rotation limit.

Key words: E-GOS,Gamma-soft, IBM-2, tangesten rotation, vibration

1. Introduction

في عام 1932 قدم جيمس تشادويك [1] دليلا قاطعا على وجود جسيم دون ذري لا يحمل شحنة كهربائية، وقد أطلق عليه اسم النترون. هذا الاكتشاف ساعد في تفسير العديد من الظواهر النووية وكان له دور مهم في تطوير الفيزياء النووية والطاقة الذرية. وتسمى العناصر متساوية النترونات (Isotones) ومختلفة العدد الكتلى بمتماثلات النترونات. بينما العنصر الذى له نفس العدد الذري ولكنه يختلف في عدد النترونات وبالتالي يختلف في العدد الكتلي في النواة تسمى باسم النظائر (Isotopes). نظائر التنجستن تقع في منطقة انتقالية مهمة بين السلوك الدوراني والاهتزازي، مما يجعلها نماذج مثالية لاختبار تنبؤات نموذج IBM-2. يتيح هذا النموذج التفاعل بين بوزونات البروتون والنيوترون ويوفر أدوات دقيقة لتحليل البنية النووية. حيث شهدت دراسة البنية النووية تطورًا كبيرًا منذ منتصف القرن العشرين، خصوصًا بعد اكتشاف أن النوى لا تتصرف كجسيمات فردية فحسب، بل تُظهر خصائص جماعية نتيجة لتفاعلات قوية بين النويات (البروتونات والنترونات). أحد أهم مظاهر هذه التفاعلات هو ظهور المستويات الطاقية المنخفضة الإثارة، والتي يمكن تحليلها للكشف عن شكل النواة (كروي، مشوّه).في خمسينيات القرن الماضي، تم استخدام النموذج الجماعي لـ بور وموتيلسون لتفسير هذه المستويات، وتم تصنيف النوى إلى ثلاث فئات بنيوية رئيسية وهي (نوى اهتزازية (Vibrational)، نوى دورانية (Rotational) نوى غاما الناعمة (γ-soft)). وفي سبعينيات القرن الماضي، قدم العالمان Arima و Iachello [2,3] نموذجًا أكثر تطورًا يُعرف بـ نموذج البوزونات المتفاعلة (IBM)، وقدَّم لاحقًا تطويره المعروف بـ IBM-2، الذي يُميز بين بوزونات البروتون وبوزونات النترون ويُعد هذا النموذج من أنجح النماذج الجماعية لتفسير سلوك النوى متوسطة وثقيلة الكتلة، حيث يتم تمثيل الأزواج المقترنة من النويات على شكل بوزونات من نوعين (-بوزونات ذات برم زاوي صفر.- بوزونات ذات برم زاوي 2.).يمكّن هذا النموذج من دراسة التناظر البنيوي للنواة، عبر ثلاث مجموعات ديناميكية رئيسية وهي ((U(5): تمثل النوى الكروية الاهتزازية،.(SU(3): تمثل النوى المشوهة الدورانية،.(O(6): تمثل النوى غاما الناعمة). من خلال هذه التناظرات، يمكن تصنيف سلوك النواة بدقة، بناءً على المقارنة بين مستويات الطاقة المحسوبة والنسب الطيفية المرجعية[4].تم اختيار هذه النظائر في الدراسة الحالية لأنها تُظهر خصائص متفاوتة في التشوه والبنية، مما يسمح بتقييم دقيق للانتقال بين الحالات الجماعية المختلفة. من بين أبرز الطرق المعتمدة لتحليل الطبيعة البنيوية للنواة، هناك مجموعة من المؤشرات الطيفية التي أثبتت فعاليتها في تصنيف النوى ضمن أحد الأنماط الثلاثة الأساسية: الدوراني(SU(3 ، الاهتزازي(U(5 ، أو غاما الناعمة(O(6 إضافة الى الحدود الانتقالية X(5) و E(5). وتعتمد هذه الطرق على سلوك المستويات الطاقية وتدرجها، وهي مستقلة عن الطاقات المطلقة، ما يجعلها مفيدة للمقارنة بين نوى مختلفة[3]. وجد أن العديد من النظائر يحدث لها تحول أي تغير طوري من حالة إلى أخرى, فقد تتحول النواة من الحالة الدورانية $SU(3)$ الى الحالة الغير المستقرة (جاما الناعمة) $O(6)$ ثم الى الحالة الاهتزازية $SU(5)$ مروراً بالنقاط الانتقالية $X(5)$ و$E(5)$ على التوالي..ويحدث ذلك التغير بسبب تغير عدد نيترونات العنصر أو عند زيادة البرم (Spins) لنفس نظير العنصر. ان النسب $\frac{E_I^+}{E_2^+}$ تُستخدم لمقارنة موقع المستويات النووية العليا بمستوى الأساس الأول، وتوفر مؤشرًا أوليًا على نوع البنية (كروية، مفلطحة)، أما النسب $\boldsymbol{r}\frac{(I+2)}{I}$ تعتمد على الفروق الطاقية بين المستويات المتعاقبة، وتُعد أداة دقيقة للكشف عن نمط تطور البنية مع تزايد اللف الزاوي حيث أن بمنحنيات $(E-GOS)$ (E- Gamm Over Spin) تعبر عن مدى استقرار لحظة العطالة النووية، ويُستخدم لتمييز البنى الدورانية عن تلك التي تعاني من مرونة بنيوية أو اهتزازية[5,6].

