

**A Study of Nuclear Structure of  $^{98,100}\text{Ru}$   
Even-Even Isotopes by the Interacting  
Boson Model- $\nu$**

**A Thesis**

**Submitted to the Council of the College of Science, University  
of Babylon in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Science in Physics**

**By:**

*Muhsen Cadem Motleb Al-Janaby*

۲۰۰۵

## ABSTRACT

The calculation were carried out using the program pakge IBM- $\nu$  to determine the energy levels, in conjunction with IBMT for evaluating the reduced transition probability  $B(E\gamma)$  and electric quadrupole moment  $Q_{\gamma, \pm}^+$ . In addition this work determines the nucleus shape by studying the surface potential energy using the equations of Hamilton function.

The present work shows that the spin and parity for the energy states (1.9 MeV) and (4.19 MeV) for  $^{94}\text{Ru}$  are  $3_1^+$  and  $10_1^+$  respectively, and the energy states 1.0, 1.96, 2.06, 3.04 and 4.19 MeV for  $^{100}\text{Ru}$  are  $0_3^+, 3_1^+, 6_1^+, 8_1^+$  and  $10_1^+$ , and for 1.99 MeV for  $^{102}\text{Ru}$  is  $4_2^+$ , and for the energy states 1.6 and 2.0 MeV for  $^{104}\text{Ru}$  are  $0_3^+$  and  $4_3^+$  respectively, and the energy states 0.99 and 0.89 MeV for  $^{106}\text{Ru}$  are  $0_2^+$  and  $2_2^+$  respectively, and for the energy states 1.49 and 1.2 MeV for  $^{108}\text{Ru}$  are  $4_2^+$  and  $6_1^+$  respectively. Also this work determines the spin and the parity for energy states, which never determine experimentally as the energy state 1.3 MeV for  $^{94}\text{Ru}$  with  $0_2^+$  and for the states 3.9 and 4.8 MeV for  $^{100}\text{Ru}$  with  $8_2^+$  and  $10_2^+$  respectively. Other states were expected in this work likes the new state 2.06 MeV with  $2_3^+$  for  $^{94}\text{Ru}$  and the states 1.3 and 1.39 MeV with  $6_1^+$  and  $2_3^+$  for  $^{106}\text{Ru}$ . As well as verified that  $^{102}\text{Ru}$  belong to vibration zone and that contrasts what the researcher (Stachel) conclutes.

The IBM calculation reveal that the nuclei can be regarded the  $SU(6)$  vibrational limit for  $^{94-102}\text{Ru}$ , and the  $SU(6) \rightarrow O(6)$  transition region in the case of  $^{104-108}\text{Ru}$ .

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة بابل  
كلية العلوم – قسم الفيزياء

دراسة التركيب النووي لنظائر الروثينيوم (٩٨ - ١٠٨)  
الزوجية - الزوجية باستعمال نموذج البوزونات المتفاعلة -

١

رسالة مقدمة إلى

مجلس كلية العلوم – جامعة بابل

وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير علوم في علوم الفيزياء

من قبل

محسن كاظم مطلب الجنابي

إشراف

د. عامر عبد الأمير محمد علي      د. خالد حسين هاتف العطية

٢٠٠٥ م

١٤٢٦ هـ

# B

(( يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا اصْبِرُوا

وَصَابِرُوا وَرَابِطُوا وَاتَّقُوا اللَّهَ

لَعَلَّكُمْ تَفْلِحُونَ ))

بِسْمِ اللَّهِ  
الْعَظِيمِ

سورة آل عمران  
الآية (٢٠٠)

## الإهداء

اهدي عملي المتواضع هذا :

إلى أخي المرحوم المهندس جواد كاظم مطلب

والى أبي وأمي وأخوتي

وزوجتي

والى كل من ساعدني في إنجاز هذه الرسالة

والى جميع المؤمنين

والمؤمنات

والله الموفق

محسن

إقرار المشرف

نشهد إن إعداد هذه الرسالة ، قد جرى تحت إشرافنا في قسم الفيزياء – كلية العلوم – جامعة بابل ، كجزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في علوم الفيزياء .

التوقيع:	التوقيع:
الاسم: د. خالد حسين هاتف	الاسم: د. عامر عبد الأمير محمد علي
المرتبة العلمية: أستاذ مساعد	المرتبة العلمية: أستاذ مساعد
العنوان: كلية العلوم – جامعة بابل	العنوان: كلية العلوم – جامعة كربلاء
التاريخ: / /	التاريخ: / /

### توصية رئيس قسم الفيزياء

إشارة إلى التوصية أعلاه ، المقدمة من قبل الأستاذين المشرفين ، أحيل هذه الرسالة إلى لجنة المناقشة لدراستها وبيان الرأي فيها .

التوقيع:
الاسم: د. طالب هادي قدوري
المرتبة العلمية: أستاذ مساعد
العنوان: كلية العلوم – جامعة بابل
التاريخ: / /

### قرار لجنة المناقشة

نشهد نحن أعضاء لجنة التقويم والمناقشة أننا اطلعنا على هذه الرسالة وقد ناقشنا الطالب في محتوياتها وفيما له علاقة بها وذلك بتاريخ ٢٣ / ٦ / ٢٠٠٥ ووجدنا إنها جديرة بالقبول بدرجة ( امتياز ) لنيل درجة الماجستير في علوم الفيزياء.

التوقيع:	التوقيع:
عضو اللجنة: د. آسيا حميد المشهداني	رئيس اللجنة: د. عبد الأمير كاظم فرهود
المرتبة العلمية: أستاذ مساعد	المرتبة العلمية: أستاذ مساعد
العنوان: كلية العلوم / جامعة بغداد	العنوان: كلية العلوم / جامعة القادسية
التاريخ: / / ٢٠٠٥	التاريخ: / / ٢٠٠٥

التوقيع:	التوقيع:
عضو اللجنة: د. عامر عبد الأمير محمد علي	عضو اللجنة: د. ندى فاضل توفيق
المرتبة العلمية: أستاذ مساعد	المرتبة العلمية: أستاذ مساعد
العنوان: كلية العلوم / جامعة كربلاء	العنوان: كلية العلوم / جامعة النهرين
التاريخ: / / ٢٠٠٥	التاريخ: / / ٢٠٠٥

التوقيع:

عضو اللجنة: د. خالد حسين هاتف

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

العنوان: كلية العلوم / جامعة بابل

التاريخ: / / ٢٠٠٥

مصادقة عميد كلية العلوم  
أصادق على ما جاء في قرار اللجنة أعلاه

التوقيع:

الاسم: د. عودة مزعل ياسر

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

العنوان: كلية العلوم / جامعة بابل

التاريخ: / / ٢٠٠٥

بسم الله الرحمن الرحيم

## شكر وتقدير

أتقدم بالشكر الجزيل إلى مشرفي البحث الدكتور عامر عبد الأمير محمد علي ،  
والدكتور خالد حسين هاتف العطية ، للعناية والمتابعة المستمرة بتقديم الآراء السديدة  
في أثناء مدة البحث ، كما أتقدم بالشكر الجزيل إلى السيدة هيام ناجي هادي للمساعدة  
التي قدمتها لي .

كما أقدم شكري وتقديري لعائلتي لتوفيرها مستلزمات دراستي والاستمرار  
بها.

وأقدم بوافر الشكر والتقدير إلى عمادة كلية العلوم – جامعة بابل ، ورئاسة  
قسم الفيزياء لإتاحتهما الفرصة لي لإكمال دراستي ، كما أشكر الدكتورة إيمان طارق  
عليوي وطالب الماجستير نبراس موسى عمران لتقديم المساعدة ، كما أشكر مكتب  
المدى للحاسبات وجميع العاملين فيه .

ومن الله التوفيق

الباحث

قائمة بالرموز المستخدمة

الرمز	تفسيره
$\epsilon_i$	طاقة البوزون $i$ .
$V_{ij}$	طاقة تفاعل البوزون $i$ – البوزون $j$ .
$H$	مؤثر الطاقة ( الهاملتوني ) .
$\epsilon_s$	طاقة البوزون نوع $s$ -boson .
$\epsilon_d$	طاقة البوزون من نوع $d$ -boson .
$(s^\dagger, d^\dagger)$	مؤثرات رافعة .
$(s, d)$	مؤثرات خافضة .
$d_\pi, s_\pi$	البوزونات من نوع $d, s$ التي تكون من أزواج البروتونات.
$d_\nu, s_\nu$	البوزونات من نوع $d, s$ التي تكون من أزواج النيوترونات .
$T_m^{(E_2)}$	مؤثر الانتقال الكهربائي رباعي القطب .
$\langle J_f    T^L    J_i \rangle$	عناصر المصفوفة المختزلة .
$J_i$	مستوي نووي ابتدائي .
$J_f$	مستوي نووي نهائي .
$SU(5)$	التناظر الديناميكي الاهتزازي .
$SU(3)$	التناظر الديناميكي الدوراني .
$O(6)$	التناظر الديناميكي لكاما غير المستقرة .
$N$	عدد البوزونات .
$N_\pi$	عدد بوزونات البروتونات .
$N_\nu$	عدد بوزونات النيوترونات .
$n_d$	عدد البوزونات من نوع $d$ -boson .
$n_s$	عدد البوزونات من نوع $s$ -boson .

