مجلة التربية والعلم - المجلد (23)، العدد (2)، لسنة 2010

خصائص حزمة حالات الزخم الأدنى في نظائر $^{78-82}Sr$ الزوجية-الزوجية

عماد ممدوح
قسم الفيزياء / كلية التربية
جامعة الموصل

وفاء محمد نجيب
قسم الفيزياء / كلية العلوم
جامعة الموصل

الاستلام 2008 / 08 / 04

القبول 2009 / 04 / 06

Abstract:

The properties of the yrast levels of $^{78-82}Sr$ even-even isotopes have been studied. The method of gamma energy over spin (E-GOS) has been used to analyze the energy levels of these isotopes which shows that the two isotopes ^{78}Sr and ^{80}Sr lie in the γ-unstable, O(6), limit, but ^{82}Sr isotope lies in the transition region (SU(5)→SU(3)).

The interacting boson model IBM-1 has been used to calculate the energy levels for these three isotopes each for the limit it lies and a comparision with the experimental data is done and shows a good agreement.

The backbending in the energy levels for ^{80}Sr and ^{82}Sr are observed but not for ^{78}Sr.

الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة خصائص حزمة حالات الزخم الأدنى (Yrast Levels) في نظائر Sr^{78-82} الزوجية-الزوجية وذلك من خلال تحليل بيانات الطاقة بالاعتماد على طريقة طاقة كاما مقسومة على الزخم E-GOS. حيث ظهر أن النظيرين Sr^{78-80} يقعان ضمن التحديد كاما غير المستقرة O(6) في حين إن النظير Sr^{82} يقع ضمن المنطقة الانتقالية SU(5)-SU(3) استخُدم نموذج البوزونات المتفاعلة IBM-1 في حساب مستويات الطاقة للنظائر الثلاثة كل نظير حسب التحديد الذي ينتمي إليه وقورنت هذه القيم مع القيم العملية وكانت متفقة. وتم تحديد الانحناء الخلفي في مستويات الطاقة للنظيرين Sr^{80} و Sr^{82} ولم يظهر انحناء خلفي للنظير Sr^{78}.

المقدمة

يعد التحول في شكل النواة من المواضيع المهمة في بحوث التركيب النووي حيث لوحظ في العديد من النظائر تحول طوري من حالة إلى أخرى فقد تتحول النواة من الحالة الاهتزازية SU(5) إلى الحالة الدورانية SU(3) أو إلى الحالة كاما غير المستقرة O(6) وذلك بتغير عدد النيترونات من نظير إلى أخر وهذا ما لاحظه العديد من الباحثين على مجموعات مختلفة من النظائر. اهتم كثير من الباحثين بظاهرة التحول الطوري في شكل النواة وباستخدام طرق مختلفة لدراسة هذه الظاهرة، وقد قدم مجموعة من الباحثين طريقة بسيطة أطلقوا عليها طريقة منحني طاقة كاما مقسومة على البرم دالة للبرم (E-GOS) Regan [1]، حيث يتضح من خلال رسم العلاقة بين طاقة كاما المنبعثة عند انتقال النواة من حالة إلى حالة أخرى مقسومة على برم الحالة التي انتقلت منها النواة دالة لبرم الحالة يتضح تغير بشكل المنحني حسب التحديد الذي تنتمي إليه النواة في تلك الحالة. استخدم عدد من الباحثين هذه الطريقة على مجموعة من النظائر [1,2,3,4] وتم ملاحظة التغير في خواص مستويات الطاقة باختلاف عدد النيترونات من نظير إلى أخر أو عند البروم العالية لنفس النظير. واستخدم باحثون آخرون طرقاً أخرى لدراسة ظاهرة التحول الطوري في خواص النظائر فقد استخدم Palit [5] وآخرون نموذج الأغلفة المسقطي لدراسة تركيب مستويات الطاقة لحزمة الزخوم الزاوية الأدنى (Yrast-band) لمجموعة من النوى الزوجية-الزوجية بكتلة M~80، وأستخدم Yamamoto [6] وآخرون نموذج القشرة الدوار لنفس الغرض وتم التعرف على التغير في خواص مجموعة من النظائر من الحالة الاهتزازية إلى الحالة الدورانية.

إن تغيراً في شكل النواة وخواصها يسبب تحولاً في انتماء حالات الطاقة من تحديد إلى أخر و يحدث انحناء خلفي في مستويات الطاقة عند بروم عالية نسبياً، فعند زيادة طاقة الدوران عن الطاقة اللازمة لفك ارتباط زوج من النكليونات يحدث فك الارتباط هذا وينقل نكليونان إلى مدارات أعلى مسببا زيادة في عزم القصور الذاتي ونقصاناً في طاقة المستوي[7]، وهناك تفسيرات أخرى لظاهرة الانحناء الخلفي أهمها الاستطالة الحاصلة في النواة مسببة تقاطعاً في الحزم المختلفة مع الحزمة الأرضية. وقد حدد الكثير من الباحثين [2,7,8,9,10,11] الانحناء الخلفي للعديد من النظائر المختلفة، حيث تعرفوا على مواقع الانحناء الخلفي وشدته وقدموا تفاسير وشروحات لهذه الظاهرة.

خضعت نظائر السترونتيوم Sr للعديد من الدراسات لغرض تحديد خصائص نظائرها والتحديدات المختلفة التي تنتمي إليها والانتقال الطوري في خصائصها [5,7,12,13,14,15,16] باستخدام طرق و نماذج مختلفة. وتم تحديد الانحناء الخلفي لبعض نظائر Sr الزوجية-الزوجية باستخدام نسخة معدلة من النموذج الاسي [7]، وتم استخدام نموذج الاغلفة المزجي لدراسة الحزمة الجماعية لبعض نظائر Sr الزوجية-الزوجية[5].