.

النظرية (Theory)

يعتمد نموذج البوزونات المتفاعلة IBM-2 على تمثيل الحالة الدنيا وتيارات الإثارة من خلال بوزونات s (البرم الزاوي صفر) و d (البرم

تهدف النسب $r\frac{(I+2)}{I}$ إلى دراسة كيفية تطور الفروق الطاقية بين المستويات النووية المتعاقبة، أي كيف تتغير "خطوة" الطاقة من مستوى إلى آخر. تعد النسبة بين أي حالتين متتابعتين في الحزمة الأرضية GSB مهمة في تحديد خصائص الحالة في النواة الشفعية- شفعية وتعطى هذه النسبة بالعلاقة التالية:[9]

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

حيث ان $(\frac{I+2}{I})exp$ تمثل النسبة بين طاقتي الحالتين المقاستين **(I+2)** و **(I)**.

باستخدام النسبة المذكورة قام A.Ezwam باضافة المراحل الانتقالية X(5), U(5), والمدى المحدد لكل منهما [10]والنتائج مدونة في الجدول (2).

الجدول (2) مدى التحديدات العيارية للنسبة $r((I+2)/I)$ [10].

المنطقة	$r((I+2)/I)$	التحديد
النوى الاهتزازية	$0.1< r < 0.35$	**U(5)**
النوى جاما الناعمة	$0.4< r < 0.6$	**O(6)**
النوى الدورانية	$0.6< r < 1$	**SU(3)**
الانتقالية	$0.1< r < 0.4$	**U(5) – O(6)**
الانتقالية	$0.4< r < 0.8$	**O(6) – SU(3)**
النقطة الحرجة	$0.1491< r < 0.2732$	**E(5)**
النقطة الحرجة	$0.5961< r < 0.6773$	**X(5)**

يعتبر (E- Gamm Over Spin)تحديد منحنى بين طاقة غاما مقسومة على البرم $(\frac{E_\gamma}{I})$ والتي يرمز لها بالرمز $(E-GOS)$ من الطرق الدقية في تحديد خصائص النوى. حيث يتحلل منحنى طاقات الانتقال بين المستويات المتتالية من حيث تقسيم طاقة الانتقال على عدد الكم. وهي طريقة بيانية تشخص "ثبات أو تغير" لحظة توقف في النواة. والقيم العيارية لها كما هو موضح بالشكل (1).

الزاوي 2). تتضمن الحدود البنيوية النموذجية وهي ((U(5) بنية اهتزازية، SU(3) بنية دورانية، وبنية غاما الناعمة (O(6). في النسخة الأساسية IBM-1، لا يتم التمييز بين بوزونات البروتون وبوزونات النترون، بينما في نموذج IBM-2، الذي تم تطويره لاحقًا، يتم فصل المكونين، مما يسمح بتحليل أكثر دقة للبنية النووية، خاصة للنوى البعيدة عن الاستقرار أو التي تُظهر تباينًا في التشكيل بين البروتونات والنترونات تُعطى معادلة الهاملتوني الأساسية في نموذج البوزونات المتفاعلة IBM-2 كالتالي [7].:

$$\hat{H} = \epsilon_\pi \hat{n}_{d\pi} + \epsilon_v \hat{n}_{dv} + \kappa(\hat{Q}_\pi \cdot \hat{Q}_v) + \kappa_\pi(\hat{Q}_\pi \cdot \hat{Q}_v)$$