الرمز	تفسيره
$\nu$	الأسبقية ( عدد البوزونات غير المزدوجة لزخم زاوي مقداره صفر ) .
$n_\Delta$	عدد البوزونات المرتبطة ثلاثيا لزخم زاوي مقداره صفر .
$\beta$	عامل التشوه .
$\gamma$	زاوية عدم التناظر .
$\sigma$	معامل ليونة النواة .
$eb$	الكترون بارن .

## المحتويات

رقم الصفحة	الموضوع	ت
I	قائمة الرموز .	
III	المحتويات .	
VI	قائمة الجداول .	
VII	قائمة الأشكال .	
X	الخلاصة .	
<b>الفصل الأول : المقدمة</b>		
١	مقدمة عامة .	١-١
٣	الدراسات السابقة .	٢-١
٦	الهدف من البحث .	٣-١
<b>الفصل الثاني : الأسس النظرية لنموذج البوزونات المتفاعلة</b>		
٧	نموذج البوزونات المتفاعلة IBM .	١-٢
٧	نموذج البوزونات المتفاعلة - ١ (IBM - ١) .	٢-٢
١٠	التناظرات الديناميكية .	٣-٢
١٧	المناطق الانتقالية في نموذج البوزونات المتفاعلة .	٤-٢
١٨	جهد طاقة السطح .	٥-٢
<b>الفصل الثالث : الحسابات والنتائج</b>		
٢٢	الحسابات .	١-٣
٢٢	حساب مستويات الطاقة .	١-١-٣
٣٦	حساب القيم المختزنة لاحتمالية الانتقال الكهربائي رباعي القطب $B(E2)$ .	٢-١-٣
٤٦	دراسة جهد طاقة السطح .	٣-١-٣

رقم الصفحة	الموضوع	ت
<b>الفصل الرابع : المناقشة والاستنتاجات</b>		
٥٥	نظائر Ru	١-٤
٥٥	نظير $^{98}\text{Ru}$ .	٢-٤
٥٦	مستويات الطاقة .	١-٢-٤
٥٨	احتمالية الانتقالات الكهربائية المختزلة $B(E2)$ .	٢-٢-٤
٥٩	عزم رباعي القطب الكهربائي (Q) وجهد طاقة السطح .	٣-٢-٤
٦٠	نظير $^{100}\text{Ru}$ .	٣-٤

٦٠	مستويات الطاقة .	١-٣-٤
٦١	احتمالية الانتقالات الكهربائية المختزلة $B(E2)$ .	٢-٣-٤
٦٢	عزم رباعي القطب الكهربائي (Q) وجهد طاقة السطح .	٣-٣-٤
٦٢	نظير $^{102}\text{Ru}$ .	٤-٤
٦٢	مستويات الطاقة .	١-٤-٤
٦٣	احتمالية الانتقالات الكهربائية المختزلة $B(E2)$ .	٢-٤-٤
٦٤	عزم رباعي القطب الكهربائي (Q) وجهد طاقة السطح .	٣-٤-٤
٦٤	نظير $^{104}\text{Ru}$ .	٥-٤
٦٥	مستويات الطاقة .	١-٥-٤
٦٦	احتمالية الانتقالات الكهربائية المختزلة $B(E2)$ .	٢-٥-٤
٦٦	عزم رباعي القطب الكهربائي (Q) وجهد طاقة السطح .	٣-٥-٤
٦٧	نظير $^{106}\text{Ru}$ .	٦-٤
٦٧	مستويات الطاقة .	١-٦-٤
٦٨	احتمالية الانتقالات الكهربائية المختزلة $B(E2)$ .	٢-٦-٤
٦٩	عزم رباعي القطب الكهربائي (Q) وجهد طاقة السطح .	٣-٦-٤
٦٩	نظير $^{108}\text{Ru}$ .	٧-٤
٧٠	مستويات الطاقة .	١-٧-٤

رقم الصفحة	الموضوع	ت
٧١	احتمالية الانتقالات الكهربائية المختزلة $B(E2)$ .	٢-٧-٤
٧١	عزم رباعي القطب الكهربائي (Q) وجهد طاقة السطح .	٣-٧-٤
٧٣	المقترحات .	٨-٤
٧٤	المصادر .	
	الخلاصة باللغة الإنكليزية .	

## قائمة الجداول

الرقم	العنوان	الصفحة
(١-٣)	المعاملات المستعملة في البرنامج (IBM-Code) وبوحدات MeV لنظائر $^{98-108}\text{Ru}$ .	٢٣
(٢-٣)	قيم $B(E2)$ , $E2SD$ , $E2DD$ لنظائر $^{98-108}\text{Ru}$ المستعملة في البرنامج (IBMT-Code).	٣٧
(٣-٣)	قيم $B(E2)$ النظرية لنظير $^{98}\text{Ru}$ المستخرجة باستعمال البرنامج (IBMT-Code) والقيم العملية المقابلة لها.	٣٨
(٤-٣)	قيم $B(E2)$ النظرية لنظير $^{100}\text{Ru}$ المستخرجة باستعمال البرنامج (IBMT-Code) والقيم العملية المقابلة لها.	٣٩
(٥-٣)	قيم $B(E2)$ النظرية لنظير $^{102}\text{Ru}$ المستخرجة باستعمال البرنامج (IBMT-Code) والقيم العملية المقابلة لها.	٤٠
(٦-٣)	قيم $B(E2)$ النظرية لنظير $^{104}\text{Ru}$ المستخرجة باستعمال البرنامج (IBMT-Code) والقيم العملية المقابلة لها.	٤١
(٧-٣)	قيم $B(E2)$ النظرية لنظير $^{106}\text{Ru}$ المستخرجة باستعمال البرنامج (IBMT-Code) والقيم العملية المقابلة لها.	٤٢
(٨-٣)	قيم $B(E2)$ النظرية لنظير $^{108}\text{Ru}$ المستخرجة باستعمال البرنامج (IBMT-Code) والقيم العملية المقابلة لها.	٤٣
(٩-٣)	المعاملات المستخدمة في البرنامج (IBM-١) لإيجاد جهد السطح لنظائر $^{98-108}\text{Ru}$ .	٤٧
(١-٤)	مقارنة بين نسب الانتقالات الكهربائية المختزلة $B(E2)$ لنظائر $^{98-108}\text{Ru}$ والقيم النموذجية للتحديد $SU(5)$ .	٥٩

## قائمة الأشكال

الرقم	العنوان	الصفحة
(١-٢)	الطيف النموذجي للتحديد SU(٥) لـ ( N = ٦ ) مع قيم $\nu$ و $n_{\Delta}$ والزخم الزاوي لكل مستوي .	١٢
(٢-٢)	الطيف النموذجي للتحديد SU(٣) لـ ( N = ٨ ) مع قيم $\lambda$ , $\mu$ , $\kappa$ والزخم الزاوي لكل مستوي .	١٤
(٣-٢)	الطيف النموذجي للتحديد O(٦) لـ ( N = ٦ ) مع قيم $\sigma$ و $\nu_{\Delta}$ والزخم الزاوي لكل مستوي .	١٦
(a-٤-٢)	رسم معادلة $E^I$ بوصفها دالة للمتغير $\beta$ .	٢٠
(b-٤-٢)	رسم المخططات العامة في ( $\beta - \gamma$ ) .	٢٠
(٥-٢)	المخطط المثالي للخطوط الكنتورية والتناظرات المحورية .	٢١
(١-٣)	مقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ( $^{98}\text{Ru}$ ) .	٢٦
(٢-٣)	مقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ( $^{100}\text{Ru}$ ) .	٢٧
(٣-٣)	مقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ( $^{102}\text{Ru}$ ) .	٢٨
(٤-٣)	مقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ( $^{104}\text{Ru}$ ) .	٢٩
(٥-٣)	مقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ( $^{106}\text{Ru}$ ) .	٣٠

الرقم	العنوان	الصفحة
(٧-٣)	قيم نسب الطاقة $(\frac{E_{0_2^+}}{E_{2_1^+}})$ العملية والنظرية الخاصة بنظائر $^{98-108}\text{Ru}$ مع القيم النموذجية لكل تحديد .	٣٢
(٨-٣)	قيم نسب الطاقة $(\frac{E_{4_1^+}}{E_{2_1^+}})$ العملية والنظرية الخاصة بنظائر $^{98-108}\text{Ru}$ مع القيم النموذجية لكل تحديد .	٣٣

