دراسة التركيب النووي لنظير (Os^{184}) باستخدام نموذج البوزونات المتفاعلة – 1

علي عبد أبو جاسم الحميداوي
مدرس مساعد / جامعة الكوفة/ كلية العلوم / قسم الفيزياء

الخلاصة :
تم في هذا البحث دراسة خصائص مستويات الطاقة لنظيرOs^{184} واحتمالية الانتقالات الكهربائية المختزلة B(E2) باستعمال نموذج البوزونات المتفاعلة -1 . كما وتم تحديد شكل النواة من خلال دراسة طاقة جهد السطح وحساب مربع الطاقة الدورانية وعزم القصور الذاتي.
وفي هذا البحث تم تأكيد البرم والتماثل لبعض مستويات الطاقة غير ألمحدده عمليا , حيث تم تحديد المستويات 1.6980 MeV , 1.6315 MeV, 1.6132 MeVببرم وتماثل 2_3^+ , 4_5^+ , 6_2^+ على التوالي. ووفق لنموذج (IBM-1) وجد إن النظير Os^{184} ينتمي إلى المنطقة الانتقالية$SU(3) \rightarrow O(6)$.

A study of Nuclear Structure of Os^{184} Isotopes by the Interacting Boson Model-1

Ali Abid Abojassim Al-Hamadawy
assistance / Lecture/ Kufa Unv.Sci.Coll.Phy.Dep.

Abstract :
In this research , characteristics of energy levels and reduced electric transition for Os^{184} isotope have been studied using interacting boson model-1. Also , the nucleus shape was determined through studying potential energy surface ,the square of rotational energy and the moment of inertia were calculated. In the present research ,was averment the spin and parity for some energy levels which not determined practically , where the levels (1.6980 , 1.6315 , 1.6132) MeV with spin and parity (2_3^+ , 4_5^+ and 6_2^+)respectively .According to the (IBM-1) was found that Os^{184} isotope involved in transition region O(6) to SU(3).

المقدمة :
في عام 1974 اقترح Arima & Iachell [1] نموذجا نوويا استطاع من خلاله أن يصف خصائص مستويات الطاقة في النوى الزوجية –الزوجية ذات الأعداد الكتلية المتوسطة والثقيلة بواسطة أزواج النيوكلونات خارج القشرة المغلقة التي تمت معالجتها كبوزونات [2] بحيث لم يأخذ بنظر الاعتبار درجات الحرية لهذه البوزونات وقد سمي بنموذج البوزونات المتفاعلة الأول IBM-1 وقد تطور هذا النموذج بإدخال درجات الحرية للبوزونات ونتيجة لهذا التعديل تم الكشف عن خصائص نووية جديدة للنوى وسمي بنموذج البوزونات المتفاعلة الثاني IBM-2 [3] .

وهناك عدت دراسات قام بها عد من العلماء المتخصصين في مجال دراسة الخواص النووية للنظائر وفيما يلي بعض هذه الدراسات المتعلقة بنظير (Os) :

ففي عام 1997 قام كل من C.Thwaites and A.M.Bruce [4]بإجراء دراسة عملية لقياس احتمالية الانتقال بين مستويات الطاقة الواطئة للنظيرين Os^{187} , Os^{189} باستخدام حزمة من جسيمة ألفا , وقارن النتائج مع ماكان متوقعا من مخطط الانحلال للنظيرين.

وفي عام 1999 قام C.Fransen [5]دراسة استطارة الفوتونات عمليا لتحديد شكل النوى Os^{192} , Os^{190} لمدى من الطاقات اقل من$E\gamma<4$ MeV وتحديد طاقات التهيج للمستويات الواطئة والزخم الذاتي واستطارة الفوتون ومساحة المقطع العرضي للتفاعل للنوى الزوجية – الزوجية .

وفي عام 2003 قام كل من A.Bouldjed and M.L.Benabderrahmane [6]بدراسة التماثل ألدوراني للنظيرين Os^{186} , Os^{187} عند n =104 , وأظهرت هذه الدراسة إن هذه النظائر تميل إلى التحديد ألدوراني بالاعتماد على قيم البيانات العملية أما التحليل النظري فوجد إنها تميل إلى التناظر O(6) و SU(3) باستخدام معلمات التماثل للبوزونات المتفاعلة.