$$+ \kappa_v(\hat{Q}_\pi \cdot \hat{Q}_v) + \sum_{K=1}^{3} \xi_k \hat{M}_k$$

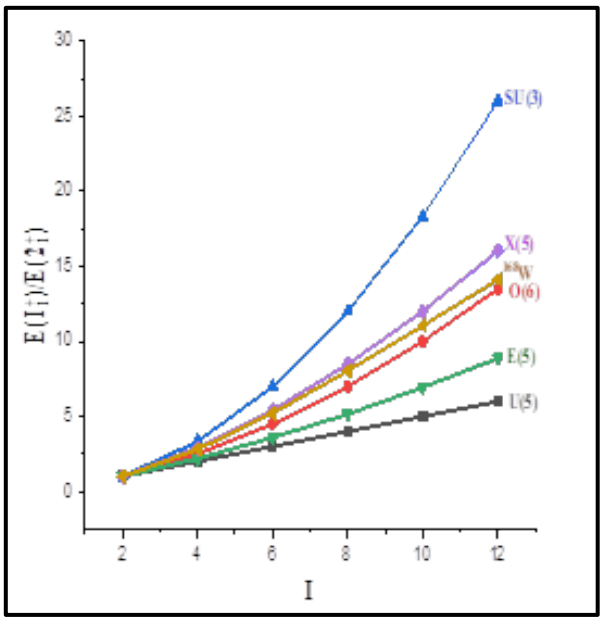
حيث $\epsilon_\pi \hat{n}_{d\pi} + \epsilon_v \hat{n}_{dv}$ تمثل طاقات البوزونات المفردة ϵ_π طاقة البوزون dللبروتونات و ϵ_v طاقة البوزون للنترون. يمثل κ معامل قوة التأثير الرباعي المتبادل و $(\hat{Q}_\pi \cdot \hat{Q}_v)$ هما مؤثرات رباعي القطب *للبروتونات* والنترونات على التوالي. يضاف إلى التأثر المتبادل، تأثر ذاتي مستقل لكل من البروتونات والنترونات على حدة، ممثل بالحدين $\kappa_\pi(\hat{Q}_\pi \cdot \hat{Q}_v) + \kappa_v(\hat{Q}_\pi \cdot \hat{Q}_v)$.الحد الأخير في معادلة الهاملتوني $\sum_{K=1}^{3} \xi_k \hat{M}_k$ يتضمن مصطلحات ميجورانا الثلاثة (ξ_1, ξ_2, ξ_3). تستخدم النسبة $EI_1^+/E2_1^+$ لتحديد نوع التناظر الديناميكي (U(5)، SU(3)، O(6)) الذي تقترب منه النواة، بناءً على نمط تصاعد الطاقة. أي تحسب قيم النسب بين الطاقات المثارة المتاحة إلى طاقة المستوى الاول $(E2_1^+)$ لكل نظير قيد الدراسة ($E4_1^+/E2_1^+$ ، $E10_1^+/E2_1^+$ ..... $E6_1^+/E2_1^+$) ومقارنتها مع قيم النسب المعيارية المحددة لكل تحديد من التحديدات الرئيسية الثلاث وأيضا المراحل الانتقالية كما موضح بالجدول (1) [8]. وإذا اقتربت القيم المحسوبة من هذه النسب، يمكن تصنيف النواة بسهولة.

الجدول (1) القيم القياسية لطاقة الاثارة الاولي $E(I_1^+)/E(2_1^+)$ والنسب $E(2_1^+)$.