٣٤	قيم نسب الطاقة $(\frac{E_{6_1^+}}{E_{2_1^+}})$ العملية والنظرية الخاصة بنظائر $^{98-108}\text{Ru}$ مع القيم النموذجية لكل تحديد .	(٩-٣)
٣٥	قيم نسب الطاقة $(\frac{E_{8_1^+}}{E_{2_1^+}})$ العملية والنظرية الخاصة بنظائر $^{98-108}\text{Ru}$ مع القيم النموذجية لكل تحديد .	(١٠-٣)
٤٤	مقارنة بين القيم العملية والنظرية لاحتمالية الانتقال الكهربائي $B(E2)$ لنظائر $^{98-108}\text{Ru}$ .	(١١-٣)
٤٥	قيم نسب الانتقالات الكهربائية المختزلة $R'' , R' , R$ لنظائر $^{98-108}\text{Ru}$ .	(١٢-٣)
٤٦	قيم عزم رباعي القطب الكهربائي $Q(eb)$ العملية والنظرية لنظائر $^{98-108}\text{Ru}$ .	(١٣-٣)
٤٨	الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري للنظير $^{98}\text{Ru}$ .	(١٤-٣)
٤٩	الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري للنظير $^{100}\text{Ru}$ .	(١٥-٣)
٥٠	الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري للنظير $^{102}\text{Ru}$ .	(١٦-٣)
٥١	الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري للنظير $^{104}\text{Ru}$ .	(١٧-٣)
٥٢	الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري للنظير $^{106}\text{Ru}$ .	(١٨-٣)
٥٣	الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري للنظير $^{108}\text{Ru}$ .	(١٩-٣)
٥٤	رسم المعادلة $E^I$ بوصفها دالة للمتغير $\beta$ لنظائر $^{98-108}\text{Ru}$ .	(٢٠-٣)
الصفحة	العنوان	الرقم
٥٧	الزيادة بطاقة البوزونات بوصفها دالة للصفة الاهتزازية.	(١-٤)
٥٧	يمثل قرب طاقة المستوي $0_2^+, 2_2^+, 4_1^+$ من ضعف قيمة طاقة المستوي $2_1^+$ وتقارب طاقة المستويات النظرية والعملية .	(٢-٤)

## الخلاصة

لقد أنجزت الحسابات باستعمال برنامج (IBM-1) لتعيين مستويات الطاقة متزامنا مع برنامج IBMT لحساب قيم احتمالية الانتقالات المختزلة وعزوم رباعية القطب الكهربائية  $Q_{2^+}$ . فضلاً عن تحديد شكل النواة عن طريق دراسة طاقة جهد السطح (Surface Potential energy) باستخدام معادلات دالة هاملتون . في هذه الدراسة ، تمّ تحديد الزخم والتماثل لبعض مستويات الطاقة غير المحددة بصورة أكيدة ، إذ تمّ تحديد المستويات  $1.09 \text{ MeV}$  و  $4.19 \text{ MeV}$  لنواة  $^{98}\text{Ru}$  بزخم وتماثل  $3_1^+$  و  $10_1^+$  والمستويات  $1.5 \text{ MeV}$  و  $1.96 \text{ MeV}$  و  $2.06 \text{ MeV}$  و  $3.04 \text{ MeV}$  و  $4.17 \text{ MeV}$  لنواة  $^{100}\text{Ru}$  بـ  $0_3^+$  و  $3_1^+$  و  $6_1^+$  و  $8_1^+$  و  $10_1^+$  و  $1.77 \text{ MeV}$  لنواة  $^{102}\text{Ru}$  بـ  $4_2^+$  ، والمستويات  $1.6 \text{ MeV}$  و  $2.5 \text{ MeV}$  لنواة  $^{104}\text{Ru}$  بـ  $0_3^+$  و  $4_3^+$  ، والمستويات  $0.99 \text{ MeV}$  و  $0.87 \text{ MeV}$  لنواة  $^{106}\text{Ru}$  بـ  $0_2^+$  و  $2_2^+$  ، والمستويات  $1.49 \text{ MeV}$  و  $1.2 \text{ MeV}$  لنواة  $^{108}\text{Ru}$  بـ  $4_2^+$  و  $6_1^+$  ، زيادة على ذلك تم تحديد زخم وتماثل مستويات طاقة أخرى لم تعين عملياً ، إذ تمّ تعيين زخم وتماثل مستوى طاقة  $1.3 \text{ MeV}$  لنواة  $^{98}\text{Ru}$  بالقيمة  $0_2^+$  ، والمستويات  $3.7 \text{ MeV}$  و  $4.8 \text{ MeV}$  لنواة  $^{100}\text{Ru}$  بـ  $8_2^+$  و  $10_2^+$  ، كما تم توقع مجموعة من مستويات الطاقة ، فنواة  $^{98}\text{Ru}$  تم توقع مستوى جديد بطاقة  $1.3 \text{ MeV}$  لزخم وتماثل مقداره  $2_3^+$  ولنواة  $^{106}\text{Ru}$  تم إيجاد مستويين بطاقة  $1.3 \text{ MeV}$  و  $1.39 \text{ MeV}$  بزخم وتماثل مقداره  $6_1^+$  و  $2_3^+$  . كما تم إثبات انتماء  $^{102}\text{Ru}$  إلى المنطقة الاهتزازية والذي يخالف ما توصل إليه الباحث (Stachel) .

وعلى وفق حسابات IBM أظهرت أن النويات  $^{98-102}\text{Ru}$  تميل للتحديد  
الأهتزازي (Vibration Limit)  $\text{SU}(5)$  وأما النويات  $^{104-108}\text{Ru}$  تميل للمنطقة  
الانتقالية  $[\text{SU}(5) \rightarrow \text{O}(6)]$ .

# الفصل الأول

المقدمة

*Introduction*

## Introduction المقدمة

## 1-1 مقدمة عامة General Introduction

نتيجة لطبيعة القوى النووية المعقدة ولدخول عوامل عديدة فيها أصبحت إمكانية دراسة التركيب النووي بشكل نظري مفصل صعبة للغاية، إذ أن الكثير من النتائج العملية لم تتفق مع الاستنتاجات النظرية فهذا وضعت نماذج نووية لوصف التركيب النووي تستخدم الأسس الفيزيائية المهمة في التركيب كقاعدة أساسية ثم تضاف إليها العوامل المؤثرة الأخرى للحصول على التركيب الدقيق للنوى (Fine structure) مع إجراء بعض عمليات التقريب الرياضية<sup>(1)</sup>. لقد ظهرت عدة نماذج نووية ومن هذه النماذج نموذج قطرة السائل (Liquid Drop Model) الذي اقترح من قبل (Von Weizsaker ١٩٣٥)<sup>(1)</sup>، وحسب هذا النموذج تم تصور الربط بين النيوكلونات مشابهاً إلى ربط جزيئات السائل. ومن فرضيات هذا النموذج أن النواة تتكون من مادة غير قابلة للانضغاط وكذلك القوة النووية متساوية لجميع النيوكلونات وبالذات فهي لا تعتمد على كونها بروتونات أو نيوترونات، وهناك عوامل مؤثرة في طبيعة القوى أهمها الطاقة الحجمية والطاقة السطحية وتأثير كولوم وكذلك طاقة الازدواج وغيرها من العوامل الأخرى، وقد أظهر هذا النموذج خصائص تجميعية إلا أنه أخفق في تفسير استقرارية النواة وطبيعة القوى النووية التي تربط بين النيوكلونات، وعلى اثر ذلك ظهر نموذج القشرة (Shell Model) من قبل (W. Elasser, ١٩٥٠)<sup>(2)</sup>.

أن هذا النموذج أوجد تفسيراً للأعداد السحرية والصفات النووية الأخرى بدلالة تأثير النواة ككل على النيوكلونات المنفردة، وبهذا النموذج نحصل على مستويات طاقة تتفق مع وجود الأعداد السحرية، وثمة صفة أخرى تدعم نموذج القشرة، هي قابليته على إيجاد الزخم الزاوي الكلي في حالة النوى الزوجية - الزوجية، إذ تكون البروتونات والنيوترونات على شكل أزواج، ولذلك فالزخم الزاوية اليرمية والزخم المدارية لهذه النويات تلغي بعضها بعضاً، وهذه النتيجة تتفق مع المشاهدات العملية بأن الزخم الزاوي الكلي للنوى الزوجية - الزوجية في

حالتها الأرضية يساوي صفر، على حين برم النوى الفردية – الفردية يساوي عدد صحيح.

لكن نموذج القشرة أخفق في تفسير جملة من الخصائص النووية ومن أهمها أن هذا النموذج يفترض شكل النواة كروياً (عزم رباعي القطب يساوي صفر) ولكن اثبت عملياً أن النويات الثقيلة ليست كروية الشكل، وكذلك حالات البرم العالي (i)  $(h, 11/2, 13/2)$  التي توقعها هذا النموذج لم تظهر في النتائج العملية كذلك فشل فيما يتعلق بالانتقالات الصفرية التي تكون من الأهمية بحيث أن المعرفة المضبوطة بها تعطي فكرة عن التركيب الدقيق للنواة<sup>(3)</sup>.