تم في هذا البحث استخدام طريقة E-GOS للتعرف على خواص نظائر $^{78-82}Sr$ من خلال رسم منحني طاقة كاما مقسومة على البرم ($R = E_\gamma / I$) دالة للبرم I (البرم هنا هو الزخم الزاوي) ومقارنته مع الشكل النموذجي لمنحني E-GOS الذي أعيد رسمه في هذا البحث اعتمادا على العلاقات النموذجية للتحديدات المختلفة، بعد التعرف على تحديدات النظائر قيد الدراسة.

يعد نموذج البوزونات المتفاعلة IBM-1 [17] من النماذج الناجحة و المعتمدة منذ تقديمه في عام (1974) ولغاية الآن [4] حيث نجح هذا النموذج وبشكل واضح في حساب مستويات الطاقة واحتماليات الانتقالات الكهرومغناطيسية للعديد من النوى لدى عدد من الباحثين.

النظرية

تعد النواة من المنظومات المعقدة ولها خواص مختلفة حسب شكل النواة، فحالات الطاقة التي تمتلكها كل نواة لها مواقع مختلفة تعطى بعلاقات مختلفة حسب الشكل الذي تمتلكه وكذا الحال بالنسبة لطاقات كاما المنبعثة بين مستوياتها المختلفة.

تعطى طاقات انحلال أشعة كاما للمهتز التوافقي بـ $E_\gamma(I \to I-2) = \hbar\omega$ حيث ان $\hbar$ ثابت بلانك و ω التردد الزاوي و I برم الحالة، وللدوار المتناظر محورياً تعطى بـ $E_\gamma(I \to I-2) = \frac{\hbar^2}{2J}(4I-2)$ حيث أن J عزم القصور الذاتي. وللنواة التي تخضع للتحديد كاما غير المستقرة تعطى بـ $E_\gamma = \frac{E2_1^+}{4}(I+2)$.

طريقة طاقة كاما مقسومة على البرم $E-GOS$ من الطرق البسيطة والناجحة للتعرف على شكل النواة حيث يتم رسم المنحني بين $R = \frac{E_\gamma}{I}$ و I ومن خلال شكل المنحني يتم التعرف على شكل النواة، تعطى R للتحديدات الثلاثة للنواة بـ [1]

$$Vibrator: \quad R=\frac{\hbar\omega}{I}\xrightarrow{I\to\infty}0 \qquad (1)$$

$$Rotor: \quad R=\frac{\hbar^2}{2J}(4-\frac{2}{I})\xrightarrow{I\to\infty}4\frac{\hbar^2}{2J} \qquad (2)$$

$$\gamma-unstable \quad R=\frac{E2_1^+}{4}(1+\frac{2}{I})\xrightarrow{I\to\infty}\frac{E2_1^+}{4} \qquad (3)$$

يلاحظ من العلاقات السابقة أن R للمهتز تقل على شكل قطع زائد وبسرعة من أعلى قيمة عند $I=2$ إلى الصفر عند $I\to\infty$ و قيمة R للدوار تزداد ببطئ من أدنى قيمة عند $I=2$ حيث $R=\frac{3\hbar^2}{2J}$ إلى أعلى قيمة لها عند $I=\infty$ حيث $R=\frac{4\hbar^2}{2J}$ و R تقل للتحديد γ-unstable ولكن بشكل أبطأ من المهتز وأعلى قيمة عند $I=2$ حيث $R=\frac{E2_1^+}{2}$ إلى أدنى قيمة عند $I\to\infty$ حيث $R=\frac{E2_1^+}{4}$.

ونموذج البوزونات المتفاعلة الذي قدّمه *Arima and Iachello* [17] من النماذج الناجحة في حساب مستويات الطاقة للنوى التي تخضع للتحديدات المختلفة حيث استخدم هذا النموذج منذ تقديمه و لغاية ألان في دراسة و تحديد كثير من الخواص النووية [4]. يعطى المؤثر الهاملتوني في هذا النموذج و حسب التحليل الوصفي لمتعدد القطبية بـ [18,20]

$$\hat{H}=\varepsilon\,\hat{n}_d+a_0\hat{P}.\hat{P}+a_1\hat{L}.\hat{L}+a_2\hat{Q}.\hat{Q}+a_3\hat{T}_3.\hat{T}_3+a_4\hat{T}_4.\hat{T}_4 \qquad (4)$$

حيث ان ε طاقة البوزون و n_d عدد البوزونات d و P,L,Q,T_3,T_4 هي مؤثرات الازدواج والزخم الزاوي ورباعي وثماني القطبية والقطبية الستة عشرية على التوالي والمعاملات a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 هي ثوابت تعبر عن قوة تفاعل كل حد. تعطى قيم مستويات الطاقة *eigen value* للتحديدات الثلاثة وللحالات الانتقالية بين التحديدين الاهتزازي والدوراني بالعلاقات [18,19,20]:

$$For \quad Vibrator \quad SU(5)$$

$$E(n_d,\nu,L)=\varepsilon\,n_d+K_1n_d(n_d+4)+K_4\nu(\nu+3)+K_5L(L+1) \qquad (5)$$

ν تمثل عدد بوزونات d غير المرتبطة إلى زخم زاوي صفري و K_1,K_4,K_5 هي عوامل القوة لكل حد.

