------مجلة علوم الرافدين، المجلد 23، العدد 4، ص172-187، 2012------

حساب الطاقات واحتمالية الانتقال رباعية القطب الكهربائية المختزلة لنظائر $^{166,168,170}Hf$ الزوجية – الزوجية

زينة حميد صالح
قسم الفيزياء
كلية التربية
جامعة الموصل
E-mail: ZENA_HAMEED2000@yahoo.com

(تاريخ الاستلام 21/ 2 /2012 ؛ تاريخ القبول 27 /5/ 2012)

الملخص

تم في هذا البحث تحديد خصائص بعض نظائر الهافنيوم $^{166-170}Hf$ الزوجية-الزوجية، حيث تم رسم العلاقة بين عزم القصور الذاتي $(2\vartheta/\hbar^2)$ و مربع طاقة الفوتون المنبعث عند انتقال النواة من الحالة (I) الى الحالة $(I-2)$ $(\hbar^2\omega^2)$ (منحني الانحناء الخلفي)؛ ورسمت العلاقة بين طاقة كاما مقسومة على البرم (E_γ/I) دالة للبرم (I) (E- GOS)، أظهرت هذه المنحنيات ان لهذه النظائر خصائص انتقاليـة SU(3)-O(6)، مع ترشيح النظير ^{166}Hf للتحديد X(5). و لتأكيد الخاصية تم حساب طاقة بعض حالات البروم ذات الطاقات الادنى(yrast) باستخدام العلاقات القياسية للتحديدات الثلاثة للنواة (الدورانية و كاما الناعمة و الاهتزازية). بمعرفة خصائص النظائر قيد الدراسة، تم حساب احتمالية الانتقال رباعية القطب الكهربائية المختزلة B(E2) لها، باستخدام أنموذج بورومتلسون وباستخدام انموذج البوزونات المتفاعلة IBM-1 وقورنت الحسابات مع القيم العملية.

الكلمات الدالة: مستويات الطاقة، احتمالية الخصائص المختزلة، Hf الزوجية-الزوجية.

Calculation of the Energies and the Reduced Electric Quadrupole Transition Probability of $^{166,168,170}Hf$ Even-Even Isotopes

Zeena H. Salih
Department of Physics
College of Education
University of Mosul

ABSTRACT

The property of $^{166-170}Hf$ even-even isotopes have been deduced, were the relation of the moment of inertia $(2\vartheta/\hbar^2)$ as a function of the square of the energy of the emitted photon when the nucleus translate from the (I) state to the $(I-2)$ state $(\hbar^2\omega^2)$ (back-bending curve) Also the relation of the gamma energy over spin (E_γ/I) as a function of the spin (I) (E-GOS) have been drawn, these curves indicated that these isotopes have a transition property (SU(3)-O(6), with the X(5) proprety for ^{166}Hf isotopes. To insure this property the calculation of the energy of different states in the yrast band has been done using the standard relation for the three types of nuclei depending on their property (rotation, $\gamma-soft$ and vibration). Knowing the property of these isotopes, the calculation of electric quadrupole transition probability B(E2) has been done using Bohr and Mottelson model and the interacting boson model IBM-1 and compared with the experimental values.

Keywords: Energy Levels, Reduced Transition Probablity, *Hf* even-even.

المقدمة

تعد النواة منظومة كمية معقدة، وضعت لدراستها والتعرف على خصائصها العديد من الانموذجات والمعادلات الخاصة لهذا الغرض. يعد رسم العلاقة بين عزم القصور الذاتي $(2\vartheta/\hbar^2)$ ومربع طاقة الفوتون المنبعث $(\hbar^2\omega^2)$ من الرسوم المهمة في التعرف على خصائص النوى فعند رسم هذه العلاقة قد يحصل انحناء خلفي عند بعض الحالات ولبعض النوى، يقدم هذا الانحناء الخلفي وموقعه معلومة مهمة عن خصائص النواة والتغير الذي قد يحصل في خصائصها عند حالة معينة (Sun, 2004). ويقدم منحني $(E-GOS)$ (Regan *et al*., 2003)، العلاقة بين طاقة كاما مقسومة على البرم (E_γ/I) دالة للبرم (I) معلومات إضافية عن خصائص النواة والتغير الذي قد يحصل في خصائصها عند حالة معينة.

يعد الأنموذج الهندسي (Bohr and Mottelson, 1975)، من الانموذجات التي حققت نجاحات مقبولة في تحديد خصائص النوى، في هذا الانموذج تسلط النيكليونات ضغطا مركزيا على سطح النواة مسببا تشوها في شكلها ومسببا اهتزازات على سطحها ينتج عنها تهيج في النواة. حيث قدم معادلات مختلفة لحسابات كلا من الطاقة والانتقالات الكهرومغناطيسية بين مختلف حالاتها حسب التحديد الذي تنتمي اليه النـواة، تأخـذ

النواة مواقع طاقات مختلفة يتم من خلالها التعرف على نوع حركتها (إهتزازية أو دورانية ناعمة أو دورانية صلدة) ولكل تحديد مواقع حالات تهيج مختلفة (Krane, 1987).

يعد انموذج البوزونات المتفاعلة (IBM-1) (Arima and Iachello, 1974) من الانموذجات المهمة لدراسة مواقع حالات الطاقة والانتقالات الكهرومغناطيسية للنوى الزوجية – الزوجية، في هذا الانموذج يعـد كل زوج من نكليونات التكافؤ بوزونا، تتفاعل مجموعة البوزونات مع بعضها بطرائق مختلفة إضـافة إلـى طاقة البوزون الذاتية، تختلف طاقة تفاعل كل نوع من أنواع التفاعلات بين البوزونات بحسب نـوع النـواة وخصائصها. صنفت النوى الى نوى اهتزازية U(5) ونوى كاما الناعمة O(6) ونوى دورانية SU(3) ولكل نوع من هذه النوى هاملتون خاص بها. كما قد تكون النواة ذات خصائص انتقالية بين تحديدين أو أكثر مـن التحديدات السابقة (Arima and Iachello, 1987). كما ظهرت تحديدات جديدة تخص النوى الانتقالية اطلق عليها تحديدات تناظر النقطة الحرجة X(5) والنقطة الحرجة E(5)، (Iachello, 2001).