أما في عام2005 قام العالم Dewaled [7]بإجراء دراسة تتضمن دراسة احتمالية الانتقال للنظائر Os^{180} , ^{178} , ^{176} الزوجية – الزوجية و عزم رباعي القطب الكهربائي باستخدام نموذجي IBM و GCM.

و في هذا البحث تمت دراسة نظير Os^{184} وكانت الغاية من تلك الدراسة معرفة بعض الخصائص النووية لهذا النظير ، واستخدم نموذج البوزونات IBM-1 لهذا الغرض ، حيث درست عدن خصائص منها دراسة مستويات الطاقة و تحديد المعاملات Parameters المستعملة في هذا البرنامج ومقارنة النتائج النظرية مع النتائج العملية المتوافرة وحساب قيم معدلات الاحتمالية المختزلة $B(E_2)$ ومقارنتها مع النتائج العملية أن وجدت وتحديد البرم والتماثل لبعض مستويات الطاقة التي لم تحدد خواصها ولمعرفة فيما إذا كانت هناك مستويات جديدة لم تحدد في الدراسات العملية.بالإضافة إلى دراسة طاقة جهد السطح $V(\beta,\gamma)$ (Potential Energy Surface) و دراسة الطاقة الدورانية $\hbar^2\omega^2$ وعزم القصور الذاتي لكل نوية يساعد على التوصل إلى المفاهيم الأساسية للتركيب النووي.

نموذج البوزونات المتفاعلة-1 IBM-1

أن نموذج البوزونات المتفاعلة-1 لايميزبين بوزونات البروتونات(sπ,dπ) وبوزونات النيوترونات (sν,dν)[1] حيث يتم حساب عدد البوزونات بوصفها أزواجاً من الجسيمات (Particles Paier) Nπ(ν) , ابتدءا من اقرب قشرة مغلقة وحتى منتصف القشرة التي تليها حيث يتم حساب البوزونات بعدها بوصفها أزواجاً من الفجوات $\overline{N}_{\pi(\upsilon)}$ (Hole-Pairs) أما في حالة التمييز بين بوزونات البروتونات والنيوترونات فان النموذج المختص لمعالجتها يدعى بنموذج البوزونات المتفاعلة 2- (IBM-2)[3] . في نموذج البوزونات المتفاعلة -1 نجد أن بوزونات s وd يمكنها التفاعل فيما بينها ونتيجة لذلك فان الصيغة العامة للنظام الهاملتوني تكتب بعد تعريف مؤثرات الخلق (Creation Operators) $(d,S^{\dagger}m)$ ومؤثرات الفناء (Annihilation Operators) (S,dm)[8] وعلى ما يأتي:

$$H=\varepsilon_S(S,S)+\varepsilon_d\sum_m d_m^{\dagger}d_m+\sum_{L=0,2,4}\frac{1}{2}(2L+1)^{1/2}C_L\left[\left(d^{\dagger}d^{\dagger}\right)^{(L)}.(dd)^{(L)}\right]^{(0)}$$

$$+\frac{1}{\sqrt{2}}\nu_2\left[\left(d^{\dagger}d^{\dagger}\right)^{(2)}.(ds)^{(2)}+\left(s^{\dagger}d^{\dagger}\right)^{(2)}.(dd)^{(2)}\right]^{(0)}$$

$$+\frac{1}{2}\nu_o\left[\left(d^{\dagger}d^{\dagger}\right)^{(0)}(ss\ )^{(0)}+\left(s^{\dagger}s^{\dagger}\right)^{(0)}.(dd)^{(0)}\right]^{(0)}$$

$$+u_2\left[\left(d^{\dagger}s^{\dagger}\right)^{(2)}.(ds)^{(2)}\right]^{(0)}+\frac{1}{2}u_o\left[\left(s^{\dagger}s^{\dagger}\right)^{(0)}.(ss)^{(0)}\right]^{(0)}.....(1)$$

حيث أن ($C_L(L=0,2,4)$, $V_L(L=0,2)$, $U_L(L=0,2)$ تصف تفاعل البوزونات بعضها مع بعض وتعتمد هذه المعاملات على عدد البوزونات N أما الأقواس فأنها تمثل الزخم الزاوي.وهناك عدة صيغ أخرى مكافئة للصيغة العامة لكتابة المؤثر الهاملتوني للطاقة حيث يمكن أعاده كتابة المعادلة (1) باستعمال صيغة التوسع متعدد القطبية (Multiple Expansion) [8]

$$H=\varepsilon_{nd}+\alpha_O P^2+\alpha_1 L^2+\alpha_2 Q^2+\alpha T_3^2+\alpha_4^2 T_4^2.....(2)]$$

حيث أن $\varepsilon = \varepsilon_d - \varepsilon_s$ تمثل طاقة البوزونات وللسهولة افترضت أن طاقة البوزون S مساوية للصفر ولهذا فان $\varepsilon = \varepsilon d$ أما المعاملات a_4, a_3, a_2, a_1, a_0 فإنها تعبر عن قوة تفاعل الازدواج والزخم الزاوي ورباعي القطب وثماني القطب والقطب السادس عشر بين البوزونات وعلى التوالي .