For Rotor SU (3)

$$E(\lambda,\mu,L)=\frac{a_2}{2}(\lambda^2+\mu^2+\lambda\mu+3\lambda+3\mu)+(a_1-3a_2/8)L(L+1) \qquad (6)$$

λ و μ هي أعداد كمية مختزلة لعدد البوزونات تحدد كيفية ترتيب البوزونات على الحالات المختلفة و a_2, a_1 يمثلان قوة تفاعل كل حد

For γ – unstable $O(6)$

$$E(\sigma,\tau,L)=A(N-\sigma)(N+\sigma+4)+B\tau(\tau+3)+CL(L+1) \qquad (7)$$

N تمثل عدد البوزونات و σ هي عدد أزواج البوزونات غير المرتبطة إلى زخم زاوي صفري و τ عدد كمي مختزل من σ. أما A,B,C فهي قوة تفاعل كل حد

For transition region $SU(5)\rightarrow SU(3)$

$$E(\lambda,\mu,L)=\varepsilon n_d+K_2(\lambda^2+\mu^2+\lambda\mu+3\lambda+3\mu)+K_5L(L+1) \qquad (8)$$

حيث ان $K_2=\frac{a_2}{2}$ و $K_5=\frac{a_1-3a_2}{8}$ يمثلان قوة تفاعل كل حد

تعاني حزمة الزخوم الأدنى *Yrast levels* لبعض النوى من انحناء خلفي عند زخوم I عالية نسبياً ناتج عن زيادة مفاجئة في عزم القصور الذاتي J مسبباً نقصاناً في طاقة المستوي عن القيمة المتوقعة حسب النموذج الدوراني [5] وتقل طاقة كاما E_γ المنبعثة من ذلك المستوي. تعطى طاقة المستوي I حسب النموذج الدوراني بالعلاقة:

$$E_I=\frac{\hbar^2}{2J}I(I+1) \qquad (9)$$

وتعطى طاقة الانتقال بين المستويين I & $I-2$ بالعلاقة [7,10]

$$E_I-E_{I-2}=\frac{\hbar^2}{2J}(4I-2) \qquad (10)$$

وطاقة انحلال كاما المنبعثة تعطى بالعلاقة [7,10]

$$(\hbar\omega)^2=\left(I^2-I+1\right)\left(\frac{E_I-E_{I-2}}{2I-1}\right)^2 \qquad (11)$$

الحسابات و النتائج

تم في هذا البحث التعرف على خصائص مستويات الطاقة لنظائر $^{78-82}Sr$ الزوجية-الزوجية، حيث تم الاعتماد على طريقة طاقة كاما مقسومة على البرم $E-GOS$ لدراسة شكل هذه النظائر الثلاثة، حيث تم إعادة رسم العلاقة بين $R=\frac{E_\gamma}{I}$ و I (والتي سبق أن رسمها آخرون)[1] للحالات النموذجية للتحديدات الثلاثة (الاهتزازية والدورانية وكاما غير المستقرة) باستخدام العلاقات$(1,2,3)$ الخاصة بكل تحديد.

استُخدم في هذا البحث نموذج البوزونات المتفاعلة IBM-1 لحساب مستويات الطاقة لحزمة الطاقة الأدنى *Yrast levels* للنظائر $^{78-82}$Sr باستخدام المعادلتين (7 و 8) ضمن التحديد $O(6)$ الذي ينتمي إليه النظيران $^{78}Sr,\ ^{80}Sr$ والمنطقة الانتقالية $SU(5)-SU(3)$ التي ينتمي إليها النظير ^{82}Sr. استخدمت المعادلة (7) لتحديد قيمتي المعاملين (B,C) الخاصين بالتحديد كاما غير المستقرة للنظيرين $^{78,80}Sr$ والجدول (1) يبين هذه القيم. استخدمت المعادلة (8) لتحديد قيم المعاملات ε,K_2,K_5 للنظير ^{82}Sr والجدول (2) يبين هذه القيم. استخدمت المعادلة (7) لحساب مستويات الطاقة لحزمة الزخوم الأدنى للنظيرين $^{78,80}Sr$ واستخدمت المعادلتان (10) و (11) لحساب عزم القصور الذاتي وطاقة كاما لهذين النظيرين والجدولين (3) و (4) يبينان هذه القيم مقارنة بالقيم العملية لمستويات الطاقة ونسبة الخطأ. استخدمت المعادلة (8) لحساب مستويات الطاقة لحزمة حالات الزخوم الأدنى للنظير ^{82}Sr واستخدمت المعادلتان (10) و (11) لحساب عزم القصور الذاتي وطاقة كاما لهذا النظير والجدول (5) يبين هذه القيم مقارنة بالقيم العملية لمستويات الطاقة و نسبة الخطأ.

الشكلان (1) و (2) يبينان منحني E-GOS للنظائر الثلاثة مع المنحنيات النموذجية للتحديدات الاهتزازية والدورانية وكاما غير المستقرة. والشكل (2) يبين مستويات الطاقة العملية والمحسوبة دالة للبرم (الزخم الزاوي) للنظائر الثلاثة، الشكل (3) يبين علاقة طاقة المستويات المحسوبة والعملية بالزخم الزاوي للنظائر الثلاثة على التوالي. لغرض التعرف على خواص مستويات الطاقة ودراسة إمكانية حصول انحناء خلفي فيها تم حساب عزم القصور الذاتي $\left(\frac{2J}{\hbar^2}\right)$ باستخدام المعادلة(10)، وحساب طاقة كاما المنبعثة $(\hbar\omega)^2$ بأستخدام المعادلة (11) وهذه القيم مبينة في الجداول $(3,4,5)$ للنظائر الثلاثة، رسمت العلاقة بين $\left(\frac{2J}{\hbar^2}\right)$ و $(\hbar\omega)^2$ للنظائر الثلاثة والشكلين (4) و (5) يبينان ذلك. وتم تحديد مواقع الانحناء الخلفي للنظيرين ^{80,82}Sr ولم يلاحظ انحناء خلفي للنظير ^{78}Sr.