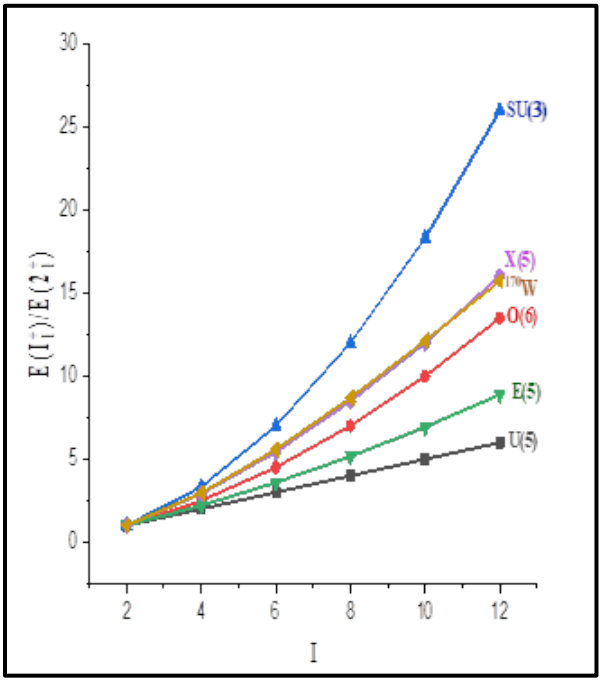
$E(I_1^+)/E(2_1^+)$	$U(5)$	$O(6)$	$SU(3)$	$E(5)$	$X(5)$
$E(2_1^+)/E(2_1^+)$	1	1	1	1	1
$E(4_1^+)/E(2_1^+)$	2	2.5	3.3345	2.199	2.904
$E(6_1^+)/E(2_1^+)$	3	4.5	7.0023	3.59	5.43
$E(8_1^+)/E(2_1^+)$	4	7	12.0042	5.16	8.483
$E(10_1^+)/E(2_1^+)$	5	10	18.3399	6.934	12.008

من الاشكال (2،3،4) اتضح ان النظيرين $W^{168-170}$الشفعية – شفعية ينتميا الى التحديد الانتقالي

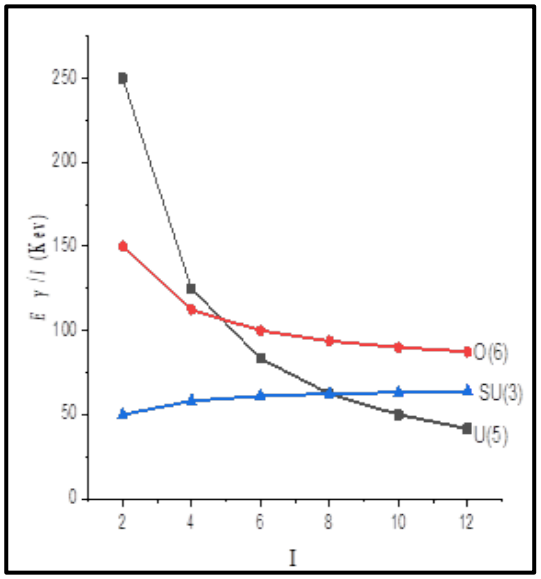
X(5) بين تحديد غاما الناعمة O(6) والتحديد الدوراني SU(3). بينما النظير W^{172} يصنف على انه ذو خصائص التحديدالدوراني SU(3).



شكل(2) قيم نسب الطاقة $E(I_1^+)/E(2_1^+)$ للنظير W^{168}



شكل(3) قيم نسب الطاقة $E(I_1^+)/E(2_1^+)$ للنظير 170W



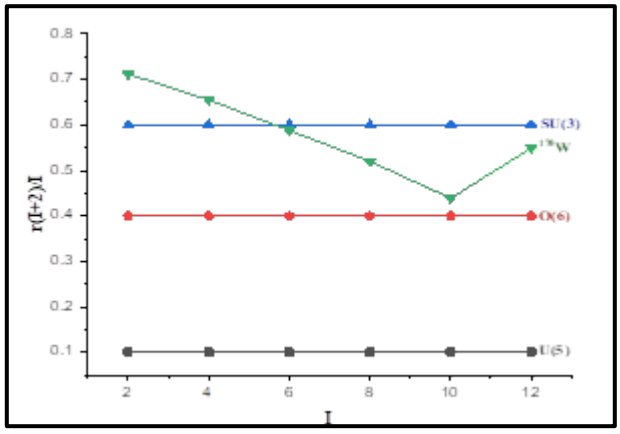
الشكل (1) منحنيات E-GOS للتحديدات العبارية الثلاثة