قـــام (Abou-SalemandAbdElmageed ,2005) باســتخدام أنمــوذج تحلــل القلـــب العنقــودي (core-clusterdecomposition) لحــساب حــالات الحزمــة الدورانيــة لنظــائر Hf الزوجية-الزوجية ومقارنتها مع القيم العملية وكانت النتائج متفقة.

درس (ســليم، 2006) نظــائر $^{166-180}Hf$ الزوجيــة –الزوجيــة ولاحــظ ان النظيــرين ^{166}Hf و ^{168}Hf ينتميــان الــى المنطقــة الانتقاليــة O(6)-SU(3) وان نظــائر $^{170-180}Hf$ تنتمــي الــى المنطقــة الانتقاليــة SU(3)-O(6)، وحــسب بعــض حــالات الطاقــة واحتماليــة الانتقال بينها باستخدام انموذج البوزونات المتفاعلة (IBM-1) وكانت النتائج متفقة.

ودرس (Doma *et al*., 2011) نظائر $^{168-174}Hf$ الزوجية – الزوجية المـشوهة بالاعتمـاد علـى صياغة معادلات جديدة في حساب طاقة بعض حالاتها المختلفة ومقلوب عزم القصور الذاتي $\frac{\hbar^2}{2\vartheta}$ ، وذلـك بالاعتماد على حل معادلة شرودنكر للجسيم المنفرد وكانت النتائج متفقة مع القيم العملية.

ودرس (Al-Maqtray*etal*.,2011) نظــائر $^{174-180}Hf$ وتبــين انهــا ذات خــصائص انتقاليــة SU(3)-O(6) واســتخدم انمــوذج البوزونــات المتفاعلــة (IBM-1) فــي حــساب طاقة بعض الحالات للحزم المختلفة واحتمالية الانتقال بينها.

نهدف في هذا البحث التأكد من خصائص نظائر الهافنيوم $^{166-170}Hf$ الزوجية – الزوجية من خلال التعرف على طاقة حالات التهيج الاولى فيها والنسب $E4_1^+/E2_1^+$ و $E0_2^+/E2_1^+$ و $\frac{B(E_2, 4_1^+ \rightarrow 2_1^+)}{B(E_2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)}$ و $P = \frac{N_p . N_n}{N_p + N_n}$، ومن خلال التعرف على منحنيات الانحناء الخلفي و منحني $(E-GOS)$ لها. ومن ثم حساب طاقة حالاتها في منطقة الـ (yrast) باستخدام المعادلات الخاصة لكل تحديد ويليها حساب احتمالية

الانتقال رباعية القطب الكهربائية المختزلة لها وحسب التحديد الذي تنتمي اليه كل نواة في الانتقالات المختلفة بين حالاتها.

النظرية

يرتبط عزم القصور الذاتي ببرم الحالة وطاقة كاما المنبعثة بين الحالتين I و $I-2$ بالعلاقة (Wong, 1990):

$$\frac{2\vartheta}{\hbar^2}=\frac{4I-2}{E(I)-E(I-2)}=\frac{4I-2}{E_\gamma} \quad .... \; .... \; .... \; .... \; .... \; (1)$$

وترتبط طاقة الفوتون المنبعث $(\hbar\omega)$ عند إنتقال النواة بين الحالتين I و $I-2$ بفرق الطاقة بين المستويين I و $I-2$ بالعلاقة [Sorensen,1973] :

$$\hbar\omega=\frac{E(I)-E(I-2)}{\sqrt{I(I+1)}-\sqrt{(I-2)(I-1)}}=\frac{E_\gamma}{\sqrt{I(I+1}-\sqrt{(I-2)(I-1)}} ....(2)$$

يعد منحني (E-GOS) مفيدا في تحديد خصائص النوى المختلفة والتغير الذي قد يحصل فيها، وذلك بالتعرف على شكل المنحني عند رسم العلاقة بين طاقة كاما مقسومة على البرم (E_γ/I) دالة للبرم (I)، تعطى طاقة كاما المنبعثة E_γ مقسومة على البرم I في النوى الاهتزازية بالعلاقة (Scharff-Goldhaber and Wenser, 1955):

$$E_\gamma(I\rightarrow I-2)/I=\hbar\omega/I \qquad ....(3)$$

وتعطى طاقة كاما المنبعثة E_γ مقسومة على البرم I في النوى الدورانية بالعلاقة (Regan *et al.* , 2003):

$$\text{Rotation} \quad E_\gamma(I\rightarrow I-2)/I=\frac{\hbar^2}{2\vartheta}\times(4-2/I) \qquad ....(4)$$

اما طاقة كاما المنبعثة E_γ مقسومة على البرم I في النوى الدورانية الناعمة تعطى بالعلاقة (Bohr and Mottelson,1973) :

$$E_\gamma\,(I\rightarrow I-2)/I=\frac{E2_1^{\ +}}{4}(1+2/I) \qquad ....(5)$$

والشكل (1) يوضح اشكال المنحني في التحديدات الثلاثة المختلفة.

تختلف النوى عن بعض بمقدار التشوه الحاصل في شكلها وذلك باختلاف أحد محاورها أو جميعها عن معدل نصف القطر. ويمكن تحديد التشوه الحاصل في النواة بعدة معالم منها عزم رباعي القطب الكهربائي الذاتي Q_0 الذي يرتبط بعامل التشوه β بالمعادلة(Krane,1987):

$$Q_0 = \frac{3}{(5\pi)^{\frac{1}{2}}} R_{av}^{\ 2} Z\beta(1+0.16\beta) \qquad (6)$$

حيث أن $R_{av} = R_0 A^{1/3}$ وان $R_0 = 1.3\, fm$. أما عامل التشوه رباعي القطبية β فيعطى بالمعادلة (Krane,1987)

$$\beta = \frac{4}{3}\frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{5}}\frac{\Delta R}{R_{av}} \qquad (7)$$

فعند $\Delta R = 0$ تكون النواة كروية وعند $\Delta R>0$ الموجبة تكون النواة متطاولة وعند $\Delta R<0$ السالبة تكون النواة مفلطحة.