التناظر الديناميكي ((O(6) &SU(3)):

تمتلك نوى هذا الصنف خواص انتقالية بين التحديدين SU(3) و O(6) [8] وتكون الصيغة الهاملتونية لها هي :[9]

$$H^{II-III} = a_o p.p + a_1 L.L + a_2 Q.Q \ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

حيث أن خواص هذا الصنف تعتمد على النسبة $\frac{a_o}{a_2}$ فعندما تكون كبيرة فأنه يميل إلى التحديد O(6) وعندما تكون صغيرة يميل إلى التحديد SU(3).

أما نسبة الانتقال الكهرومغناطيسي (R) لهذا الصنف فتأخذ قيماً متوسطة مابين R=0 للتحديد O(6) و R=7/10 للتحديد SU(3) [9].

طاقة جهد السطح **Potential Energy Surface**

يمكن الحصول على جهد السطح من مؤثر دالة هاملتون على اعتبار ان الطاقة هي دالة لكل من العدد الكلي للبوزونات N وعاملي التشوه (β,γ) كما في المعادلة آلاتية[10,9]

$$V(N,\beta,\gamma) = \frac{\langle N,\beta,\gamma \left| \hat{H} \right| N,\beta,\gamma\rangle}{\langle N,\beta,\gamma | N,\beta,\gamma\rangle} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

وباشتقاق معادلة طاقة جهد السطح $V(N,\beta,\gamma)$ بالنسبة إلى (β,γ) نحصل على المعادلة العامة آلاتية [10,9]

$$V(N,\beta,\gamma) = \frac{N}{1+\beta^2}\left(\varepsilon_s + \varepsilon_d \beta^2\right) + \frac{N(N-1)}{(1+\beta^2)}\left(A_1\beta^2 + A_2\beta^3\cos 3\gamma + A_3\beta^2 + A_4\right) \ldots\ldots\ldots(3)$$

حيث إن:

N تمثل عدد البوزونات الكلية .

β مقدار تشوه النواة Magnitude of Nuclear Deformation , وتأخذ القـــــيم (0-2.4) .

γ زاوية عدم التناظر Asymmetry Angle وتتراوح قيمتها (0° -60°) .

A_1 , A_2 , A_3 , A_4 معاملات ترتبط مع دالة جهد السطح.

إن شكل النواة يتحدد بواسطة عاملي التشوه (γ,β) حيث تقترب قيمة β من الصفر للنوى الكروية Spherical Nuclei ,في حين إن قيمتها لا تساوي صفرا للنوى المشوهة Deformed Nuclei ,وعندما تكون γ يساوي 0° فان التشوه يكون على شكل بيضوي متطاول Prolate Shape وعندما تكون γ يساوي 60° فان التشوه يكون على شكل بيضوي مفلطحOblate Shape .

الحركة الدورانية في النواة وعزم القصور الذاتي :

Rotational Motion in Nucleus and Moment of Inertia

تعتمد الحركة الدورانية الجماعية (Collective Rotation Motion) للنواة على حركة النيوكلونات المتكافئة مع حركة النواة مسببة دوران عدد من النيوكلونات حول محور يختلف عن محور التناظر النووي (Nuclear Symmetry Axis) . إن