النتائج والمناقشة

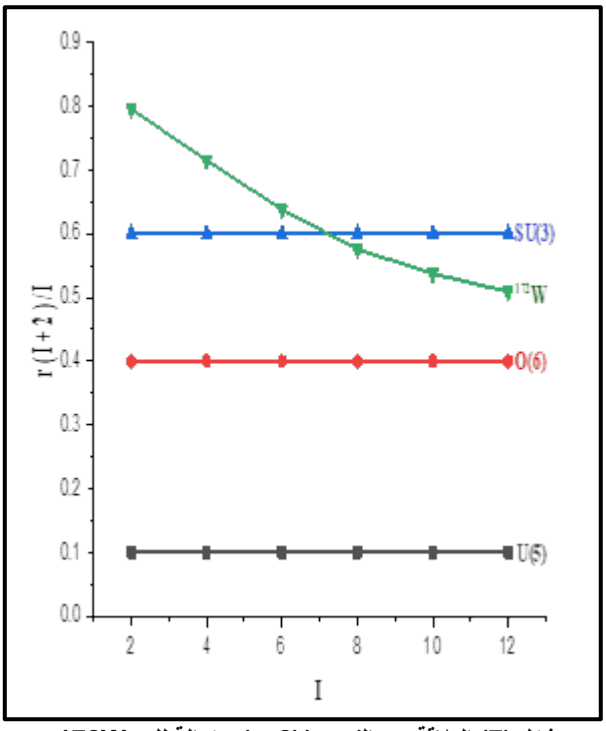
من خلال القيم المعملية المتحصل عليها لمستويات الطاقة الدنيا[11] و باستخدام نموذج البوزونات المتفاعلة IBM-2 [12,13] حيث تحصلنا على قيم(بارمترات) تشغيلية مناسبة كما هي موضحة بالجدول (3) والتي جعلت هناك توافق كبير بين قيم مستويات الطاقة المحسوبة والمعملية للنظائر قيد الدراسة.

جدول (3) قيم بارامترات المشغل الهاملتوني لنظائر التنجستن168,170,172W

$^{A}_{Z}X$	^{168}W	^{170}W	^{172}W
ε_d	0.60	0.55	**0.57**
$K_{\pi\nu}$	-0.086	-0.087	**-0.085**
χ_π	-1.2	-1.2	**-1.2**
χ_ν	-1.2	-1.2	**-1.2**
ξ_2	0.03	0.03	**0.03**
C_π^L	-0.01 -0.01 -0.01	-0.01 -0.01 -0.01	**-0.01** **-0.01** **-0.01**
C_ν^L	-0.04 -0.05 -0.06	-0.072 -0.060 -0.053	**-0.06** **-0.07** **-0.08**

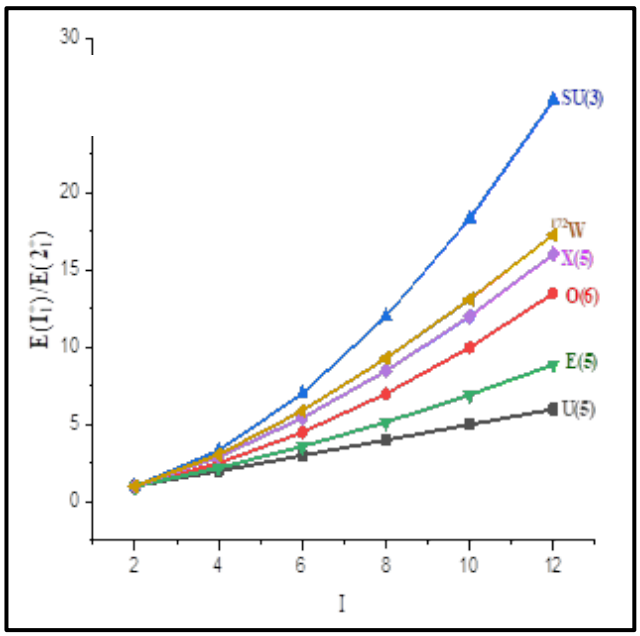


شكل (6) العلاقة بين النسب $r(I+2)/I$ كدالة للبرم170W



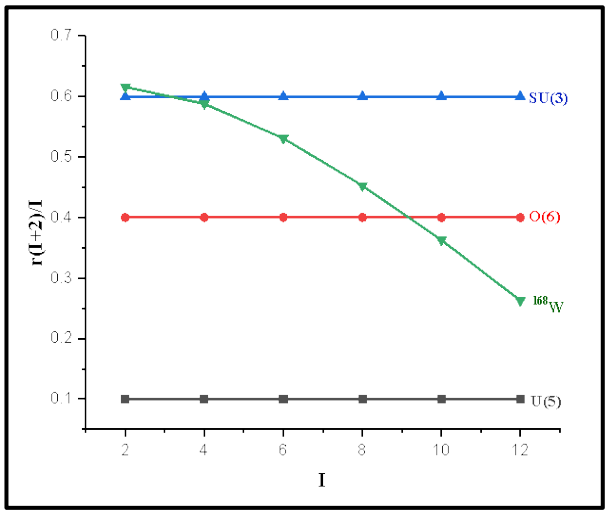
شكل (7) العلاقة بين النسب $r(I+2)/I$ كدالة للبرم172W