المناقشة

تعد طريقة طاقة كاما مقسومة على البرم $E-GOS$ من الطرق الحديثة والفعالة في تحديد خواص النوى والتحديد الذي تنتمي إليه، تم الاعتماد على هذه الطريقة لغرض تحديد خواص مستويات الطاقة للنظائر Sr^{78-82}، حيث تم رسم شكل المنحني لهذه النظائر ومقارنته بالشكل النموذجي للتحديدات الثلاث $SU(5), SU(3), O(6)$ والشكلين (1) و (2) يبينان أن النظيرين $Sr^{78,80}$ يتبعان التحديد كاما غير المستقرة $O(6)$ حيث تكون قيمة النسبة R الابتدائية للنظير Sr^{78} (139.25) وتقل ببطئ إلى القيمة (94.05) عند المستوي $\left(18_1^+\right)$ وقيمة R الابتدائية للنظير Sr^{80} هي (192.94) وتقل ببطئ ولكن أسرع نسبياً مما هي للنظير Sr^{78} إلى أن تصل القيمة إلى (77.39) للمستوي $\left(20_1^+\right)$ ثم يحدث زيادة بسيطة في قيمة R بعد هذا المستوي بتشويش بسيط لا يكاد يذكر. في حين أن قيمة R الابتدائية للنظير Sr^{82} شكل (2) هي (286.77) للمستوي 2_1^+ و تقل بسرعة إلى القيمة (79.21) للمستوي (18_1^+) مما يعطي هذا النظير شكل التحديد الاهتزازي ثم يتغير سلوكه بعد هذا المستوي حيث تزداد قيمة النسبة R ببطء لتصل القيمة (89.66) عند المستوي $\left(24_1^+\right)$ مما يعطي هذا النظير تشويشاً دورانياً عند المستويات $\left(20_1^+ \rightarrow 24_1^+\right)$. بعد التعرف على خواص النظائر الثلاثة بدقة تم استخدام نموذج البوزونات المتفاعلة (IBM-1) التحديد O(6) لحساب مستويات الطاقة للنظيرين $(Sr^{78,80})$ وذلك بعد تحديد قيم المعاملين (B,C) الخاصين بهذا التحديد المعادلة (7)، اما المعامل (A) فلا أهمية له في حساب مستويات حزمة حالات الزخوم الادنى واستخدمت المعادلة نفسها في حساب مستويات الطاقة لحزمة حالات الزخوم الأدنى. واستخدم النموذج نفسه التحديد الخاص بالمنطقة الانتقالية ((SU(5)-SU(3)) لتحديد قيم المعاملات الخاصة بهذه المنطقة (ε, K_2, K_5) وحساب مستويات الطاقة لحزمة حالات الزخوم الأدنى للنظير (Sr^{82}) ويتضح من الجداول $(3,4,5)$ والشكل (3) مدى التوافق الكبير ونسبة الخطأ البسيطة جداً في مستويات الطاقة للنظائر الثلاثة مما يدل على سلامة الأسلوب المتبع ونجاحه وكذلك يدل على نجاح نموذج البوزونات المتفاعلة $(IBM-1)$ تماما عند استخدام التحديد المناسب والعوامل الصحيحة لهذا الغرض. تم رسم العلاقة بين عزم القصور الذاتي $\left(\frac{2J}{\hbar^2}\right)$ و مربع طاقة كاما المنبعثة $(\hbar\omega)^2$ لغرض تحديد الانحناء الخلفي ان وجد لكل نظير، يتضح من الشكل (4) أن النظير Sr^{78} لا يحدث انحناء خلفيا في مستوياته وذلك لكون هذا النظير يقع ضمن التحديد $O(6)$ الخالص دون حدوث أي تشويش

في مستوياته جميعها. أما الرسم الخاص بالنظير Sr^{80} فيحدث فيه انحناء بسيط بين المستويين $(18_1^+ \ \& \ 20_1^+)$ وهذا ناتج عن تشويش بسيط عند المستوي (20_1^+) وهذا واضح من قيم R الخاصة بهذا النظير الشكل (1) حيث يلاحظ التغير في سلوك هذا النظير عند هذا المستوي. اما النظير Sr^{82} فيظهر في مستوياته انحناء خلفي بين المستويات $(10_1^+ - 14_1^+)$ كما مبين في الشكل(5) ويدعم هذا شكل منحني $E-GOS$ لهذا النظير الشكل (2) حيث يلاحظ تغير شكل المنحني ابتداءا من الحالة (14_1^+) حيث يأخذ شكل المنحني الدوراني وهذا يسبب تشويشا يؤثر على الحالات التي تسبقه والقريبة منه (الحالتين $10_1^+ \& 12_1^+$) مسببا انحناءا خلفيا. ان زيادة عزم القصور الذاتي عند الحالات المرتفعة نسبيا عن القيمة المتوقعة حسب النموذج الجماعي (الحركة الدورانية) لبعض النوى يسبب نقصاناً في قيمة الطاقة المتوقعة عند تلك الحالات و ينتج عنها انحناءا خلفيا في منحني عزم القصور الذاتي دالة لطاقة كاما المنبعثة بين مختلف المستويات، وقد أشارت الكثير من المنشورات إلى ان فك ارتباط زوج او زوجين من النكليونات وإعادة ارتباطه تقلل من قيمة الطاقة المتوقعة وتسبب انحناءا خلفياً. يلاحظ من الجدول (2) ان هناك قيمتان مختلفتان لمعاملات النظير Sr^{82} ويلاحظ اختلاف واضح في قيمة المعامل K_2 حيث كانت $(-0.112\,keV)$ للحالات $(2_1^+ \rightarrow 14_1^+)$ و $(-0.7796\,keV)$ للحالات $(16_1^+ \rightarrow 24_1^+)$ و يعزى سبب ذلك إلى تأثير التشويش الدوراني على المجموعة الثانية من المستويات أكثر من تأثيرها على المجموعة الأولى بسبب النقصان في عزم القصور الذاتي عند الزخوم العالية نسبيا اما المعامل ε فقد تم تثبيته لمجموعتي الحالتين المختلفتين ضمن حزمة الزخوم الأدنى اما المعامل K_5 فقد تغير تغيراً بسيطاً.