زيادة القوة الطاردة المركزية نتيجة لزيادة السرعة الزاوية للنواة (ω) تؤدي إلى تشوه النواة [11] وهناك نوعان من التشوه للنوى الدورانية , النوع الأول يمثل التشوه البيضوي المتطاول (Prolate Deformation) وفيه تدور النواة حول محور عمودي على محور التناظر النووي , أما النوع الثاني فيمثل التشوه البيضوي المفلطح (Oblate Deformation) وفيه تدور النواة حول محور موازي لمحور التناظر النووي [12]. وفي كلا النوعين عندما تكون الحركة الدورانية سريعة فان هناك قوة تنشا تسمى بقوة كوريولس تحطم الازدواج (Pairing) الحاصل بين عدد من أزواج النيوكلونات متسببة في ظهور حزمة شبيهي الجسيمات (Two-quasiparticles) أو الحزمة ذات الأشباه الاربعه للجسيمات (Foure-quasiparticles) مسببة شذوذا عند زخوم زاوية معينه $L^{\pi} \geq 10^{+}$ في بعض النوى والتي تسبب ظاهرة (Back bending)[13]. ومن الممكن إيجاد عزم رباعي القطب الكهربائي الذاتي Q_o بعد معرفة قيمة الاحتمالية من المعادلة آلاتية :[14]

$$B(E_2, L \to L-2) = \frac{5}{16\pi}\frac{3}{2}\frac{(L-1)}{(2L-1)}\frac{L}{(2L+1)}e^2Q_0^2(L \to L-2).....(4)$$

يمكن أيجاد عزم رباعي القطب الكهربائي الذاتي Q_o من خلال العلاقة آلاتية :[14]

$$Q_o = \left[\frac{16\pi B(E_2)\uparrow}{5e^2}\right]^{\frac{1}{2}}.....(5)$$

ولا يجاد مربع الطاقة الدورانية نطبق الصيغة آلاتية :[14]

$$\hbar^2\omega^2 = (L^2 - L + 1)\left[\frac{E(L \to L-2)}{2L-1}\right]^2.....(6)$$

أما عزم القصور الذاتي $(\frac{2\nu}{\hbar^2})$ فيحسب من المعادلة آلاتية [14]:

$$\frac{2\upsilon}{\hbar^2} = \frac{4L-2}{E(L \to L-2)}.....(7)$$

الحسابات: **Calculation**

إن مستويات الطاقة الواطئة موجبة التماثل (low-lying postive parity state) للنظير Os^{184} و التي يقترب فيها عدد النيوكلونات من منتصف القشرة الرئيسية (82-126) تعد من النوى ذات الخواص الجماعية (Collective Properties) وتوصف بشكل عام بالتحديد ألدوراني SU(3) .

أن واحد من أهم المفاهيم في التركيب النووي هي مفهوم التناظر (Symmetry) والذي يجب إن يحدد بشكل دقيق لما لشكل النواة من علاقة جوهرية مؤثرة في تحديد الصفات النووية كمستويات الطاقة واحتمالية الانتقالات الكهرومغناطيسية المختزلة ودالة جهد السطح و عزم القصور الذاتي و مربع الطاقة الدورانية .

حساب مستويات الطاقة واحتمالية الانتقالات الكهربائية المختزلة:

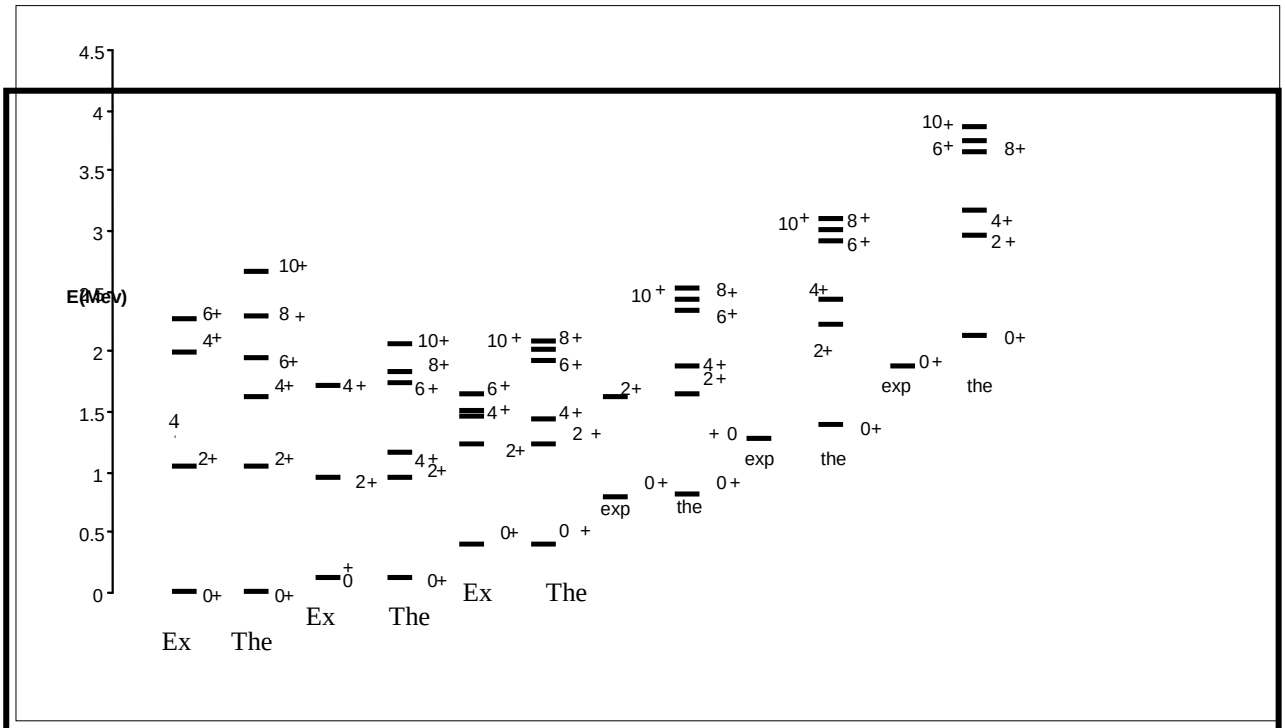
Calculation energy levels and reduced electric transition