وعلى أثر إخفاق نموذج القشرة ظهر نموذج آخر يسمى النموذج الموحد (نموذج الحركة الكلية)، إذ كلما شذ عدد النيوكلونات عن الأعداد السحرية فإن تأثيرات تعاونية تبدأ بالظهور بين النيوكلونات وأن أساس هذا النموذج هو الاعتماد على التشويه الذي يصيب النواة بسبب زيادة النيوكلونات والتفاعل في هذا النموذج كلياً (تجميعياً) بين النويات وهذا يعطي شكلاً ثابتاً للنواة ويفترض هنا دوران النواة يكون بصورة كاملة فإن هذا الدوران يكون صغيراً مقارنةً مع دوران النوية الواحدة.<sup>(3, 4)</sup>

في عام (1976) وضع نموذج تجميعي من قبل (Arima and F. Iachello)<sup>(5, 6)</sup>، ودرس من قبل (T. Otsuka) ويسمى هذا النموذج نموذج البوزونات المتفاعلة (Interacting Boson Model)، إذ أن هذا النموذج نجح في دراسة أطيف مستويات الطاقة السفلى للنويات ذات الأعداد الكتلية المتوسطة والثقيلة، وهذا النموذج لا يفرق بين أزواج البروتونات والنيوترونات ويسمى (IBM – 1).

## ٢-١ الدراسات السابقة Literature Survey

لقد درس عدد من الباحثين التركيب النووي لنظائر الروثينيوم، إذ قام (K. Summerer)<sup>(7)</sup> وجماعته عام (1978) بدراسة التوزيع الزاوي لانتقالات أشعة كما في  $^{104}\text{Ru}$  الناتجة من انحلال  $\beta^-$  لـ  $^{104}\text{Tc}$  بعمر نصف (١٨.٤ دقيقة)، إذ تم الحصول على البرم لمستويات متعددة وكذلك نسبة ثنائي القطب ورباعي القطب لأكثر انتقالات أشعة كما.

ودرس (J. Lange)<sup>(8)</sup> وجماعته عام (1979) خواص المستويات المثيجة في النويتين  $^{96}\text{Ru}$  و  $^{98}\text{Ru}$  من خلال استطارة البروتون غير المرنة، للنواة  $^{96}\text{Ru}$ ،

إذ ظهر أن المستوي (1477keV) ذو برم وتمائل  $2^+$  لم يلاحظ في هذه الدراسة ولوحظ بدلاً منه المستوي (1930keV) ببرم وتمائل  $2^+$  وهو مستوي اهتزازي.

و درس (E.H. Dumarchievan)<sup>(9)</sup> وجماعته عام (1980) مخطط مستويات الطاقة لـ  $^{98}\text{Ru}$  باستخدام التفاعلين  $^{98}\text{Ru}(\gamma, 3n)$  و  $^{98}\text{Ru}(\gamma, 4n)$  بطاقة أشعة كما من (35-55MeV) ثم تعيين برم وتمائل جديدين لمستويات 2014keV و 3852keV وهما  $J^\pi = 3^+$  و  $J^\pi = 9^-$  على التوالي لنواة  $^{98}\text{Ru}$ .

قاس (S. Landsberger)<sup>(10)</sup> وجماعته عام (1980) عزم رباعي القطب في المستويات المثيجة  $2_1^+$  الأولى لنظائر  $^{96}\text{Ru}$ ,  $^{98}\text{Ru}$ ,  $^{100}\text{Ru}$ ,  $^{102}\text{Ru}$ ,  $^{104}\text{Ru}$  إذ وجد أن عزم رباعي القطب كان eb (0.13 ± 0.09) - لنواة  $^{96}\text{Ru}$  و eb (0.20 ± 0.09) - لنواة  $^{98}\text{Ru}$  و eb (0.43 ± 0.07) - لنواة  $^{100}\text{Ru}$  و eb (0.57 ± 0.07) - لنواة  $^{102}\text{Ru}$  و eb (0.70 ± 0.08) - لنواة  $^{104}\text{Ru}$ .

درس (K. Summerer)<sup>(11)</sup> وجماعته عام (1980) طاقة جهد السطح لنوى Ru الغنية جدا بالنيوترونات وظهر أنها تميل نحو الشكل الثلاثي الأبعاد (Triaxial).

و طور (K. Heyde)<sup>(12)</sup> وجماعته عام (1983) نموذج IBM بواسطة احتوائه على درجة الحرية من نوع (g - Boson) وتضمنت الحسابات على تحديدين مختلفين هما  $SU(5)$  و  $O(6)$  وطبقت النظرية على نواة  $^{104}\text{Ru}$  كنواة تقع بين هذين التحديدين إذ تم الحصول على الأطياف الطاقية ونسب انتقال  $E2$  و  $E4$  ومقارنتها مع أحدث النتائج التجريبية لـ  $^{104}\text{Ru}$ .

تم دراسة مستويات الطاقة في  $^{106,108}\text{Ru}$  من قبل (J.Stachel)<sup>(13)</sup> وجماعته عام (1984) من خلال قياس تطابق  $\gamma\gamma$  والترابط الأتجاهي لـ  $\gamma\gamma$  في أشعة كما التي تتبع انحلال  $\beta^-$  لـ 36 ثانية من  $^{106}\text{Tc}$  و 5 ثانية من  $^{108}\text{Tc}$ ، وتم رسم مخطط انحلال

$^{106,108}\text{Ru}$  لـ  $B(E2)$  ونسب  $E2/M1$  ونسب  $E2/M1$  ونسب  $B(E2)$  لـ  $^{106,108}\text{Ru}$  ، وإن التركيب الجماعي لكلا النواتين نوقش من خلال عدة نماذج نووية.

درس (A. Giannatiempo)<sup>(14)</sup> وجماعته عام (1986) الانتقالات الكهربائية أحادية القطب ( $E0$ ) بين المستويات الواطنة في النواة  $^{102}\text{Ru}$  ، وإن قيم النسبة  $X(E0/E2)$  لـ  $E0$  إلى  $E2$  تم اشتقاقها للانتقالات من المستويات  $0_2^+$  و  $0_3^+$  إلى  $0_1^+$  و  $2_1^+$  والانتقال  $2_2^+ \rightarrow 2_1^+$  ، وأن النتائج التجريبية نوقشت ضمن نموذج IBM . طبق (D. Bucurescu)<sup>(15)</sup> وجماعته عام (1986) نموذج مطور لدالة هاملتون في تحديد  $SU(5)$  على نظائر Ru و Pb بعدد N مقارب لـ 60 ، ثم تم الحصول على مستويات طاقة وانتقالات  $E2$  لـ هذه النوى.

قاس (S. J. Sanders)<sup>(16)</sup> وجماعته عام (1988) المقاطع العرضية للانتقال النيوكلون المفرد لتفاعل  $^{48}\text{Ti} + ^{104}\text{Ru}$  ، ولمدى زاوي كبير عند طاقة قريبة لحاجز كولوم ، وذلك للتعرف على التوزيع الزاوي لهذا التفاعل .

وقد درس (G. S. Samudra)<sup>(17)</sup> وجماعته عام (1988) تركيب نواة  $^{98}\text{Ru}$  باستخدام التفاعل النووي  $^{98}\text{Ru}(\text{He}, \gamma)^{98}\text{Ru}$  ، إذ أوضحت الدراسة إن المستويات الواطنة في هذه النواة الانتقالية يمكن أن توصف بالحركة الدورانية بدون استخدام درجة الحرية الاهتزازية.

و درس (جاسم مهدي محمد الأسدي)<sup>(18)</sup> عام (1989) الانتقالات الصفرية والتركيب النووي لنظائر (Pt, Os, Ru, Pd) ، باستخدام أنموذج البوزونات المتفاعلة - 2 ، إذ شملت دراسته طاقة تهيج مستويات النظائر و سطح طاقة الجهد التي ساعدت على تصنيف هذه النظائر من حيث كونها مشوهة أو كروية. وأثبت أن نوية Ru تميل للتشويه بزيادة العدد النيوتروني .

درس (K.Zajac)<sup>(19)</sup> وجماعته عام (1999) تهيجات رباعية القطب لنوى Ru و Pb الزوجية - الزوجية باستخدام تقريب مبني على نموذج بور الجماعي

العام، ثم درس طاقات التهيج وانتقال  $E2$  في نوى  $^{104-114}\text{Ru}$  إذ وجد تطابقاً مع النتائج العملية لنظير  $^{104}\text{Ru}$ .

وعين (C. J. Barton)<sup>(٢٠)</sup> وجماعته عام (٢٠٠١) المستوى  $J^\pi = 2_3^+$  لنواة  $^{96}\text{Ru}$  وكذلك المستوى  $2_{ms}^+$ ، وتم الحصول على هذه المستويات من شدة الانتقالات الناتجة عن التهيج الكولومي من تغذية المستوى  $2_3^+$  نسبةً إلى ذلك الناتج من المستوى  $2_1^+$  وبشدة تهيج معروفة  $E2$ .

عرف (N. Pietralla)<sup>(٢١)</sup> وجماعته عام (٢٠٠١) المستوى  $J^\pi = 2_3^+$  للنواة  $^{96}\text{Ru}$ ، وهذا التعريف استند على قياس شدة الانتقال  $B(M1)$  والتي تم الحصول عليها من التهيج الكولومي الناتج من تغذية المستوى  $2_3^+$  نسبةً إلى المستوى المعرف بشدة تهيج  $E2$ .