جدول (1): معاملات مستويات الطاقات الخاصة بالتحديد كاما غير المستفرة للنظيرين $Sr^{78,80}$

Isotope	B keV	C keV
Sr^{78}	64.1650	7.0275
Sr^{80}	127.0650	-12.4664

جدول (2): معاملات مستويات الطاقة الخاص بالمنطقة الانتقالية $SU(5) \to SU(3)$ للنظير Sr^{82}

state	ε(keV)	K_2(keV)	K_5(keV)
$2^+ \to 14^+$	499.6225	-0.112	18.2412
$16^+ \to 24^+$	499.6225	-0.7769	14.5462

جدول (3): القيم العملية والقيم المحسوبة للنظير Sr^{78}

Spin I	(a) $E(I)_{exp}$ (keV)	(b) (I) E_{cal} (keV)	E_γ (keV)	(c) Δ(%)	(d) R_{exp} (keV/ħ)	(e) $2J/\hbar^2\times10^{-3}$ $(keV)^{-1}$	(f) $(\hbar\omega)^2\times10^4$ $(keV)^2$
2^+	278.5	298.8	278.5	-7.29	139.25	21.54	2.5854
4^+	782.2	782.19	503.7	0.0013	125.92	27.79	6.7312
6^+	1494.5	1450.12	712.3	+2.97	118.78	30.88	12.999
8^+	2390	2302.6	895.5	+3.66	111.92	33.50	20.315
10^+	3447	3339.6	1057	+3.13	105.7	35.95	28.1633
12^+	4657	4561.2	1210	+2.06	100.83	38.0	36.81
14^+	6024	5967.3	1367	+0.94	97.64	39.50	46.9094
16^+	7558	7557.8	1534	0.003	95.87	40.41	59.0125
18^+	9251	9333.0	1693	-0.886	94.05	41.36	71.8317

(a) القيم العملية لمستويات الطاقة من مصدر (21)

(b) القيم المحسوبة بأستخدام معادلة رقم (7)

(c) نسبة الخطأ $\Delta(\%) = (\frac{E_{\exp} - E_{cal}}{E_{\exp}}) \times 100$

(d) النسبة R تحسب بالمعادلة $R = \frac{E_\gamma}{I}$

(e) عزم القصور الذاتي يحسب من المعادلة رقم (10)

(f) طاقة كاما المنبعثة تحسب من المعادلة رقم (11)

جدول (4): القيم العملية والقيم المحسوبة للنظير Sr^{80}

Spin I	(a) $E(I)_{exp}$ (keV)	(b) $E(I)_{cal}$ (keV)	E_γ (keV)	(c) $\Delta(\%)$	(d) R(I) (keV/ħ)	(e) $2J/\hbar^2\times10^{-3}$ $(keV)^{-1}$	(f) $(\hbar\omega)^2\times10^4$ $(keV)^2$	
2^+	385.88*	433.46	385.88	-12.3	192.94	15.549	4.9634	
4^+	**980.68	1021.32	594.8	-4.14	148.7	23.5373	9.3862	
6^+	1763.58	1763.58	782.9	0.00	130.52	28.10	15.7073	
8^+	2700.4	2660.23	936.84	+1.49	117. 11	32.02	22.2333	
10^+	3765.7	3711.29	1065.3	+1.44	106.32	35.670	28.6074	
12^+	4952.0	4916.75	1186.3	+0.71	98.86	38.776	35.3822	
14^+	6276.6	6276.75	1324.6	-0.002	94.57	40.767	44.0446	
16^+	7752.5	7790.8	1475.9	-0.49	92.24	42.008	54.627	
18^+	9331.2	9459.51	1578.7	-1.37	87.71	44.340	62.46	
20^+	10879.0	11282.5	1547.8	-3.71	77.39	50.394	60.0102	
22^+	12630.3	13260.0	1751.3	-4.98	79.59	49.106	76.8	
24^+	14746.8	15391.8	2116.5	- 4.37	88.18	44.413	112.1414	

(a) القيم العملية مأخوذة من مصدر (22)

* قيمة الطاقة من مصدر(24) =461 keV

** قيمة الطاقة من مصدر(24) =945 keV

(d),(c), (b) و(f), (e) تُعبر عن قيم كما في الجدول (3)