أن مستويات الطاقة العملية لهذا لنظير بينت الطبيعة الانتقالية بين O(6)→SU(3) لذا استعمل التحديدين SU(3) و O(6) لنموذج البوزونات المتفاعلة - 1 , لوصف مستويات الطاقة لهذه النظير باستعمال برنامج IBM-Code .أن قيم المعاملات التي أعطت أفضل تطابق مع القيم العملية [18,17,16,15] كما مبينة في الجدول (1).

Table (1) parameters using in this program for calculation energy levels and $B(E_2)$ in ^{184}Os in MeV

isotope	Eps	P.P	L.L	Q.Q	T3.T3	T4.T4	CH_1	E2SD	E2DD
^{184}Os	0	0.0188	0.0149	-0.0123	0	0	-1.3200	0.09378	-0.27743

أما القيم النظرية المستخرجة بواسطة نموذج (IBM-1) والعملية المتوفرة لكل من مستويات الطاقة الواطئة موضحه في الشكل (1) والذي هو عبارة عن مقارنة بين النتائج العملية والنظرية اما احتمالية الانتقال بين المستويات فموضحة في الجدول (2).



شكل (1) مقارنة بين القيم العملية والنظرية لمستويات الطاقة الخاصة بالنظير ^{184}Os

Table (2) the vales of theoretical $B(E_2)$ in ^{184}Os by using (IBMT-1)Cood compared with the vales of experiential of $B(E_2)$

i→f	**$B(E_2)\downarrow e^2b^2$ The.**	**$B(E^2)\downarrow e^2b^2$ exp**[14,19]
$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	0.5700	0.5700
$2_1^+ \rightarrow 0_2^+$	0.0325	----------
$2_2^+ \rightarrow 0_1^+$	0.0679	----------
$2_2^+ \rightarrow 0_2^+$	0.0019	----------
$2_3^+ \rightarrow 0_2^+$	0.4757	----------
$2_3^+ \rightarrow 0_3^+$	0.0047	----------
$2_4^+ \rightarrow 0_2^+$	0.001	----------
$2_4^+ \rightarrow 0_3^+$	0.2497	----------
$2_1^+ \rightarrow 2_3^+$	0.0403	----------
$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	0.7533	----------
$4_1^+ \rightarrow 2_2^+$	0.0013	----------
$4_1^+ \rightarrow 2_3^+$	0.0540	----------
$4_2^+ \rightarrow 2_1^+$	0.0320	----------
$4_2^+ \rightarrow 2_2^+$	0.2038	----------
$4_2^+ \rightarrow 2_3^+$	0.6149	----------