تختلف قيمة إحتمالية الانتقال رباعية القطب الكهربائية المختزلة عند الانتقال من الحالة I الى الحالة $I-2$ بالاعتماد على قيمة Q_0 وحسب المعادلة (Wong,1990):

$$B(E_2; I \to I-2) = \frac{15}{32\pi} e^2 Q_0^2 \frac{I(I-1)}{(2I+1)(2I-1)} \qquad (8)$$

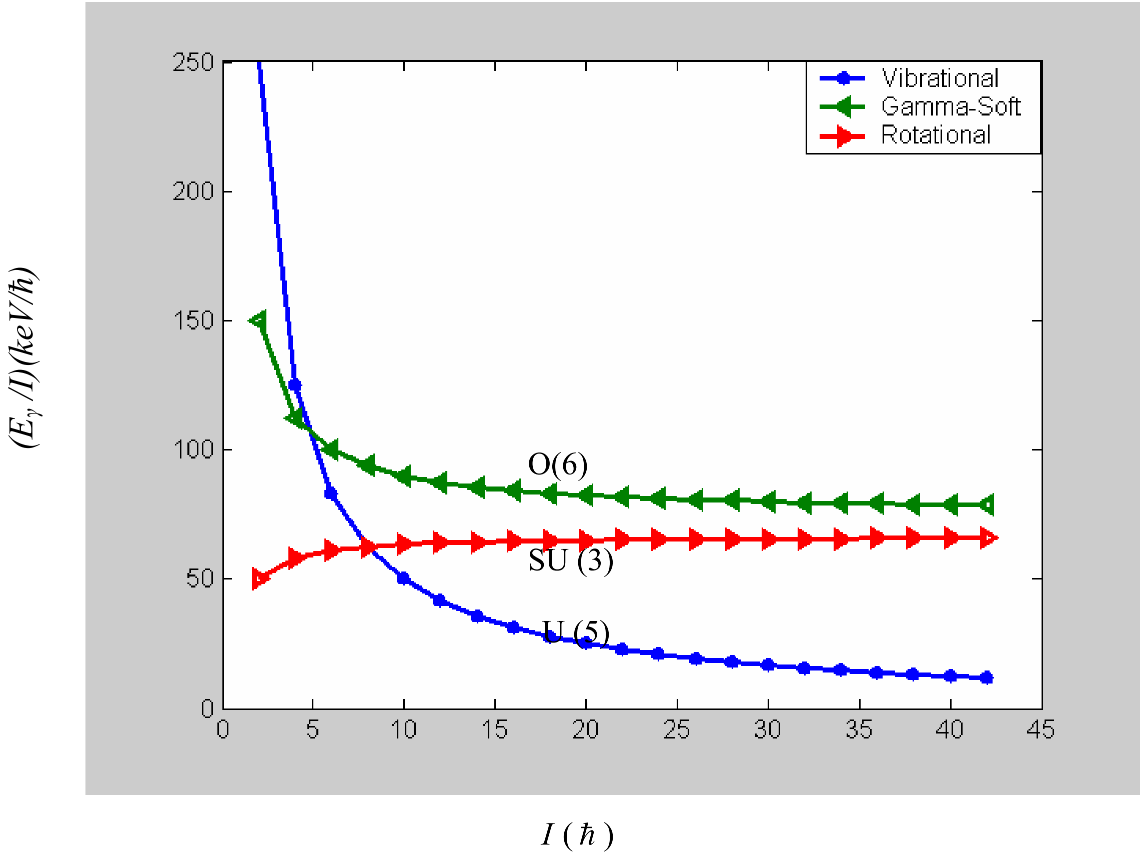
يعد أنموذج البوزونات المتفاعلة IBM-1 من الانموذجات الناجحة في حساب طاقة الحالات المختلفة والانتقالات الكامية بينها وحسب نوع النواة ؛ فاحتمالية الانتقالات رباعية القطب الكهربائية المختزلة للنوى الدورانية تعطى بالمعادلة [Arima and Iachello, 1987]:

$$B(E_2; I+2 \to I) = \alpha_2^2 \frac{3}{4}\frac{(I+2)(I+1)}{(2I+3)(2I+5)}(2N-I)(2N+I+3) \qquad (9)$$

اما للنوى ذات خصائص كاما الناعمة فتعطى (BE2) بالمعادلة[Arima and Iachello, 1987]:

$$B(E_2; I+2 \to I) = \alpha_2^2 \frac{(I+2)}{2(I+5)}\frac{1}{4}(2N-I)(2N+I+8) \qquad (10)$$

حيث أن N تمثل عدد البوزونات (مجموع ازواج نكليونات التكافؤ) و I تمثل برم النواة و α_2^2 عامل تأثير الانتقال لكل نواة.



الشكل 1 : منحني (E-GOS) للحالات المثالية الثلاث (Regan *et al* ., 2003)