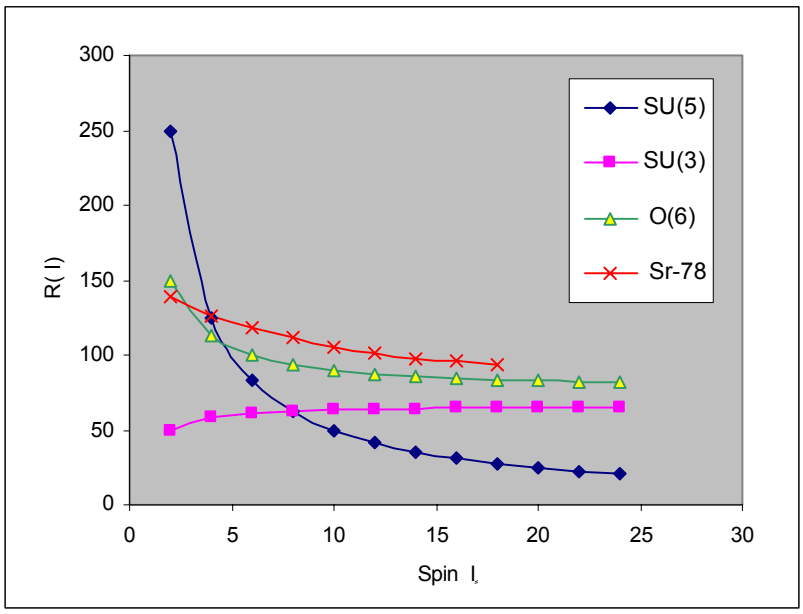
جدول (5): القيم العملية والقيم المحسوبة للنظير Sr^{82}

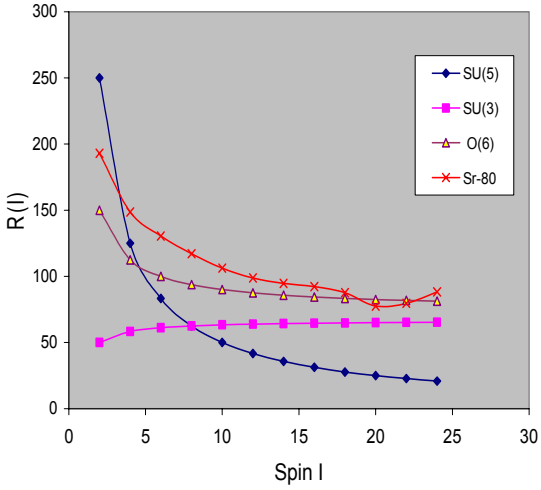
Spin I	(a) $E_{exp}(I)$ (keV)	(b) E_{cal} (keV)	(c) $\Delta(\%)$	E_γ (keV)	(d) R(I) (keV/ħ)	(e) $2J/\hbar^2\times10^{-3}$ $(keV)^{-1}$	(f) $(\hbar\omega)^2\times10^4$ $(keV)^2$
2^+	573.54	573.54	0.0	573.54	286.77	10.46	10.9649
4^+	1328.54	1328.54	0.0	755.0	188.75	18.54	15.1231
6^+	2229.47	2229.47	0.0	900.93	150.155	24.42	20.7949
8^+	3242.8	3276.33	-1.03	1013.33	126.068	29.60	26.0132
10^+	4350.3	4469	-2.73	1107.4	110.74	34.31	30.9187
12^+	5427.1	5807.84	-7.01	1076.76	89.73	42.71	29.1518
14^+	6543.6	6315.08	+3.49	1116.5	79.74	48.36	31.2925
16^+	7812.0	7716.57	+1.22	1268.32	79.27	48.88	40.3465
18^+	9237.8	9234.43	+0.04	1425.78	79.21	49.09	50.947
20^+	10872.4	10868	+0.04	1634.6	81.73	47.71	66.9297
22^+	12758.8	12619.26	+1.1	1886.28	85.74	45.58	89.1069
24^+	14910.8	14486.23	+2.8	2151.84	89.66	43.68	115.9348

(a) القيم العملية مأخوذة من المصدر رقم (23)

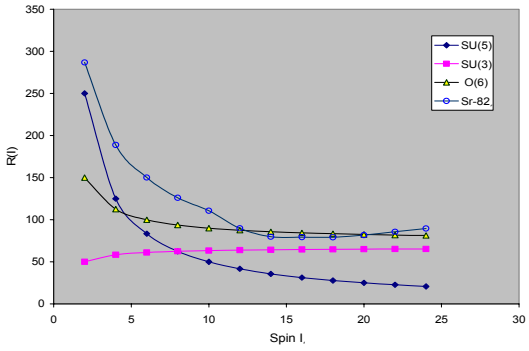
(b) استخدمت المعادلة (8) في الحسابات

(d),(c) و(f), (e) تُعبر عن القيم كما في الجدول (3)