حساب طاقة جهد السطح Calculation potential energy surface

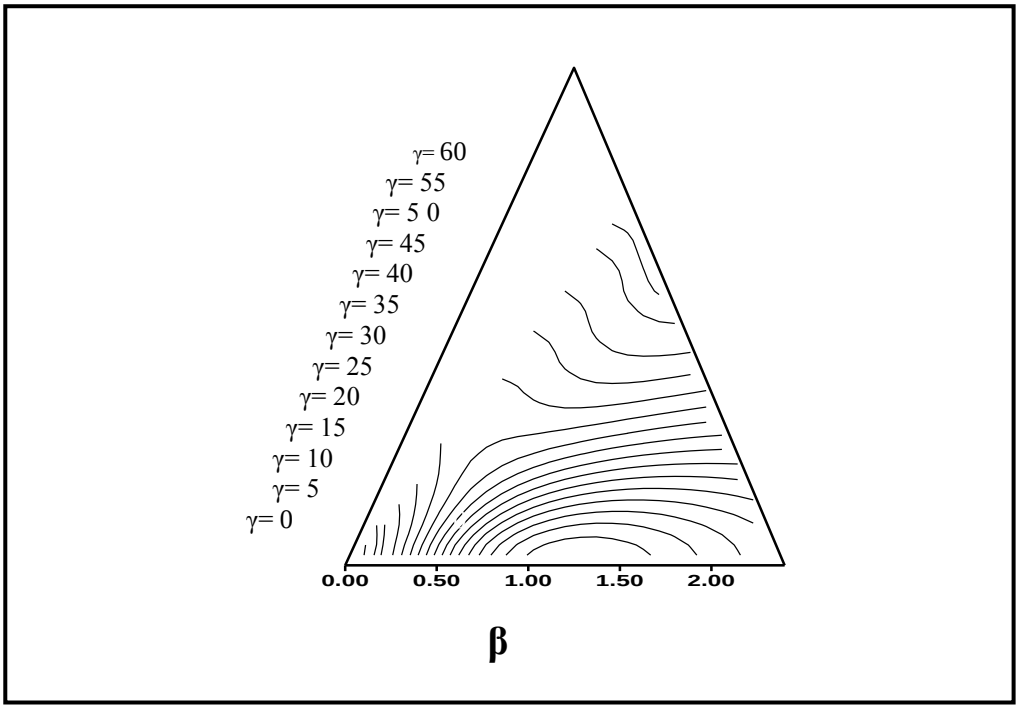
إن الوصف الهندسي للحركة الجماعية للنواة يساعد في وصف المستويات المتهيجة للنوى المشوهة تعزيزا لسلوكها بدراسة عزم القصور الذاتي للحركة الجماعية للبوزونات .

أن طاقة جهد السطح قد تم حسابها بعد تحديد معاملات (parameters) مؤثر دالة هاملتون لنظير ^{184}Os ويبين الجدول (3) المعاملات المستعملة في برنامج حساب طاقة جهد السطح $V(\beta,\gamma)$.

Table (3) parameters using in this program for calculation potential energy surface for ^{184} Os in MeV

isotope	**A_1**	**A_2**	**A_3**	**A_4**	**ES**	**ED**
^{184}Os	**-0.001**	**-0.035**	**-0.059**	**0.000**	**-0.061**	**0.056**

أن طاقة جهد السطح تعطي الشكل النهائي للنواة وهي تتوافق مع دالة هاملتون [20] بدلالة المتغيرين (β,γ) وقد تم حساب طاقة جهد السطح باستعمال المعاملات المبينة في الجدول (3) باستعمال البرنامج IBM-1 والشكل (2) يبين العلاقة بين قيم(γ) و (β) و طاقة جهد السطح والتي تدل على إن هذا النظير ينتمي للتحديد الانتقالي O(6) & SU(3) .



شكل (1) المخطط الكنتوري لطاقة جهد السطح للنظير ^{184}Os

حساب مربع الطاقة الدورانية و عزم القصور الذاتي :

Calculation the square of rotational energy and the moment of inertia

يمكن حساب كل من مربع الطاقة الدورانية و عزم القصور الذاتي من المعادلات (6,5) بعد تحديد قيم مستويات الطاقة باستعمال البرنامج (IBM-1) و قيم الزخم الزاوي L عند كل مستوي طاقة . والجدول (4) يوضح مقارنة بين القيم العملية[14] والنظرية لمربع الطاقة الدورانية وعزم القصور الذاتي بوحدات (MeV).