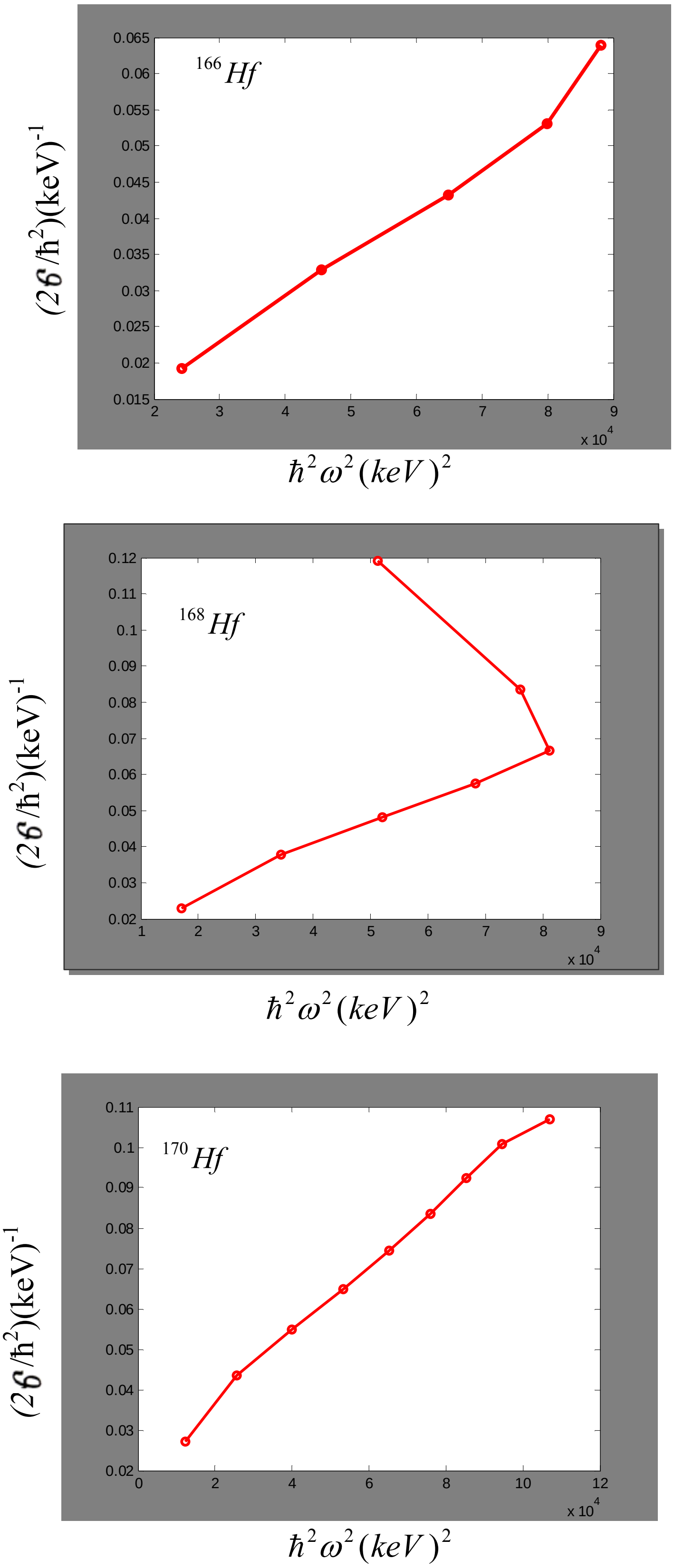
الحسابات و النتائج

تمتلك نواة الهافنيوم (72) بروتونا وتمتلك نظائر الهافنيوم $^{166-170}Hf$ الزوجية-الزوجية من (94) الى (98) نيوترونا. ان قيم طاقات حالة التهيج الاولى (2_1^+) لهذه النظائر 158.64 و124.1 و 100.8 بوحدات (keV) والنسبة $(\frac{E_{4_1^+}}{E_{2_1^+}})$ لهذه النظائر هي؛ 2.965 و3.09 و 3.193 على التوالي، وهذه القيم تقدم مؤشرات أولية لخصائص هذه النظائر، لا تكفي لتكوين معلومات كاملة عنها ولزيادة المعلومات تم رسم العلاقة بين عزم القصور الذاتي $(2\vartheta/\hbar^2)$ دالة لمربع طاقة الفوتون المنبعث عند انتقال النواة من الحالة I الى الحالة $(I-2)$ $(\hbar^2\omega^2)$ (Wong, 1990)، والشكل (2) يبين ذلك. ولزيادة المعلومات عن خصائص هذه النظائر تم رسم العلاقة بين طاقة كاما مقسومة على البرم $(R=E_\gamma/I)$ دالة للبرم (I) منحني E-(GOS) (Regan *et al*., 2003) ومقارنتها مع المنحني القياسي لكل نوع من أنواع النوى (الدورانية و كاما الناعمة والاهتزازية) والشكل (3)يوضح ذلك.

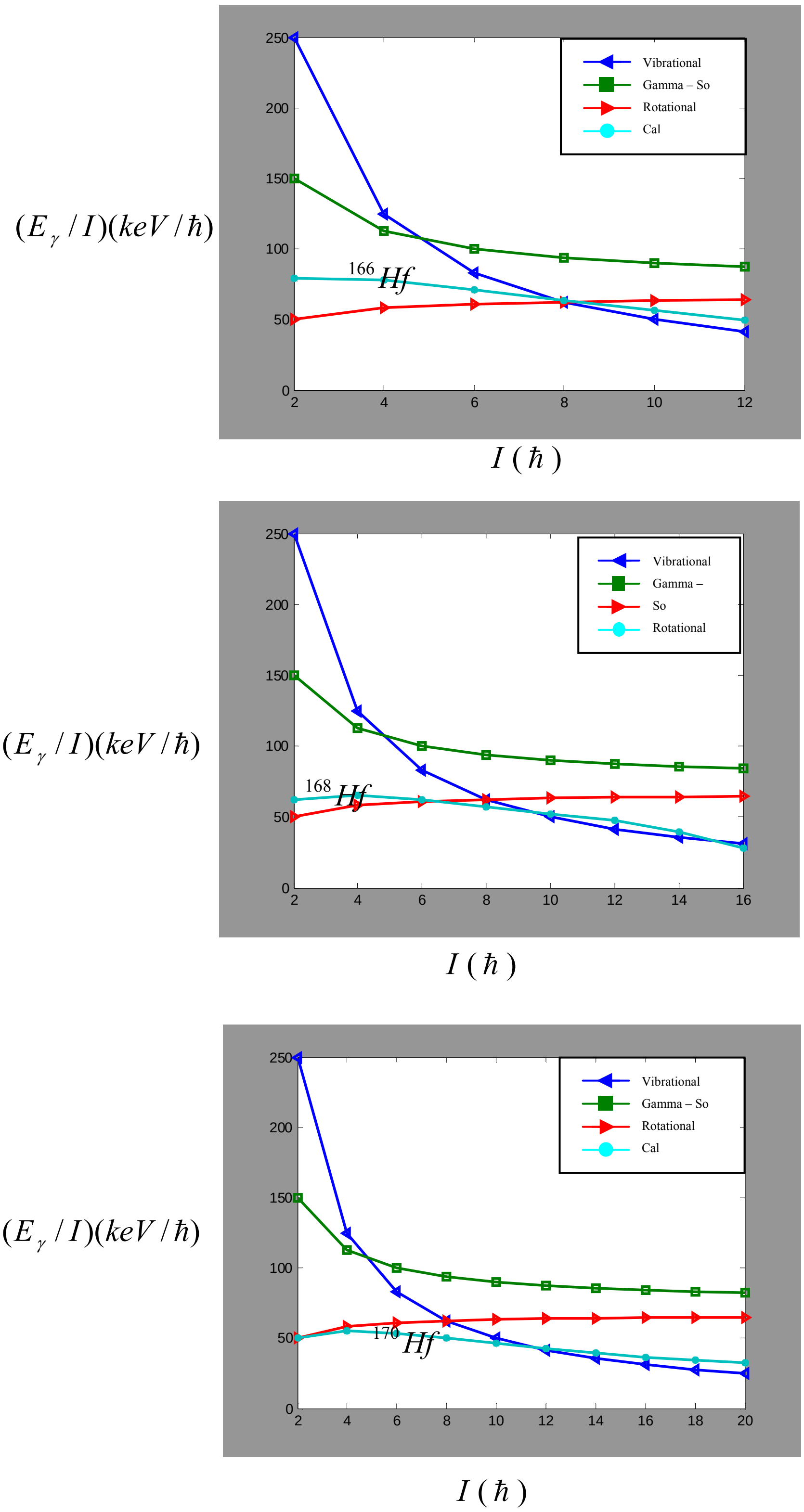
تم اختبار انتمـاء النظـائر $^{166-170}Hf$ قيـد الدراسـة لأنمـوذج النقطـة الحرجـة X(5) ، حيـث رشـحت الدراسـات الحديثـة النـواة ^{166}Hf لأنمـوذج النقطـة الحرجـة X(5) (Clark*etal.*,2003) وذلك من خلال خصائصها الموضحة في الجدول (1).