وحدد (L. Genilloud)<sup>(٢٢)</sup> وجماعته عام (٢٠٠١) المستويات المتهيجة لنظير  $^{100}\text{Ru}$  من خلال قياسات توهين إزاحة دوبلر الناتجة من تفاعل  $^{100}\text{Ru} (n, n')\gamma$  ثم قورنت النتائج مع وصف (IBM - ١) للنوية.

### ٣-١ الهدف من البحث The Aim of the Research

يهدف البحث إلى ما يأتي:

١. دراسة مستويات الطاقة لنظائر الروثينيوم ( $^{98-108}\text{Ru}$ ) باستخدام نموذج البوزونات المتفاعلة الأول (IBM - ١) وتحديد المتغيرات (Parameters) المستخدمة في هذا النموذج ومقارنة النتائج بمستويات الطاقة العملية والنظرية إن وجدت.
٢. حساب قيم معدل الانتقالات الكهرومغناطيسية لانتقال رباعي القطب الكهربائي  $B(E2)$  ومقارنتها مع النتائج العملية والنظرية إن وجدت.

٣. تحديد قيمة عزم رباعي القطب الكهربائي المسؤول عن تحديد شكل النواة ومقدار التشوه الحاصل فيها.

٤. تحديد البرم والتماثل لمستويات الطاقة التي لم تحدد خواصها ولمعرفة ما إذا كانت هنالك مستويات جديدة لم تكن معروفة في الدراسات العملية.

٥. دراسة ووصف التركيب النووي لنظائر الروثينيوم باستخدام طاقة جهد السطح  $V(\beta, \gamma)$  (Surface Potential energy).

## الفصل الثاني

الأسس النظرية لنموذج  
البوزونات المتفاعلة

*Theoretical Basics of I.B.M*

## ٢-١ نموذج البوزونات المتفاعلة IBM

بعد أن أظهرت النماذج النووية السابقة عدم إمكانيتها في كشف وتحديد بعض الخواص النووية وعدم تطابق بعض نتائجها مع النتائج العملية التي تم الحصول عليها من دراسة التفاعلات النووية، اقترح (Iachello and Arima)<sup>(٢٥)</sup> عام ١٩٧٤ نموذجاً نووياً جديداً يجمع ما بين نموذج القشرة والنماذج الهندسية؛ استطاع هذا النموذج أن يصف خصائص المستويات التجميعية السفلى (Low Lying Collective Levels) في النويات الزوجية - الزوجية.

إن القواعد الأساسية لهذا النموذج بنيت على بعض المفاهيم والأسس التي تم تطبيقها في النماذج النووية السابقة فضلاً عن الاستفادة من النتائج العملية واعتماداً على التأثير المتبادل ما بين النيوكلونات الذي تسببه قوة تفاعل الأزواج بين الجسيمات المتشابهة إضافة إلى قوة تفاعل رباعي القطب ما بين الجسيمات غير المتماثلة.<sup>(٢٣)</sup>

وبناءً على ذلك ، فإن النيوكلونات خارج الاغلفة المغلقة تتصرف على شكل أزواج تتفاعل مع بعضها مكونة البوزونات ، التي لها القابلية على التفاعل بعضها مع بعض ، وبماكانها أن تشغل المستوى الأرضي (Ground State) S عندما يكون الزخم الزاوي مساوياً للصفر (L=٠) وتدعى ببوزونات s (s-boson) أو أن تشغل مستويات الحالات المثيجة عندما يكون الزخم الزاوي (L=٢) وتدعى ببوزونات d (d-boson)<sup>(٢٤)</sup> ، أو عندما (L=٣) وتدعى ببوزونات f ، والتي تصف حالات التماثل السالبة (Negative parity states)<sup>(٢٥)</sup>.

## ٢-٢ نموذج البوزونات المتفاعلة – ١ (IBM-١)

إن نموذج البوزونات المتفاعلة الأول (IBM-١) لا يميز بوزونات البروتونات ( $s_\pi, d_\pi$ ) أو بوزونات النيوترونات ( $s_\nu, d_\nu$ )<sup>(٢٧,٢٦)</sup> ، إذ يتم حساب عدد البوزونات بوصفها أزواج الجسيمات  $N_\pi$  ( $\nu$ ) (Particles pairs) ابتداءً من اقرب قشرة مغلقة وحتى منتصف القشرة التي تليها، ثم يتم حساب البوزونات بعدها بوصفها أزواج الفجوات (Hole – pairs)  $\bar{N}_\pi$  ( $\nu$ )<sup>(٢٥)</sup>.

يفرض هذا النموذج إن المستويات رباعية القطب التجميعية السفلى يمكن أن تكون مستويات لنظام N من البوزونات التي تشغل مستويين أحدهما لزخم زاوي (L=٠) يسمى (s-boson) ، والآخر بزخم زاوي (L=٢) يسمى (d-boson) ، ومن أجل دراسة خواص أية نوية زوجية - زوجية نحتاج إلى مؤثرات مناسبة ومنها

المؤثر الهاملتوني لطاقة النظام، وأن الصيغة الأولى للمؤثر الهاملتوني للنظام التي تكون غير مكتملة هي:

$$H = \sum_{i=1}^N \epsilon_i + \sum_{i<j} V_{ij} \dots\dots\dots (2-1)$$

إذ إن  $\epsilon_i$  هي طاقة البوزون الواحد،  $V_{ij}$  هي طاقة تفاعل البوزون - بوزون، ولأجل إجراء الحسابات وجد انه من المناسب استعمال الصيغة المكتملة للمؤثر الهاملتوني التي تكون على الشكل الآتي<sup>(٢٨)</sup>:

$$H = \epsilon_s (s^\dagger s) + \epsilon_d \sum_m d_m^\dagger d_m + \sum_{L=0,2,4} \frac{1}{2} (2L+1)^2 C_L [(d^\dagger d^\dagger)^{(L)} \cdot (dd)^{(L)}]^{(\cdot)} + \frac{1}{\sqrt{2}} v_2 [(d^\dagger d^\dagger)^{(2)} \cdot (ds)^{(2)} + (s^\dagger d^\dagger)^{(2)} \cdot (dd)^{(2)}]^{(\cdot)} + \frac{1}{2} v_0 [(d^\dagger d^\dagger)^{(0)} \cdot (ss)^{(0)} + (s^\dagger s^\dagger)^{(0)} \cdot (dd)^{(0)}]^{(\cdot)} + u_2 [(d^\dagger s^\dagger)^{(2)} \cdot (ds)^{(2)}]^{(\cdot)} + \frac{1}{2} u_1 [(s^\dagger s^\dagger)^{(0)} \cdot (ss)^{(0)}]^{(\cdot)} \dots\dots\dots (2-2)$$

إذ إن:  $C_L (L = 0, 2, 4)$ ،  $v_L (L = 0, 2)$ ،  $u_L (L = 0, 2)$  تصف تفاعلات البوزونات وتعتمد هذه المعاملات على عدد البوزونات  $N = N\pi + N\nu$ ، أما الأقواس الكبيرة فإنها تمثل الزخم الزاوي. وهناك عدد من الطرق لكتابة المؤثر الهاملتوني للطاقة، وإن أحد الأشكال الذي غالباً ما يستعمل هو<sup>(٢٥)</sup>:

$$H = \epsilon_n d + a_4 p^\dagger \cdot p + a_1 L^2 + a_2 Q^2 + a_3 T_3^2 + a_4 T_4^2 \dots\dots\dots (2-3)$$

إذ إن:  $\epsilon = \epsilon_d - \epsilon_s$  طاقة البوزونات وللسهولة افترضنا أن طاقة البوزون s مساوية للصفر ولهذا فإن  $\epsilon = \epsilon_d$  أما المعاملات  $a_4, a_3, a_2, a_1, a$  فإنها تعبر عن قوة تفاعل الازدواج والزمخ الزاوي ورباعي القطب وثمانى القطب (Octupole) والقطب السادس عشري (Hexadecapole) بين البوزونات على التوالي.

تمتد المركبات الخمسة للبوزونات d والمركبة المنفردة للبوزون s على فضاء لست أبعاد (Six dimensional space) ويكون التركيب الجماعي للمسألة، ولعدد N من البوزونات هو  $SU(6)$ .

من الممكن في هذا النموذج حساب الطاقات، فضلا عن خواص أخرى مثل معدلات الانتقال الكهرومغناطيسية (E.M. transition rates) التي تكون للجسيم الواحد وبالصيغة الكمية الآتية:<sup>(٢٩,٣٠)</sup>

$$T_m^{(L)} = \alpha_2 \delta_{L2} [d^\dagger s + s^\dagger d]_m^{(2)} + \beta_L [d^\dagger \quad d]_m^{(L)} + \gamma_0 \delta_{L0} \delta_{m0} [s^\dagger s]^{(0)} \dots\dots\dots (2-4)$$

إذ تمثل  $\alpha_2$  ،  $\beta_L$  ،  $\gamma$  معاملات الحدود المختلفة للمؤثر، وتعطي هذه المعادلة مؤثرات الانتقال للانتقالات  $E_0$  ،  $M_1$  ،  $E_2$  ،  $M_3$  ،  $E_4$  مع قيم مناسبة للمعاملات المتعلقة بها.