جدول (4) قيم الانتقالات النظرية والعملية[14] وعزم القصور الذاتي ومربع الطاقة لنظير ^{184}Os.

i→f	**مربع الطاقة الدورانية $(Mev)^2$**		**عزم القصور الذاتي (MeV^{-1})**	
	The.	**Exp.** [14]	**The.**	**Exp.[** 14]
$2^+\rightarrow0^+$	0.004458	0.004784	51.88516	50.08347
$4^+\rightarrow2^+$	0.039433	0.03908	36.31365	36.47733
$6^+\rightarrow4^+$	0.168017	0.153562	27.16653	28.41643
$8^+\rightarrow6^+$	0.488564	0.41396	21.60263	23.46867
$10^+\rightarrow8^+$	1.135664	0.881867	17.90299	20.31651

النتائج والمناقشة Results and Discussion

إن نواة Os^{184} تتألف من(76) بروتوناً منها (26) بروتوناً خارج القشرة المغلقة (50) و(108) نيوترون.

وحيث إن عدد البروتونات أكثر من عدد نصف الغلاف الرئيسي (66) فان عدد بورونات البروتونات تحسب من عدد الفجوات (hole) وليس من عدد الجسيمات (particle) حتى الوصول إلى القشرة المغلقة ألرئيسيه (82).

اما بالنسبه لعدد النيوترونات فيقع بين منتصف القشرتين المغلقتين (82-126) حيث ان عدد نصف الغلاف الرئيسي هو (104) ومن خلال هذا الرقم يتبين ان عدد بوزونات النيوترونات يحسب من عدد الجسيمات باستثناء النويتين الاخيرتين يحسب من عدد الفجوات (hole) ولهذا فان العدد الكلي للبوزونات سيكون مساويا لـ(12) بوزوناً وعلى التوالي.

ان وقوع عدد البروتونات والنيوترونات لهذه النوى بالقرب من منتصف القشرات المغلقة (50-82) و(82-126) وعلى التوالي يشير إلى التصرف الانتقالي بين التحديدين O(6) و SU(3) حيث إن هذه الصفة غير موجودة بالتحديد الاهتزازي SU(5)[23,22,21] وبالرجوع الى الجدول (1) الذي يبين المعاملات المستعملة في البرنامج (IBM-Code) نجد إن تفاعل الازدواج (p.p) و تفاعل عزم رباعي القطب الكهربائي (Q.Q) إضافة المعامل (L.L) هو المهيمن على طاقة البوزونات (ε) و على بقية المعاملات .

مستويات الطاقة **Energy Levels**

عند الرجوع إلى مخططات الانحلال لنظائر Os^{184} لوحظ من خلال نسب مستويات الطاقة الأخرى $\frac{E0_2^+}{E2_1^+}, \frac{E4_1^+}{E2_1^+}, \frac{E8_1^+}{E2_1^+}, \frac{E6_1^+}{E2_1^+}$ بعد مقارنتها مع القيم النموذجية [24,8] أعطيت اقتراباً جيداً إلى التحديد O(6), SU(3).

احتمالية الانتقالات الكهربائية المختزلة B(E2)

Reduced electric transitions probability B(E2)

لقد تم استخدام البرنامج (IBMT-Code) لدراسة احتمالية الانتقالات الكهربائية المختزلة ↓B(E2) وذلك بعد ولاعتماد على حساب قيم المعاملات (E2SD&E2DD) والمبينة في الجدول (1) حيث اعطت هذه المعاملات بعد تطبيقها بالبرنامج المذكور تطابقا جيدا مع ما متوفر من القيم العملية وكما هو واضح في الجدول (3) إذ يبين مقارنة بين القيم العملية والنظرية لنظير Os^{184} وان هذه النتائج بينت الخاصية الانتقالية لهذه النوى من خلال الصفات ألمعروفة للتحديدين O(6) و SU(3) .

طاقة جهد السطح potential Energy surface

إن دراسة جهد السطح لهذا النظير والحصول على قيم (β,γ) ورسم الشكل الكنتوري و المبينة في الشكل (2) يتضح أن هذه النواة انتقالية بين التحديـــــــدين O(6) و SU(3) لتوافقها مع الأشكال النموذجية للتحديدين , حيث تم رسم طاقة جهد السطح كدالة لمعامل التشوه (β=0...2.4) وقد تم حساب طاقة جهد السطح بلاعتماد على قيم المعلمات المبينة في الجدول (3).