تم حساب طاقة بعض الحالات للحزمة الأرضية الدورانية لهذه النظائر باستخـدام المعـادلات القياسية (5، 4، 3) واستخدم أنموذج النقطة الحرجة X(5) في حساب الطاقة للنظير ^{166}Hf (Inan *et al.*, 2008)، والجدول (2) يبين مستويات الطاقة الخاصة بأنموذج X(5) نسبة الى المستوي (2_1^+) ومقارنتها مع القيم العملية والجداول (3، 4 ،5) تبين ذلك.

بعد الاطلاع على خصائص هذه النظائر تم حساب احتمالية الانتقال رباعية القطب الكهربائية المختزلة B(E2) عند انتقال النواة من الحالة I الى الحالة $(I-2)$ في الحزمة الارضية وذلـك باسـتخدام أنمـوذج بورومتلسون (Bohr and Mottelson, 1973) واستخدام أنموذج البوزونات المتفاعلة (IBM-1) وحسب التحديد المناسب لكل نظير وكل حالة SU(3), O(6) (Krane, 1987) وكذلك أنموذج النقطة الحرجة X(5) للنظير ^{166}Hf (Zamfir and Casten, 2003)، وتم مقارنة القيم المحسوبة مع القـيم العمليـة والجـداول (8,7,6) تبين ذلك.



الشكل2: عزم القصور الذاتي دالة لمربع الطاقة الدورانية لنظائر $^{166,168,170}Hf$



الشكل3: منحني (E-GOS) لنظائر $^{166,168,170}Hf$ مقارنة مع المنحني القياسي للتحديدات الثلاثة

الجدول 1: اختبار وقوع نظائر $^{166,168,170}Hf$ في المنطقة الحرجة X(5) (Bonatsos *et al.* , 2004).

	Experimental			X(5)
	^{166}Hf	^{168}Hf	^{170}Hf	
$E4_1^+ / E2_1^+$	2.96	3.11	3.19	2.91
$E0_2^+ / E2_1^+$	4.4	7.6	8.72	5.67
$\frac{B(E_2, 4_1^+ \rightarrow 2_1^+)}{B(E_2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)}$	1.58	1.58	1.44	1.5
$P = \frac{N_p . N_n}{N_p + N_n}$	5.45	5.83	6.15	5

الجدول 2: مستويات الطاقة الخاصة بالانموذج X(5) نسبة الى المستوي $E2_1^+$ (Inan *et al* ., 2008)

I^π	0	2	4	6	8	10	12
E	0	1	2.904	5.43	8.483	12.008	16.016

الجدول 3: طاقة حالات النظير ^{166}Hf .

I^π	Experimental (keV)* E_I	$E_{cal}\,(keV)$				
		Eγ (keV)	Vibrator	$\gamma - Soft$	Rotor	X(5)
2_1^+	158.64	158.64	158.6	158.64	158.6	158.64
4_1^+	470.46	237.96	317.2	396.6	528.8	460.31
6_1^+	897.17	317.28	475.8	713.88	1110.5	859.51
8_1^+	1406.4	396.6	634.4	1110.48	1903.7	1343.23
10_1^+	1971.9	475.92	793	1586.4	2908.4	1904.98
12_1^+	2565.8	555.24	951.6	2141.64	4124.6	2540.8

* Ref.= (Baglin, 2008)

الجدول 4: طاقة حالات النظير ^{168}Hf.

I^{Π}	**Experimental**	$E_{cal}\ (keV)$			
	E_I (keV)*	E_γ (keV)	Vibrator	$\gamma - Soft$	Rotor
2_1^+	124.1	124.1	124.1	124.1	124.1
4_1^+	385.92	186.15	248.2	310.25	413.7
6_1^+	757.29	248.2	372.3	558.45	868.7
8_1^+	1213.7	310.25	496.4	868.7	1489.2
10_1^+	1736.06	372.3	620.5	1241	2275.2
12_1^+	2306.09	434.35	744.6	1675.35	3226.6
14_1^+	2857.5	496.4	868.7	2171.75	4343.5
16_1^+	3310.4	558.45	992.8	2730.2	5625.9

* Ref.= (Baglin, 2010)

الجدول 5: طاقة حالات النظير ^{170}Hf.