من الممكن الحصول على المؤثر  $T_m^{(E_2)}$  الذي شهد تطبيقات واسعة الانتشار في تحليل انتقالات أشعة كاما، من الصيغة الآتية: <sup>(٣١,٦)</sup>

$$T_m^{(E_2)} = \alpha_2 [d^\dagger s + s^\dagger d]_m^{(2)} + \beta_2 [d^\dagger d]_m^{(2)} \dots \dots \dots (٢-٥)$$

إن مؤثر متعدد القطبية  $(E_2)$  يتطلب معرفة معاملين هما  $\alpha_2$  ،  $\beta_2$  ، فضلاً عن دالتي الموجة (Wave Function) للحالتين الابتدائية والنهائية، وبمجرد معرفة مؤثرات الانتقال فإنه من الممكن حساب معدلات الانتقال الكهرومغناطيسية وبالطريقة العادية نأخذ عناصر المصفوفة المختزلة (Reducible Matrix Elements)  $T^L$  بين الحالتين الابتدائية والنهائية  $\langle J_f \parallel T^L \parallel J_i \rangle$  ، وبعد ذلك يُحصَل على  $B(EL)$  و  $B(ML)$  من العلاقة الآتية: <sup>(٣٣,٣٢,٣٠)</sup>

$$B(L, J_i \rightarrow J_f) = \frac{1}{2J_i + 1} | \langle J_f \parallel T^L \parallel J_i \rangle |^2 \dots \dots \dots (٢-٦)$$

## ٣-٢ التناظرات الديناميكية Dynamical Symmetries

من الممكن تقسيم نموذج IBM-١ إلى ثلاث سلاسل (Chains) فقط وبثلاثة حلول تحليلية (Analytical Solution) وهي كالاتي:

### I- التحديد الاهتزازي $SU(5)$ The Vibration Limit

في هذا التحديد تكون طاقة البوزون  $\in$  اكبر بكثير من جهد التفاعل  $V$  (Interaction Potential) حيث يعطي الهاملتون الخاص به بالشكل الآتي: <sup>(٣٥,٣٤)</sup>

$$H^I = \in \sum_m d_m^\dagger d_m + \sum_L \frac{1}{2} (2L+1)^{\frac{1}{2}} C_L [(d^\dagger d^\dagger)^{(L)} \cdot (dd)^{(L)}]^{(0)} \dots \dots \dots (٢-٧)$$

تعرف الحالات الذاتية (Eigen States) بالأعداد الكمية  $| N, n_d, v, n_\Delta, L, M \rangle$  إذ تمثل  $N$  العدد الكلي للبوزونات و  $n_d$  تمثل عدد بوزونات  $d$  و  $v$  تمثل الأسبقية (Seniority) أو عدد البوزونات غير المزدوجة (un paired) لزخم زاوي مقداره صفر و  $n_\Delta$  هو عدد البوزونات المرتبطة ثلاثياً (Tripled Coupled) لزخم زاوي مقداره صفر و  $M$  و  $L$  تمثلان الأعداد الكمية المعروفة للزخم الزاوي والشكل (٢-١) يوضح طيفاً نموذجياً لنواة اهتزازية نقية <sup>(٣٤,٣٥)</sup>. أما معادلة القيم الذاتية لهاملتون  $SU(5)$  فإنه يعطى <sup>(٣٣)</sup> ب:

$$E | N, n_d, v, n_\Delta, L, M \rangle = \in n_d + \alpha \frac{1}{2} n_d (n_d - 1) + \beta (n_d - v)$$

$$(n_d + v + 3) + \gamma [L(L+1) - 6n_d] \dots\dots\dots (2-8)$$

أ)

إذ إن:  $n_d = 0, 1, 2, \dots, N$

يعتمد المؤثر متعدد القطبية (E2) في شكله على نوع التحديد ففي حالة التحديد الاهتزازي SU(5) يأخذ المؤثر صيغة مشابهة للمعادلة (2-5) وعليه يحقق قواعد الاختيار (Selection rules) الآتية:<sup>(34)</sup>

$$\Delta n_d = 0, \pm 1$$

أما القيمة المختزلة لاحتمالية الانتقال رباعي القطب B(E2) فإنها تعطى<sup>(36,30)</sup> بـ:

$$B(E2: L+2 \rightarrow L) = \frac{\alpha_2^2}{4} (L+2) (2N-L) \dots\dots\dots (2-9)$$

ولهذا يمكن أن نكتب قيمة الاحتمالية:

$$B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+) = \alpha_2^2 N \dots\dots\dots (2-10)$$

أما العزوم رباعية القطب، وبحالات المستويات الأرضية فإنها تعرف بالمعادلة:<sup>(33)</sup>

$$Q_L = \beta_2 \sqrt{\frac{16\pi}{5}} \sqrt{\frac{1}{14}} L \dots\dots\dots (2-11)$$

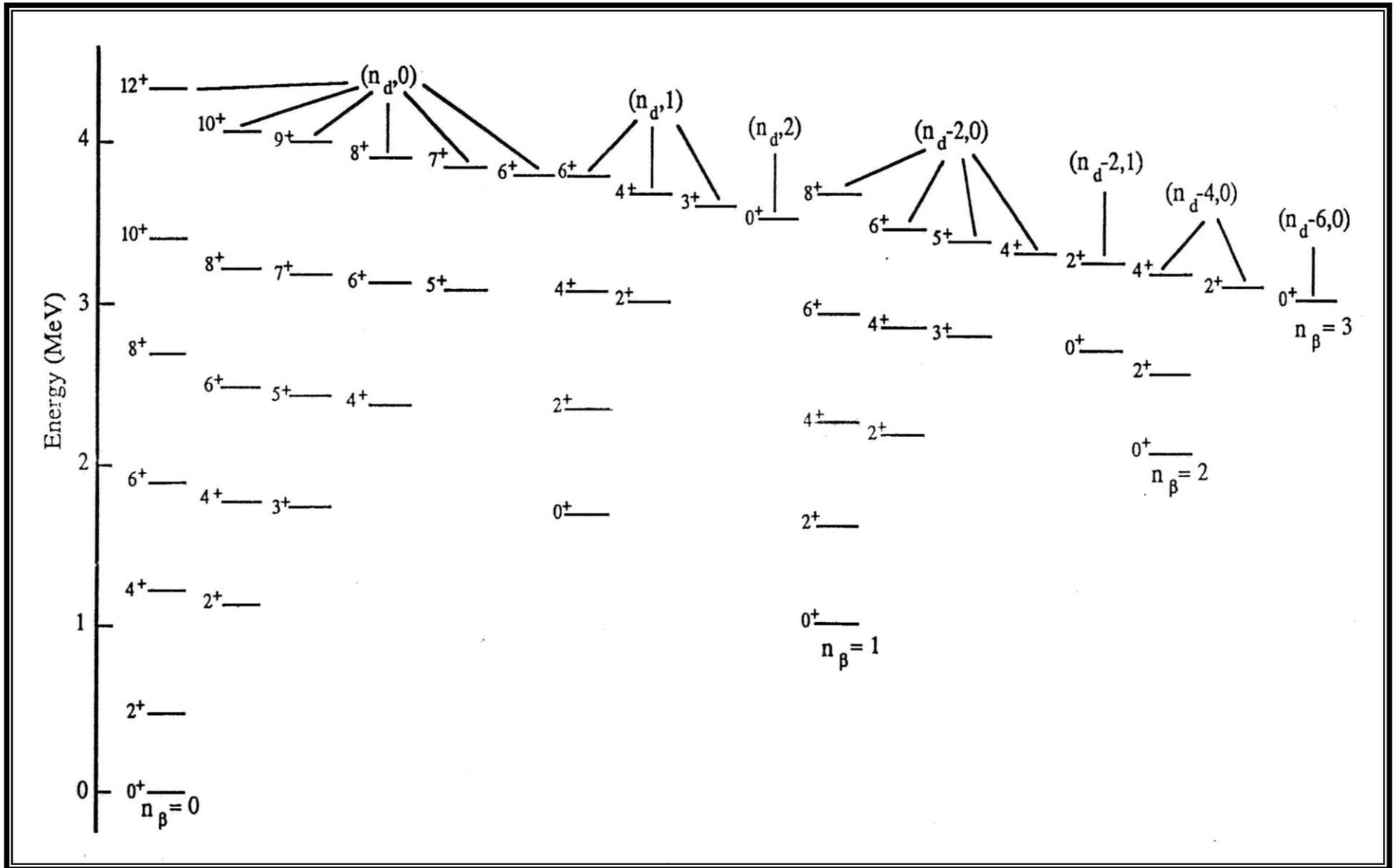
$$Q_{2_1^+} = \beta_2 \left(\frac{32\pi}{35}\right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2-12)$$