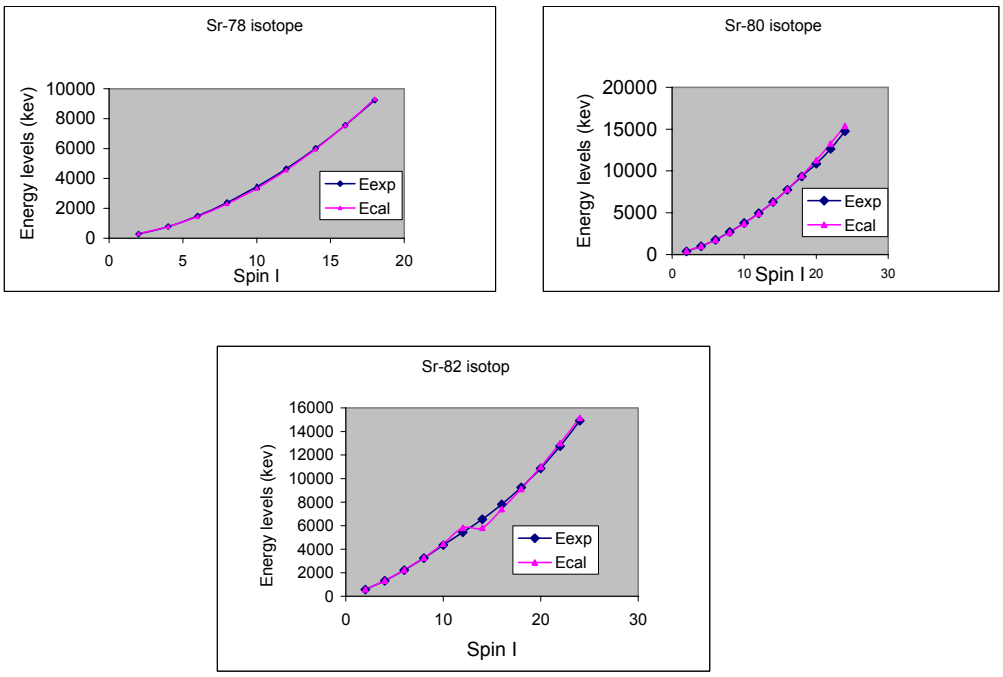




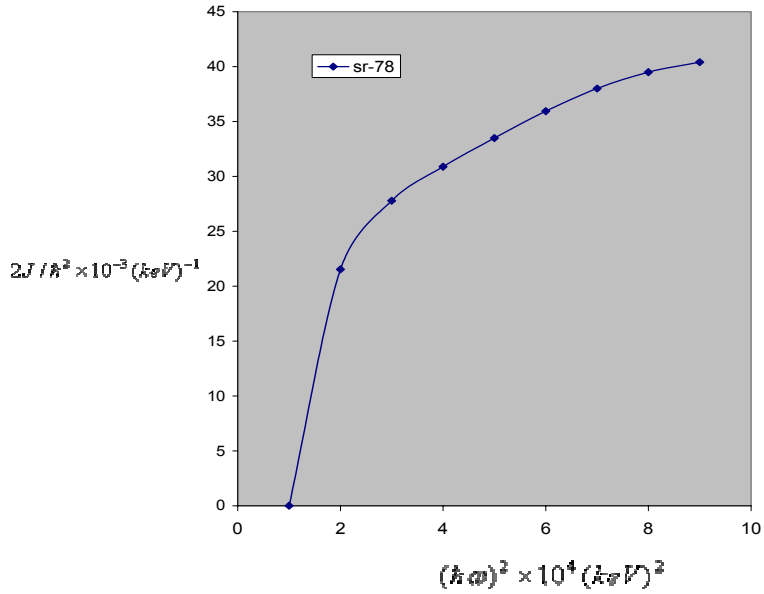
شكل (1): العلاقة بين R وI ومقارنتها مع التحديدات للنظير Sr-78 و Sr-80

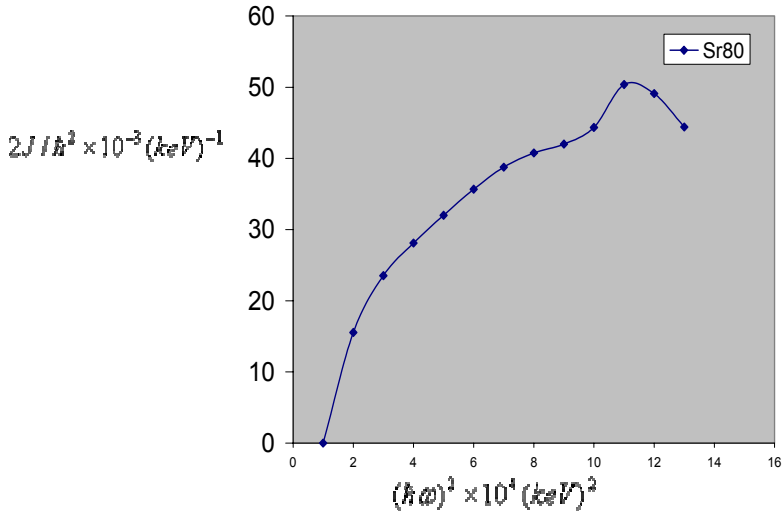


شكل (2): العلاقة بين R وIg ومقارنتها مع التحديدات للنظير82- Sr

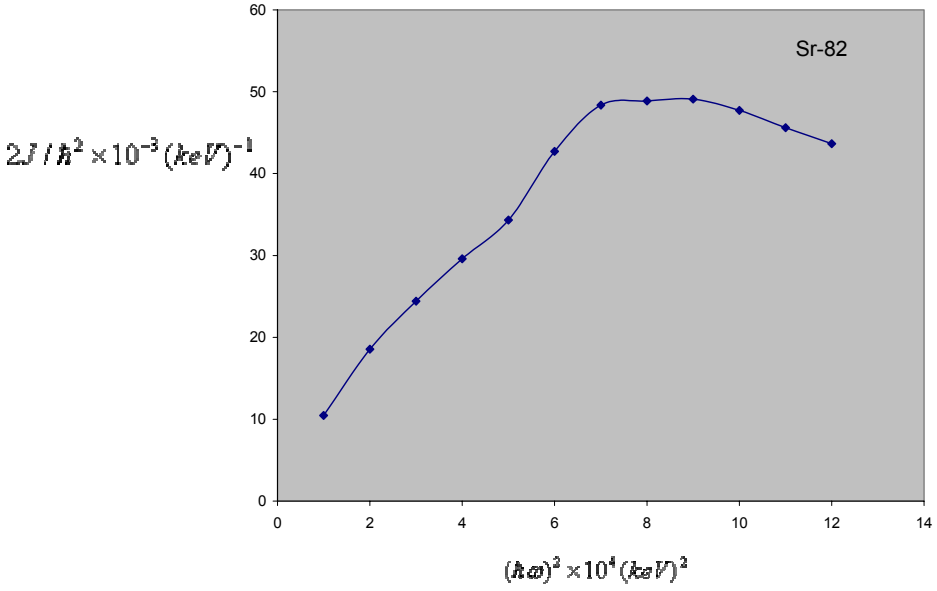


شكل (3): مقارنة طاقة المستويات العملية والمحسوبةE دالة للبرم I لحزمة الطاقة الأدنى بالزخم الزاوي لنظائر $^{78-82}Sr$