I^{Π}	**Experimental**	$E_{cal}\ (keV)$			
	E_I (keV)*	E_γ (keV)	Vibrator	$\gamma - Soft$	Rotor
2_1^+	100.8	100.8	100.8	100.8	100.8
4_1^+	321.9	151.2	201.6	252	336.0
6_1^+	642.9	201.6	302.4	453.6	705.6
8_1^+	1043.1	252.0	403.2	705.6	1209.6
10_1^+	1505.2	302.4	504.0	1008	1848.0
12_1^+	2016.1	352.8	604.8	1360.8	2620.8
14_1^+	2567	403.2	705.6	1764	3528.0
16_1^+	3151.3	453.6	806.4	2217.6	4569.6
18_1^+	3766.5	504.0	907.2	2721.6	5745.6
20_1^+	4421	554.4	1008.0	3276	7056.0

* Ref.= (Baglin, 2002)

الجدول 6: احتمالية الانتقال رباعية القطب الكهربائية المختزلة B(E2) للنظير ^{166}Hf

$*Q_0 = 6.514$ و (Möller *et al.* , 1995) $\beta = 0.226$

$I \to I-2$	Experimental	$B(E2)_{cal}(W.u.)$			
	$B(E2)_{exp}(W.u.)$ **	Bohr and Mottelson	$IBM-1(O(6))$	$IBM-1(SU(3))$	X(5)
$2_1^+ \to 0_1^+$	128	155.72	161.27	128	128
$4_1^+ \to 2_1^+$	202	222.46	223.41	179.53	202.6
$8_1^+ \to 6_1^+$	280	250.48	255.91	190.12	290.66
$10_1^+ \to 8_1^+$	250	263.44	250	181.89	334.22
$12_1^+ \to 10_1^+$	155	286.11	234.58	168.29	-

* From equ (6) ** Ref.= (Baglin, 2008)

الجدول 7: احتمالية الانتقال رباعية القطب الكهربائية المختزلة B(E2) للنظير ^{168}Hf

$*Q_0 = 7.412$ و (Möller *et al.* , 1995) $\beta = 0.254$

	Experimental	$B(E2)_{cal}(W.u.)$		
$I \to I-2$	$B(E2)_{exp}(W.u.)$ **	Bohr and Mottelson	$IBM-1$ $(O(6))$	$IBM-1$ $(SU(3))$
$2_1^+ \to 0_1^+$	154	198.40	206.169	154
$4_1^+ \to 2_1^+$	244	283.43	286.858	216.55
$6_1^+ \to 4_1^+$	285	312.17	322.140	231.78
$8_1^+ \to 6_1^+$	350	326.78	333.854	232.456
$10_1^+ \to 8_1^+$	370	335.64	330.400	225.094
$12_1^+ \to 10_1^+$	320	341.60	315.697	211.906
$14_1^+ \to 12_1^+$	240	345.87	291.820	193.846
$16_1^+ \to 14_1^+$	260	349.10	260	171.406

* From equ (6) ** Ref.= (Baglin, 2010)

الجدول 8: احتمالية الانتقال رباعية القطب الكهربائية المختزلة B(E2) للنظير ^{170}Hf

$\beta = 0.274$ (Möller *et al.*, 1995) **و** $*Q_0 = 8.084$

	Experimental	$B(E2)_{cal}(W.u.)$		
$I \to I-2$	$B(E2)_{exp}(W.u.)$ **	Bohr and Mottelson	$IBM-1(O(6))$	$IBM-1(SU(3))$
$2_1^+ \to 0_1^+$	180	232.30	342.10	180
$4_1^+ \to 2_1^+$	260	331.86	477.66	253.70
$6_1^+ \to 4_1^+$	258	365.51	539.22	272.70
$8_1^+ \to 6_1^+$	300	382.61	562.9	275.20
$10_1^+ \to 8_1^+$	310	392.99	562.63	268.9
$12_1^+ \to 10_1^+$	280	399.96	544.89	256.45
$14_1^+ \to 12_1^+$	300	404.97	513.11	238.85
$16_1^+ \to 14_1^+$	≈ 330	408.74	469.28	216.72
$18_1^+ \to 16_1^+$	≈ 320	411.68	414.64	190.36
$20_1^+ \to 18_1^+$	≈ 350	414.04	350	159.96

*From equ (6) ** Ref.= (Baglin, 2002)

المناقشة

تم التعرف على خصائص نظائر $^{166-170}Hf$ الزوجية – الزوجية من خلال الطرائق التي قدمها الباحثون في هذا المجال، حيث تقدم مواقع طاقات حالات التهيج الاولى $(E2_1^+)$ والنسبة $(E4_1^+/E2_1^+)$ مؤشرات اولية للتعرف على خصائص النوى. من خلال مواقع هذه الطاقات تبين ان النظير ^{166}Hf $(E2_1^+ = 158.64\,keV)$ و $(R = E4_1^+/E2_1^+ = 2.9)$ له خصائص المنطقة الانتقالية O(6)- SU(3). تبين العلاقة بين عزم القصور الذاتي $(2\vartheta/\hbar^2)$ ومربع طاقة الفوتون المنبعث $(\hbar^2\omega^2)$ ان النظير ^{166}Hf لا يعاني انحناء خلفيا مما يشير الى عدم وجود تغير دراماتيكي في خصائصه على طول الحالات المدروسة مع بعض التغير في اتجاه سير المنحني عند الحالة (8_1^+) وهذا لا يقدم لنا فكرة واضحة عن خصائص هذا النظير والشكل (2) يوضح ذلك، وبرسم منحني (E-Gos) بين طاقة كاما مقسومة على البرم $(R = E_\gamma/I)$ دالة للبرم (I) والشكل (3) يبين ذلك حيث اتضح من هذا الشكل ان موقع المنطقة الاولى فيه تكون بين المنحنين القياسيين للتحديدين SU(3) و O(6) كما ان المنحني يعاني هبوطا بطيئا بزيادة I مما يدعم فكرة تمتع هذا النظير بالخصائص O(6)- SU(3)، وتشير الدراسات الحديثة الى انتماء هذا النظير الى التحديد X(5) والجدول (1) يبين قرب هذا النظير من التحديد X(5).