إذ إن  $\beta_2$  يمكن تعريفها بالشكل الآتي<sup>(37,34)</sup>:

$$\beta_2 = -\frac{0.7}{\sqrt{5}} \alpha_2 \dots\dots\dots (2-13)$$

ومن الممكن الاستنتاج من المعادلة (2-9) في حالة التحديد SU(5) إيجاد النسبة الآتية<sup>(1)</sup>:

$$\frac{B(E2: 4_1^+ \rightarrow 2_1^+)}{B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)} = \frac{2(N-1)}{N} < 1 \dots\dots\dots (2-14)$$



شكل (١-٢): الطيف النموذجي للتحديد SU(5) لـ (N=6) مع قيم  $v$  و  $n_{\Delta}$  والزخم الزاوي لكل مستوي ( $^{(5)}$ )

## II - التحديد الدوراني SU(3) : The Rotational Limit

في هذا التحديد يكون التفاعل رباعي القطب (Q.Q) هو المهيمن في تفاعل البوزونات فضلا عن وجود التفاعل ثنائي القطب (L.L) لذا فإن صيغة الهاملتون العامة<sup>(٢٨)</sup> هي:

$$H^{\text{II}} = a_1 L^2 + a_2 Q^2 \dots\dots\dots (٢-١٥)$$

أما معادلة القيم الذاتية لهاملتون SU(3) فأنها تعطى<sup>(٣٠)</sup> بـ:

$$E | N, (\lambda, \mu), K, L, M \rangle = \frac{a_2}{2} (\lambda^2 + \mu^2 + \lambda\mu + 3(\lambda + \mu)) + (a_1 - \frac{3a_2}{8}) L(L+1) \dots\dots\dots (٢-١٦)$$

إذ يعبر العددان الكميان  $(\lambda, \mu)$  عن حالات الـ SU(3) أما العدد الكمي K فإنه يرمز للحالات التي تمتلك قيمةً متساوية لـ  $L, \mu, \lambda$  والشكل (٢-٢) يوضح طيفاً نموذجياً للتحديد SU(3)<sup>(٢٨,٢٥)</sup>.

ولحساب قيمة المؤثر  $T_m^{(E_2)}$  لهذا التحديد فإنه يعطى بالصيغة الآتية<sup>(٢٨)</sup>:

$$T_m^{(E_2)} = \alpha_2 [(d^\dagger s + s^\dagger d)_m^{(2)} - \frac{\sqrt{7}}{2} (d^\dagger d)_m^{(2)}] \dots\dots\dots (٢-١٧)$$

إذ عُدَّت  $(\beta_2 = -\frac{\sqrt{7}}{2} \alpha_2)$  وتكون قواعد الانتقاء (Selection Rules) لهذا التحديد<sup>(٣٠,٢٥)</sup>  $\Delta\lambda=0, \Delta\mu=0$  لذلك فإنَّ B(E2) سوف يكون بالصيغة الآتية<sup>(٣٣)</sup>:

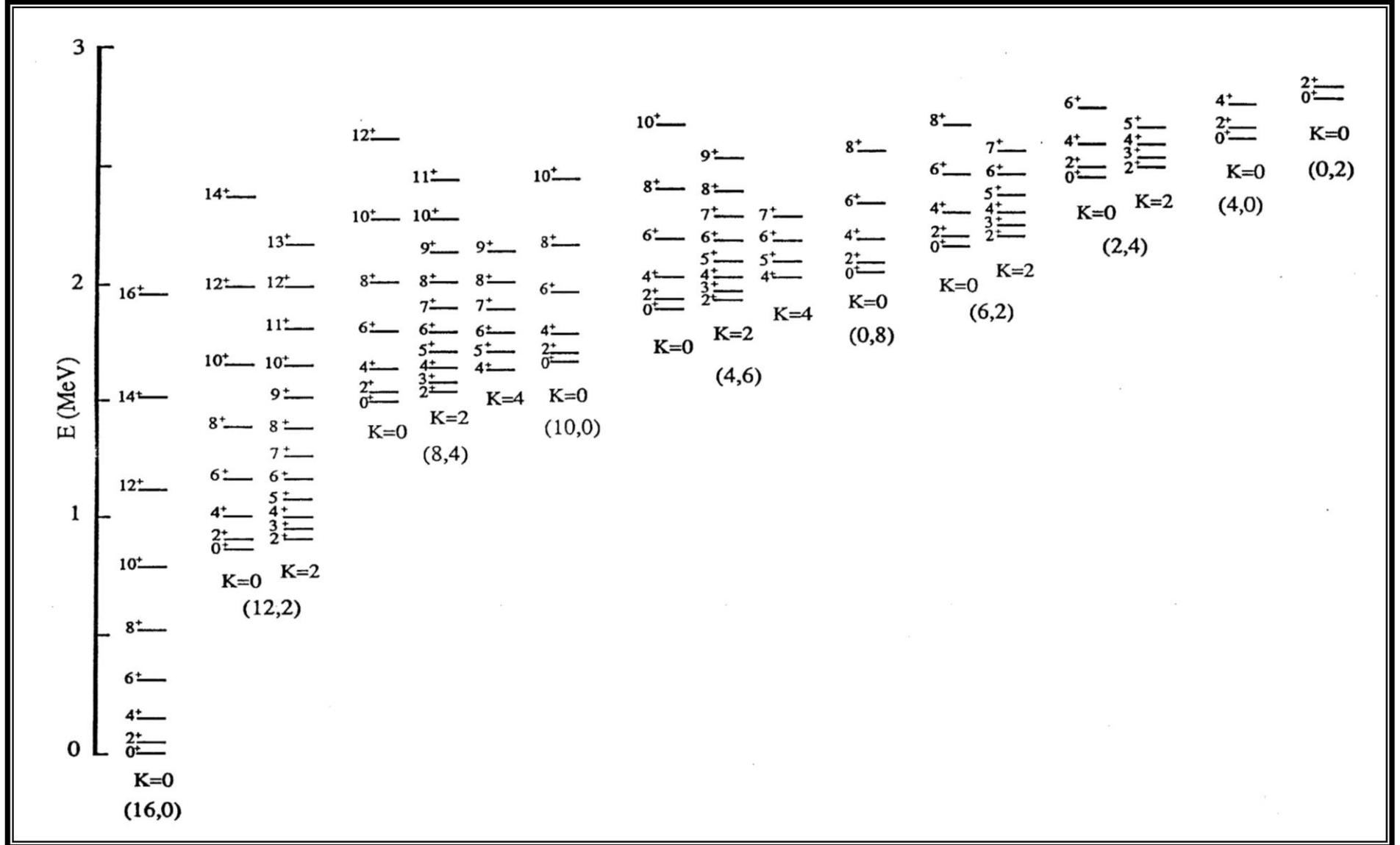
$$B(E_2: L+2 \rightarrow L) = \alpha_2^2 \frac{3}{4} \frac{(L+2)(L+1)}{(2L+3)(2L+5)} (2N-1)(2N+L+3) \dots\dots\dots (٢-١٨)$$

وبالنسبة لعزوم رباعي القطب التي تخص التحديد الدوراني تعطى بالمعادلة الآتية<sup>(٣٠)</sup>:

$$Q_L = -\alpha_2 \sqrt{\frac{16\pi}{40}} \frac{L}{2L+3} (4N+3) \dots\dots\dots (٢-١٩)$$

ومن المعادلة (٢-١٧) يمكن إيجاد النسبة<sup>(٣٨,٦)</sup>:

$$\frac{B(E_2: 4_1^+ \rightarrow 2_1^+)}{B(E_2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)} = \frac{10}{7} \frac{(N-1)2(N+5)}{N(2N+3)} < \frac{10}{7} \dots\dots\dots (٢-٢٠)$$



شكل (٢-٢): الطيف النموذج للتحديد SU(٣) لـ (N=٨) مع قيم λ و μ و k والزخم الزاوي لكل مستوي (٧٥)

### III- تحديد $O(6) \gamma$ - Unstable

ينتج هذا التحديد عندما يهيمن تفاعل الازدواج بين البوزونات على طاقة البوزونات ويكون الهاملتون لهذا التحديد كالاتي: <sup>(١)</sup>

$$H^{III} = a_0 P^\dagger \cdot P + a_1 L^2 + a_2 T_3^2 \dots \dots \dots (2-21)$$

ويمكن كتابة القيم الذاتية للحالات الخاصة بالهاملتون بالشكل الآتي: <sup>(٢٥)</sup>

$$E | N, \sigma, \tau, \nu_\Delta, L, M \rangle = \frac{1}{4} A(N - \sigma)(N + \sigma + \epsilon) + \frac{B}{6} \tau(\tau + 3) + CL(L + 1) \dots \dots \dots (2-22)$$

٢٢)

إذ تأخذ الأعداد الكمية  $\sigma$  و  $\tau$  القيم الآتية:

$$\sigma = N, N - 2, \dots \dots, 0 \text{ or } 1 \text{ for } N = \text{even or } N = \text{odd} \dots \dots \dots (2-23)$$

$$\tau = \sigma, \sigma - 1, \dots \dots, 0 \dots \dots \dots (2-24)$$

و يمثل العدد الكمي  $\nu_\Delta$  عدد البوزونات  $d$  المرتبطة ثلاثياً لزخم زاوي مقداره صفر، والشكل (٣-٢) يوضح طيفاً نموذجياً للتحديد  $O(6)$  <sup>(٢٥,٦)</sup>.