الحركة الدورانية في النواة وعزم القصور الذاتي :

Rotational Motion in the Nucleus and Moment of Inertia

أن الحركة الدورانية تؤدي إلى تكوين تشوه رباعي قطب كبير للحالات المتهيجة الواطئة للنوى وان الدوران يجب أن لايكون دوران جسم صلد فان السطح الكروي للنواة سوف يدور و المستويات المدارية لجميع النيوكلونات تدور أيضا.آذ أن عددا كبيرا من

مستويات الطاقة النووية قد تم تمييزها على إنها مستويات دورانية ، وذلك لأنها تعطي أطيافا قريبة من الطيف النموذجي للتحديد ألدوراني ،وفي جميع الحالات فانه قد وجد أن عزم القصور الذاتي والذي يجب استخدامه للحصول على اتفاق مع النتائج العملية هو اقل من عزم القصور الذاتي للجسم الصلد بمعامل 2 إلى 4 حيث أن النيوكلونات تنجرف مع السطح في أثناء الحركة الدورانية وقد وجد عمليا أن عزم القصور الذاتي يزداد بزيادة ثابت التشوه β [25] ويوضح الجدول (4) مقارنة بين النتائج النظرية والعملية المتوفرة لعزم القصور الذاتي ومربع الطاقة الدورانية ولكن هناك فرقا تكراريا يزداد بزيادة طاقة التهيج وهذا الفرق يمكن تفسيره على انه ناتج عن زيادة عزم القصور الذاتي بزيادة الزخم الزاوي للدوران ، وذلك بتأثير القوة الطاردة المركزية.

References:

1- F. Iachello, and A. Arima, Phys. , Lett. B53, 309, (1974)
2- A. Arima, T. Otsuka, F. Iachello, and I. Talmi, Phys. , Lett. B66, 205, (1977)
3- R. F. Casten, A. Gelberg and P. Von Brentano, Phys. Rev. C36, 1225, (1987)
4- C.Thwaites and A.M.Bruce , phys.Rev.C. Vol.56 , P.1438 , (1997).
5- C.Fransen , phys.Rev.C. Vol.59 , P.2265 , (1999).
6- A.Bouldjed and M.L.Benabderrahmane , Nucl.Part.phys.Vol.29 , P.1327 , (2003)
7- Dewaled , Nucl.Part.phys.Vol.31 , P.S_1 1427 , (2005).
8- R. Casten and D. Warner , Rev. Mod. Phys. , 60 , 389 , (1988)
9- F. Iachello and A. Arima , The Interacting boson Model , Cambridge University Press , Cambridge , (1987)
10- D.Bondatsos, "Interacting Boson Models of Nuclear Structure", Ed. David , Stanford , Pub. In the United State , By Oxford University Press , New York , (1988).
11- L. E. H. Trainer , and R. K. Gupta , J. Phys. , Vol. 49 , 133 , (1971).
12- K. S. Krane , "Introductory Nuclear Physics", Ed. Halliday
, D. Pub. John. wiley, P142-145 , (1987).
13- B. L. Birbrair , Phys. Lett. b , Vol. 39, 489, (1972).
14- Ts.Venkova and W. Andrejtscheff , Atomic Data and Nuclear Data Tables , vol. 26 , 95 , (1981).
15- C. Leclerecl and V. Shirly, Table of Isotopes , Wiley , New York , (1978).
16- A. E. Ignatochkin , E. N. Shurshikov and Yu. F. Jaborov , Nuclear Data Sheets , Vol. 52 , No. 2 , P. 365 , (1987).
17- Zhou Chunmei , Nuclear Data Sheets , Vol. 50 , No. 2 , P. 351 , (1987).
18- E. Browne , Nuclear Data Sheets , Vol. 52 , No. 1 , P. 127 , (1987).
19- S. Raman et al , Atomic Data and Nuclear Data Tables , Vol. 36 , No. 1 , 7 , (1987).
20- W. D. Hamilton , The Electromagnetic Interaction in Nuclear Spectroscopy , American Elsevier Publishing Company , New York , (1975).
21- A. Abdul Ameer , Investigations of Nuclear Energy Levels in ^{82}Kr , ^{76}Se and ^{194}Pt , Ph. D Thesis , London University , (1991)
22- J.Lee , Phys., Rev , C , 58 , 2061 , (1998) .
23- J.Lee , Phys., Rev , C , 58 , 63 , 1 , (2001).
24- M. Kadem Al-Janaby, A study of nuclear Structure of $^{98-108}$Ru even-even Isotopes by the IBM-1 , M. Sc. Thesis , Babylon University , (2005).
25- A. N. K , "Introduction of Nuclear Physics", Mousel Unv. , (1986).