تم حساب طاقة الحالات المختلفة لهذا النظير باستخدام المعادلات القياسية للتحديدات الثلاثة، الاهتزازية وكاما الناعمة والدورانية وكذلك باستخدام انموذج النقطة الحرجة X(5)، ويتضح من الجـدول (3) ان القـيم المحسوبة باستخدام انموذج النقطة الحرجة X(5) هي اكثر توافقا مع القيم العملية لهذا النظير، في حـين ان المعادلات القياسية للتحديدات الثلاثة لا تعطي توافقا مع القيم العملية لأي من التحديدات الثلاثة ولكن يمكننـا النظر على ان القيم العملية توافق مع قيمة بين القيمتين المحسوبتين في التحديدين الدوراني وكاما الناعمة. تم حساب احتمالية الانتقال رباعية القطب الكهربائية المختزلة لهذا النظير للحالات $(2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ وصـولا الـى $(12_1^+ \rightarrow 10_1^+)$ باستخدام انموذج بورومتلسون وانموذج البوزونـات المتفاعلـة التحديـدين O(6) و SU(3) وانموذج النقطة الحرجة X(5) والجدول (6) يوضح ذلك، تم الاعتماد على تحديد المعامل α_2 المناسب لكل تحديد حيث اعتبرنا قيمة α_2 في التحديد SU(3) للانتقال $(2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ وكانـت قيمتهـا $(\alpha_2^2 = 2.327)$ واعتمدت قيمة α_2 في التحديد O(6) للانتقال $(10_1^+ \rightarrow 8_1^+)$ وكانـت قيمتهـا $(\alpha_2^2 = 4.887)$، ان سـبب اعتمادنا على قيمتين لـ α_2 يعود الى التغير في خصائص هذا النظير الموضحة في شكل منحني (E-Gos) والى الكثير من الدراسات التي تشير الى وقوع هذا النظير في المنطقة الانتقالية SU(3) -O(6) . واتضح من الجدول نفسه ان القيم المحسوبة باستخدام انموذج X(5) هو الاكثر توافقا مع القـيم العمليـة عـدا الانتقـال $(10_1^+ \rightarrow 8_1^+)$ ولعدم توفر القيمة المعيارية للانتقال $(12_1^+ \rightarrow 10_1^+)$ لم يتم حسابها بهذه الطريقة. كمـا يبـين الجدول ان القيم العمليـة تتفـق مـع القـيم المحـسوبة بـين التحديـدين SU(3) وO(6) عـدا الحـالتين $(2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ التي تتفق مع حسابات SU(3) و$(10_1^+ \rightarrow 8_1^+)$ الذي يتفق مع تحديد O(6) لاستخدامهما فـي حسابات α_2 للتحديدين.

تعد قيمة حالة التهيج الاولى للنظير ^{168}Hf $(E2_1^+ = 124.1 keV)$ وللنظير ^{170}Hf $(E2_1^+ = 100.8 keV)$ والنسبة بين حالة التهيج الثانية الى حالة التهيج الاولى لـ ^{168}Hf $(R = E4_1^+ / E2_1^+ = 3.109)$، وللنظير ^{170}Hf $(R = E4_1^+ / E2_1^+ = 3.19)$ مؤشرا أوليا على أن هذين النظيرين يمتلكان الخصائص الانتقالية SU(3) -O(6) و SU(3)-O(6) على التوالي. يظهر الشكل (2) ان النظير ^{168}Hf يعاني إنحناء خلفيا بعد الحالة (10_1^+) وظهور هذا الانحناء يعد مؤشرا جيدا على ان تغيرا قد حصل في خصائصه على طول حزمة الـ (yrast) ، في حين ان النظير ^{170}Hf لا يمتلك إنحناء خلفيا له مع بعض التغير البسيط في اتجاه سير المنحني عند الحالتين $(4_1^+$ و $16_1^+)$ وهذا لا يقدم لنا فكرة واضحة عن خصائص هذا النظير. وبرسم منحني (E-Gos) لهما الموضح في الشكل (3) ومقارنته مع المنحنيات القياسية لكل نوع يتضح أن النظيرين ^{168}Hf و ^{170}Hf يقعان بين المنحنين القياسيين للنوى ذات الخصائص كاما الناعمة والنوى الدورانية. كما تبين حسابات الطاقة باستخدام المعادلات القياسية للتحديدات الثلاثة ان القيم العملية لهذين النظيرين تتفق مع القيمة الوسطية بين التحديدين SU(3) وO(6) والجدولين (4 و5) يوضحان ذلك. بعد التعرف على خصائص هذين النظيرين تم استخدام انموذج بورومتلسون وأنموذج البوزونات المتفاعلة التحديدين O(6) و SU(3) لحساب احتمالية

الانتقال رباعية القطب الكهربائية المختزلة ولعدد من الحالات ويتضح من الجدولين (8,7) ان القيم العملية للانتقالات تتفق مع القيمة الوسطية بين القيمتين المحسوبتين في التحديدين SU(3) وO(6) عدا الانتقال $(2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ الذي يتفق تماما مع التحديد O(6) والانتقال $(16_1^+ \rightarrow 14_1^+)$ الذي يتفق تماما مع التحديد SU(3) للنظير ^{168}Hf ويعود سبب ذلك الى استخدام هذين الانتقالين في حساب قيمة α_2 للتحديدين SU(3) وO(6) وبما يتناسب مع الخصائص الواضحة لهذا النظير في منحني (E-Gos). تم الاعتماد على تحديد المعامل α_2 المناسب لكل تحديد حيث اعتبرنا قيمة α_2 في التحديد SU(3) للانتقال $(2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ وكانت قيمتها ($\alpha_2^2 = 2.376$) واعتمدت قيمة α_2 في التحديد O(6) للانتقال $(16_1^+ \rightarrow 14_1^+)$ وكانت قيمتها ($\alpha_2^2 = 5.369$). ويمكن استنتاج نفس الخصائص للنظير ^{170}Hf الذي تتفق القيمة العملية مع القيمة الوسطية بين التحديدين SU(3) وO(6) عدا الانتقال $(2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ الذي يتفق مع التحديد SU(3) تماما والانتقال $(20_1^+ \rightarrow 18_1^+)$ الذي يتفق مع التحديد O(6) تماما وذلك لاستخدامهما في تحديد قيمة α_2 لهذين التحديدين، تم الاعتماد على تحديد المعامل α_2 المناسب لكل تحديد حيث اعتبرنا قيمة α_2 في التحديد SU(3) للانتقال $(2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ وكانت قيمتها ($\alpha_2^2 = 2.387$) واعتمدت قيمة α_2 في التحديد O(6) للانتقال $(16_1^+ \rightarrow 14_1^+)$ وكانت قيمتها ($\alpha_2^2 = 7.740$).