عند تطبيق منحنيات (E-Gos) على النظائر قيد الدراسة نلاحظ إن النظير ^{168}W يظهر هبوط ببطيء للمنحنى مما يجعل تحديده يسلك سلوك غاما الناعمة O(6) ثم يمر بالمرحلة الانتقالية نحو التحديد الدوراني SU(3) كما بالشكل (8) . أما النظير ^{170}W الموضح بالشكل (9) عند البرم المنخفض يكون ذوخصائص التحديد الانتقالي X(5). بينما النظير ^{172}W يصنف على انه يقترب من سلوك غاما الناعمة O(6) ومع زيادة في البرم يصبح ذو خصائص التحديد الدوراني SU(3) مرورا بالمنطقة الانتقالية X(5) كما هو موضح بالشكل (10).



شكل(4) قيم نسب الطاقة $E(I_1^+)/E(2_1^+)$ للنظير172W

أما النسب $r\left(\frac{I+2}{I}\right)$ فإن النظير ^{168}W كما موضح في الشكل (5) تحديده دوراني SU(3) ثم يصبح ذو خصائص انتقالية نحو خصائص غاما الناعمة O(6) الى غاية البرم I=10 ثم يغير سلوكه. أما الشكل (6) يبين ان النظير ^{170}W لغاية البرم I=6 له خصائص التحديد الدوراني SU(3) ثم يصبح في مدى التحديد الانتقالي X(5). بينما النظير ^{172}W يصنف على انه ذو تحديد دوراني SU(3) لغاية البرم I=10 ثم مع زيادة البرم نلاحظ انه ينتقل الى المرحلة الانتقالية X(5) الواقعة بين SU(3) و O(6) كما موضح بالشكل (7).



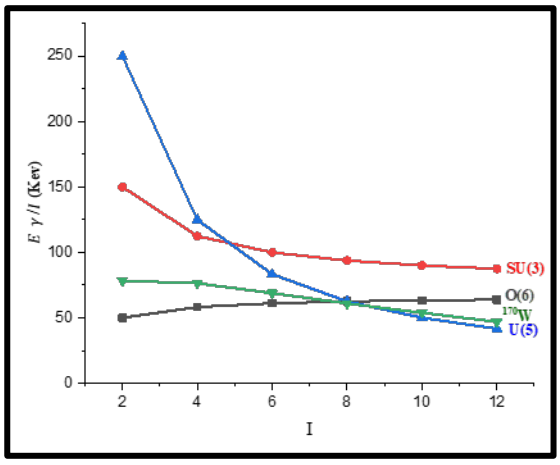
شكل (5) العلاقة بين النسب $r(I+2)/I$ كدالة للبرم168W

الاستنتاج

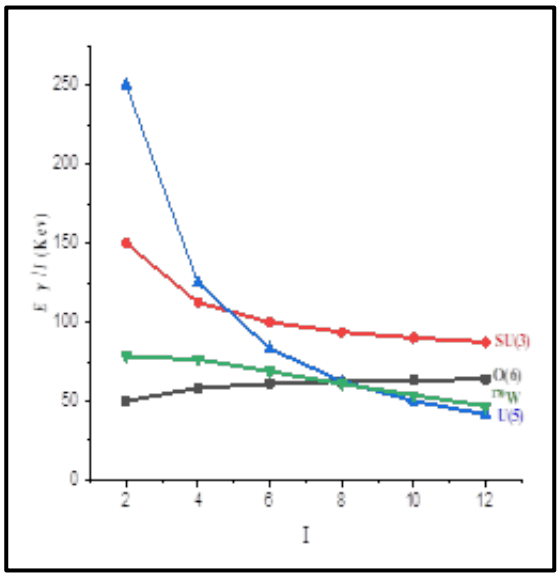
هذه الدراسة وضحت ان جميع الطرق التي استخدمت في هذا البحث بينت التالي. بواسطة النسبتين $\frac{E_I^+}{E_2^+}$ و

(E-Gos) تبين ان النظير ^{168}W ينتمي للتحديد الانتقالي X(5) أي يكون عند البرم المنخفض ذو تحديد O(6). غاما الناعمة و مع زيادة البرم **I** يقترب من التحديد الدوراني SU(3) ولكن النسب $r\left(\frac{I+2}{I}\right)$ اثبتت العكس وبينت انه ينتقل من دوراني الى غاما الناعمة.بينما النظير ^{170}W فهو يتمتع بخصائص التحديد الانتقالي (النقاط الحرجة) X(5) بينما طريقة (E-Gos) بينت انه انتقالي ويتجه نحو غاما الناعمة O(6).