شكل (4): عزم القصور الذاتي $2J/\hbar^2$ دالة للتردد الزاوي $(\hbar\omega)^2$ لنظائر $^{78-80}Sr$ الزوجية –الزوجية



شكل (5): عزم القصور الذاتى $2J/\hbar^2$ دالة للتردد الزاوي $(\hbar\omega)^2$ للنظير ^{82}Sr الزوجية –الزوجية

الاستنتاجات:

1) ظهرت فعالية طريقة منحني طاقة كاما مقسومة على البرم $E-GOS$ في تحديد خواص النظائر قيد الدراسة $^{78-82}Sr$.
2) ان النظيرين $^{78,80}Sr$ يقعان ضمن التحديد كاما غير المستقرة $O(6)$ ولم يحصل فيهما تحول في نمط التحديد مع ملاحظة ان النظير ^{80}Sr ظهر فيه تشويش بسيط عند المستوي $\left(20_1^+\right)$ دون ان يؤثر على خصائص النواة.
3) ان النظير ^{82}Sr قد حدث فيه تغير في الخصائص وتحول في نمط التحديد عن الحالة الاهتزازية من المستوي $\left(2_1^+\right)$ إلى المستوي $\left(18_1^+\right)$ إلى نمط التحديد الانتقالي عن الحالة الاهتزازية إلى الحالة الدورانية من المستوي $\left(20_1^+\right)$ إلى المستوي $\left(24_1^+\right)$.
4) نجاح نموذج البوزونات المتفاعلة تماما في حساب مستويات الطاقة للنظائر الثلاثة مع نسبة خطأ بسيطة وذلك بتحديد العوامل الخاصة بكل تحديد تنتمي إليه النظائر واستخدام المعادلات المناسبة في الحساب.
5) عدم ظهور أي انحناء خلفي للنظير ^{78}Sr.
6) ظهور انحناء خلفي بسيط للنظير ^{80}Sr بين المستويين $\left(18_1^+ \ \& \ 20_1^+\right)$.
7) ظهور انحناء خلفي واضح المعالم للنظير ^{82}Sr بعد المستوي $\left(10_1^+\right)$.

المصادر:

1) Regan P. H., Beausang C. W., Zamfir R. F., Casten R. F., Zhang Jine-ye, Yamamoto A. D., Caprio M. A., Phys. Rev. Lettes. 90: 1525021-4 (2003).
2) Daniel Seaborne Project Super. P. H. Regan Seaborne (2004) WWW.ph.Surrey.ac.uk./nevsite/uploads
3) Regan P. H., Wheldon C., Yamamoto A. D., Valiente-Dobon, Cline D., etal., Acta Physica Polonica B36 :1313-1322 (2005).
4) Yu-Xin liu, Liang-Zhu Mu, and Haigng Wei Phys. Lett B 633:49-53 (2006).
5) Palit R., Sheikh J. A., Sun Y., Jain H. C., Nucl. Phys. A 686:141-162 (2001).
6) Yamamoto A. D., Beausang C. W., Xu F. R., Phys. Rev. C66: 0243021-13 (2002).
7) El Kameesy S. U., Alharbi H. H., Alhendi H. A., arxiv:nucl-th/0509015 V1 (2005).
8) Burcham W. E., Elements of Nuclear Physics Longman Inc., Newyork (1989).
9) Krane K., Introductory Nuclear Physics John Wiely and Sons, Newyork (1987).
10) Kelabi Mohamed E., arxiv:nucl-th/2005/050321V1 .
11) Sirag M. M., Jou. Nucl. Radi. Phys.1:79-91(2006).
12) Galeriu D., Bucurescu D., and Ivascu M., J. Phys. G: Nucl. Phys. 12: 329-348 (1986).
13) Buchinger F., Ramsay E. B., Arnold E., Neu W., Neugart R., and Wendt K., Phys. Rev. C41:2883-2897 (1990).
14) Tripathy K. C., Sahu R., J. Phys. G: Nucl. Phys. 20:911-923 (1994).
15) Döring J., Aprahamian A., and Wiescher M., J. Res. Nati. Inst. Stand. Technol. 105:43-51 (2000).
16) Yu C. H., Baktash C., Brinkman M. J., Jin H.-Q, and Rudolph D., etal., Phys. Rev. C57:113-122 (1998).
17) Iachello F., Arima A., The Interacting Boson Model, University press Canbridge (1987).
18) Arima A., and Iachello F.,Phys.Rev. Lett.,35:1069- (1975).
19) Arima A., and Iachello F.,Ann. Phys.99:253- (1976).
20) Arima A., and Iachello F.,Ann. Phys.123:468-492 (1979).
21) Shaheen Rab., Nucl. Data Sheets 63:1- (1991).
22) Balraj Singh Nucl. Data Sheets 105:223- (2005).
23) Tuli J. K., Nucl Data Sheets 98:209- (2003).
24) His Tseng Chen Chinese Journal of Physics 29:411-430 (1991).