الاستنتاجات

أظهرت الحسابات أن نظائر $^{166-170}Hf$ تمتلك خصائص انتقالية بين SU(3)-O(6) مع اعتبار ان النظير ^{166}Hf يكون اكثر قربا الى التحديد X(5) وهذا ما اظهرته حسابات الطاقة ومنحني الانحناء الخلفي و (E-Gos) لها وأظهرت حسابات احتمالية انتقال رباعية القطب المختزلة $B(E_2)$ إن هذه النظائر ذات خصائص انتقالية بين SU(3)-O(6) مع نجاح حسابات الـ X(5) اكثر من الحسابات الاخرى للنظير ^{166}Hf، كما أظهرت الحسابات لبورومتلسون عدم توافق مع القيم العملية مع هذه النظائر، وكذا الحال بالنسبة لكل تحديد على حدا SU(3) و O(6) باستخدام أنموذج البوزونات المتفاعلة مما يزيد معرفتنا أن هذه النظائر تمتلك خصائص انتقالية بين التحديدين SU(3)-O(6).

المصادر العربية

طرير، سليم حمزة (2006). دراسة التركيب النووي لنظائر $^{166-180}Hf$ الزوجية – الزوجية باستعمال نموذج البوزونات المتفاعلة الاول (IBM-1). رسالة ماجستير، كلية العلوم، جامعة بابل، العراق.

المصادر الأجنبية

Abou salem , L.I.; Abd Elmageed, K. E. (2005). A study of even-even HF isotopes using the cluster model. *Acta. Physica. Poionica. B.*, **36**(6).

Arima, A.; Iachello, F. (1974). Boson symmetries in vibrational nucleis. *Phys. Lett.* **13**(53), 309.

Al-Maqtary, K. A.; Al-Zuhairy, M. H.; Al-Sharaby, M. N.; Shamlan, N. A. (2011). IBM-1 Calculations of low-lying excited levels and electric transition probabilities b(e2) on the even-even "174-180Hf isotopes. *Jordan J. Physics*. **4** (1), 51-58.

Baglin, C. M. (2002). Nuclear Data Sheets. AR_13361-9.ens.

Baglin, C. M. (2008). Nuclear Data Sheets. AR_13361-7.ens.

Baglin, C. M. (2010). Nuclear Data Sheets. AR_80224-2.ens

Bohr, A.; Mottelson, B. R. (1975). "Nuclear Structure. Nuclear Deformation", Banjamen, W. A., Inc. Canada. 45p.

Bonatsos, D.; Lenis, D.; Minkov, N.; Raychev, P. P.; Terziev, P.A. (2004). Sequence of potentials lying between the U(5) and X(5) symmetries. *Phys, Rev. C69*, (0143021-01430211).

Clark, R. M.; Fallon, P.; Lee, I.Y.; Macchiavelli, A. O.; Mahmud, H.; Rodriguez –Vieitez, E.; Stephens, F. S.; Ward, D. (2003). Searching for X(5) behavior in nuclei. *Phys. Rev.* **C68,** 0373011-0373014.

Doma, S. B.; AminM M. M. ; Kharroube, K. A.; El-Gendy, H. S. (2011). Applications of the collective model to some axially symmetric deformed even-even nuclei. *Alexandria J. Physics*, **1**,1-5, ISSN 2090-4789.

Iachello, F. (2001). Analytic description of critical point nuclei in a spherical–axially deformed shape phase transition., *Phys. Rev. Lett*. **87** (5), 0525021-0525024.

Inan, S.; Turkan, N.; Inci, I.; Olgun, D. (2008). Comparison of IBM-2 calculations with x(5) critical point symmetre for low-lying state in $^{144-154}Nd$. *Mathematical and Computatinl Applications*, **13** (2), 101-112.

Krane, K. S. (1987). "Introductory Nuclear Physics". John Wiley and Sons, Ltd. Pp.116-156.

Möller,J.R.;Nix,W.D.;Myers, W.J.swiatecki; (1995). Atomic Data and Nuclear Data Tables,**59**(2),185-381.

Regan, P. H.; Beausang, C. W.; Zamfir, N. V.; Casten, R. F.; Zhang, J.; Hutter, C.; Yamamoto, A. D. ; Caprio, M. A.; Gürdal, G.; Hecht, A. A.; Krückn, R.; Langdown, S. D.; Meyer, D. A.; Ressler, J. J. (2003). Signature for vibrational to relational evolution along the yrast line. *Phys. Rev. Lett*. **90** (15).

Scharff-Goldhaber, W.(1955) Cited by Regan, P. H.; Beausang, C. W.; Zamfir, N. V.; Casten, R. F.; Zhang, J.; Hutter, C.; Yamamoto, A. D. ; Caprio, M. A.; Gürdal, G.; Hecht, A. A.; Krückn, R.; Langdown, S. D.; Meyer, D. A.; Ressler, J. J. (2003). Signature for vibrational to relational evolution along the yrast line. *Phys. Rev. Lett*. **90** (15).

Sorenson, R.A. (1973). Nuclear moment of inertia at high spin. *Rev. Mod. Phys*. **45**(3), 353-367.

Sun,Y. (2004). Projected shell model study on nuclei near N=Z line. *Eur. Phys. J. A*, 20, 133-138.

Wong, S. M. (1990). "Introductory Nuclear Physics". Prentice-Hall International, Inc. pp. 268-273.

Zamfir, V. N.; Casten, R. F. (2003). Phase/Shape TRANSITIONS IN NUCLEI. *Proceeding of Romanian Academy ,* Series A, **4** (2), 1-9.