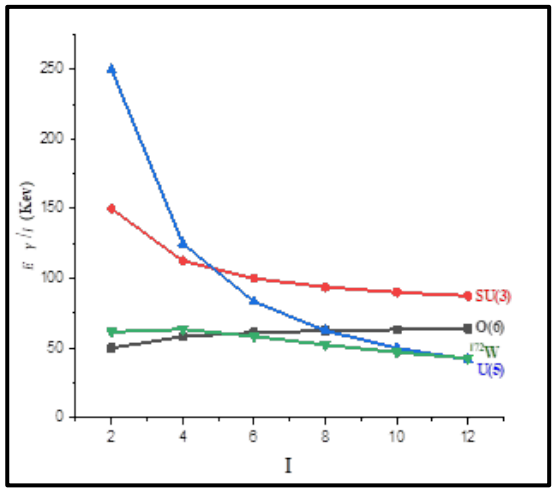
وعند الابرام العالية ينتقل الى تحديد غاما الناعمة O(6) . ومن هنا تبين ان نظائر قيد الدراسة هي نظائر انتقالية تتراوح بين الدورانية وغاما الناعمة والعكس صحيح.وهذا يوكد ان النوى التي عدد بروتوناتها او/و نيوتروناتها تبتعد من الاعداد السحرية وتقترب من منتصف القشرة المغلقة فهي نوى مشوهة وتكون ذات خصائص دورانية SU(3) , وغاما الناعمة O(6) و بعيدة عن الخصائص الاهتزازية U(5) الاقرب الى الشكل الكروي.



شكل (8) منحني (E-Gos) للنظيرW 168



شكل (9) منحني (E-Gos) للنظير 170W



شكل (10) منحني (E-Gos) للنظير 172W

المراجع

[1]. J.Chadwick (1932). The Existence of a Neutron. Proceeding of the Royad societ .

.[2]. Arima, A. & Iachello, F. (1974). Boson Symmetries in Vibration Nuclei. Phys. Lett.. B., 53,304.

.

.[3]. Arima, A. & Iachello, F. (1979). Interacting Boson Model of Collective Nuclear State IV. The O(6) Limit. Ann. Phys.,123,468-492.

[4].Casten, R.F. (2000). Nuclear Structure from Simple Perspective.

[5].Wong, S. S. (1998). Introductory nuclear physics. John Wiley & Sons.

[6]. Das, A., & Ferbel, T. (2003). Introduction to nuclear and particle physics.

[7]. Arnikar, H. J. (1995). Essentials of nuclear chemistry (No. 1653). New Age International.

[8].Bonatsos, D., Lenis, D., Minkov, N., Petrellis, Raychev, P. P., and Terziev, P. A. (2004). Ground State Bands of the E(5) and X(5) critical Sysymmetries Physics Letters B, 584 (1-2), 40-47.

[9]. Bonatsos, D., Leondiyas, D.,Skours,(1991). Successive Energy Ratio imediumand-Mass Nuclei as Indicators of Different Kinds of Collectivity Phsical Review C., 43(3),952-956.

[10].A.E.Ezwam and S.A.Sallam (2025), Study of Nuclear structure for even – even $^{178\text{-}184}$OS Isotopes.The Libyan Journal of Science. University of Tripoli. Vol.28 No1. 05-13 .

[11].Raman S. Nestor C. W, and Tikkanen J.R.(2001)*).* Transition Ground to the First-Excited 2^{+} States of Even-Even Nucldes. Atomic Data and Nuclear Data Tables. Vol.78 , No.11.

.

[12].achello, F., & Arima, A. (2006). The interacting boson model. Cambridge university press.

[13]. Arima, A. (1981). Interacting boson model. In Topics in Nuclear Physics II Comprehensive Review of Recent Developments: Lecture Notes for the International Winter School in Nuclear Physics Held at Beijing (Peking), Berlin Heidelberg.