أما بالنسبة للمؤثر  $T_m^{(E_2)}$  في هذا التحديد فإنه يكتب بالصيغة الآتية: <sup>(٦)</sup>

$$T_m^{(E_2)} = \alpha_2 [d^\dagger s + s^\dagger d]_m \dots \dots \dots (2-25)$$

إذ إن  $\beta = 0$  وبقوانين انتقاء  $(\Delta\sigma = 0)$ ،  $(\Delta\tau = \pm 1)$  <sup>(٢٥,٦)</sup>، وعلى هذا الأساس فإن  $B(E_2)$  لحزمة الحالة الأرضية تعطى بـ <sup>(٢٥,٢٣)</sup>:

$$B(E_2: L+2 \rightarrow L) = \alpha_2^2 \frac{L+2}{2(L+5)} \frac{1}{4} (2N-L)(2N+L+8) \dots \dots \dots (2-26)$$

ومن قانون الانتقاء لهذا التحديد يمكن استنتاج أن قيم العزوم رباعية القطب تساوي صفراً .

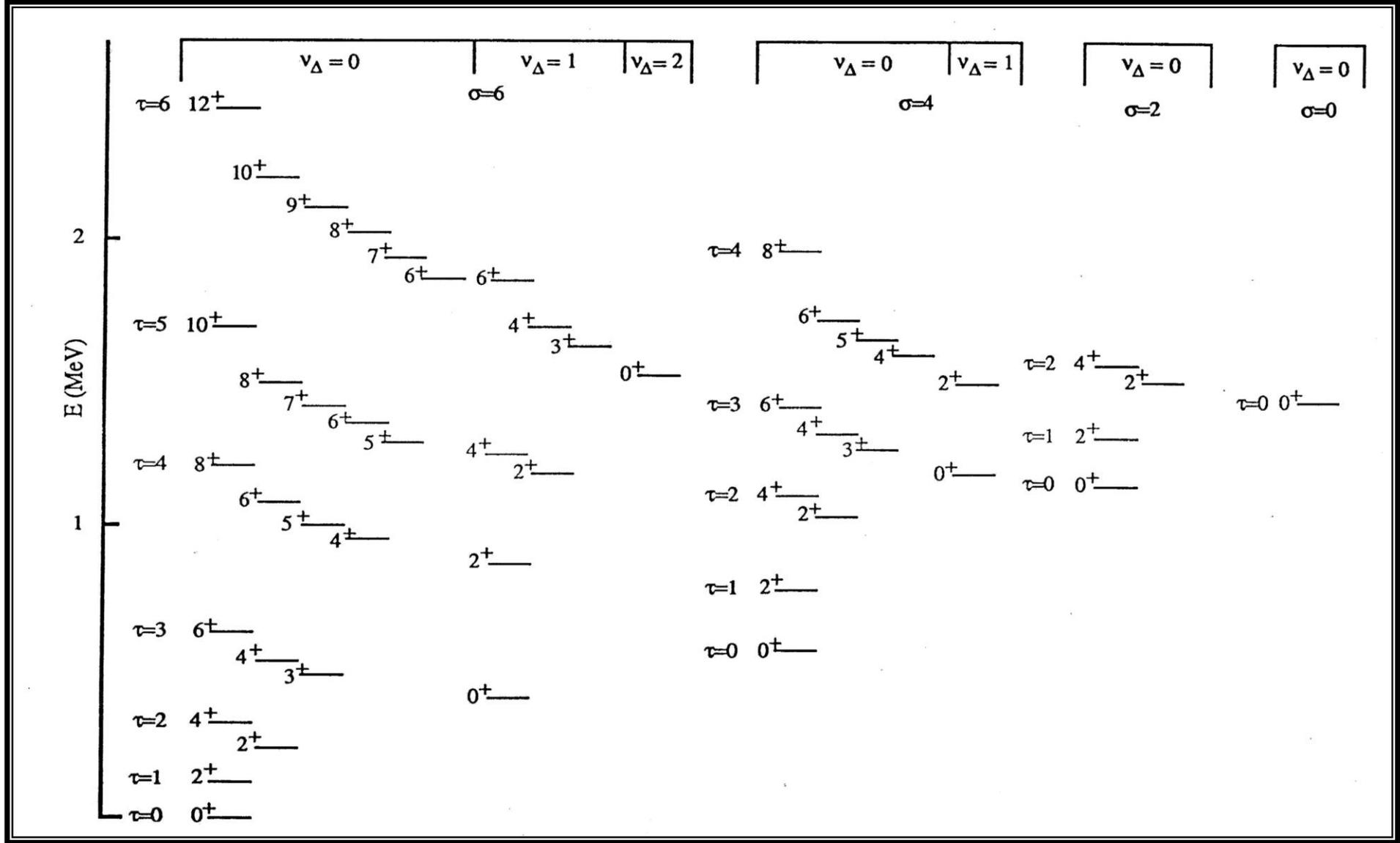
$$Q_L = 0 \dots \dots \dots (2-27)$$

٢٧)

ومن المعادلة (٢-٢٥) ممكن إيجاد النسبة <sup>(٢٩)</sup>:

$$\frac{B(E_2; 4_1^+ \rightarrow 2_1^+)}{B(E_2; 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)} = \frac{10(N-1)(N+5)}{N(N+4)} < \frac{10}{7} \dots \dots \dots (2-28)$$

٢٨)



شكل (٣-٢): الطيف النموذجي للتحديد  $O(6)$  لـ  $N=6$  مع قيم  $\sigma$  و  $v_{\Delta}$  و الزخم الزاوي لكل مستوي  $(\tau^{\sigma})$

## ٢-٤ المناطق الانتقالية في نموذج البوزونات المتفاعلة

### Transitional Regions in IBM

معظم النوى لا تتوافق مع أي من التحديدات التي ذكرت سابقاً<sup>(٣٥,٣٠,٣٣)</sup> ، لذلك فإن الهاملتون قد يكتب بدلالة مؤثرات سلسلتين وأحياناً قد يكتب بدلالة جميع المؤثرات لذلك من الممكن تقسيم النوى إلى أربعة أصناف انتقالية:

#### ١. الصنف A :

نوى هذا الصنف تمتلك خواص انتقالية بين التحديدين  $SU(5)$  و  $SU(3)$ <sup>(٣٠)</sup> ، ويكون الهاملتون لها<sup>(٣٩)</sup>:

$$H^{I-II} = \epsilon n_d + a_1 L.L + a_2 Q.Q \dots \dots \dots (٢-٢٩)$$

النسبة  $(\epsilon/a_2)$  هي التي تحدد خواص هذا الصنف إذ إنها تلعب أثراً كبيراً في السيطرة على خواص هذه المنطقة ، فعندما تكون هذه النسبة كبيرة فهذا يعني أن هذه الخواص تكون قريبة إلى التحديد الاهتزازي  $SU(5)$  . أما إذا كانت صغيرة ، فيعني أنها أقرب إلى التحديد  $SU(3)$  ، والشيء نفسه سوف يحدث بالنسبة لنسب الانتقالات الكهرومغناطيسية كالنسبة<sup>(٣٣)</sup>:

$$R = \frac{B(E2; 2_2^+ \rightarrow 0_1^+)}{B(E2; 2_2^+ \rightarrow 2_1^+)} \dots \dots \dots (٢-$$

٣٠)

والتي تتغير من  $R=0$  في  $SU(5)$  إلى  $R=7/10$  في  $SU(3)$  .

#### ٢. الصنف B :

نوى هذا الصنف تمتلك خواص انتقالية بين التحديدين  $SU(3)$  و  $O(6)$ <sup>(٢٥)</sup> ويكون الهاملتون لها<sup>(٣٣)</sup>:

$$H^{II-III} = a.p^\dagger.p + a_1 L.L + a_2 Q.Q \dots \dots \dots (٢-$$

٣١)

وكذلك هذا الصنف يعتمد في خواصه على النسبة  $(a/a_2)$  فعندما تكون كبيرة فإنه يميل إلى التحديد  $O(6)$  وعندما تكون صغيرة يميل إلى التحديد  $SU(3)$  ، أما نسبة الانتقال الكهرومغناطيسي  $R$  لهذا الصنف فإنها تأخذ قيم متوسطه ما بين  $R=0$  للتحديد  $O(6)$  و  $R=7/10$  للتحديد  $SU(3)$ <sup>(٣٣)</sup> .

#### ٣. الصنف C :

نوى هذا الصنف تمتلك خواص انتقالية بين التحديدين  $SU(5)$  و  $O(6)$ <sup>(٣٣)</sup> ، أما الهاملتون فيكون<sup>(٣٠)</sup> :

$$H^{I-III} = \epsilon n_d + a.p^\dagger.p + a_1 L.L + a_2 T_2.T_2 \dots \dots \dots (٢-$$

٣٢)

وإن النسبة  $(\epsilon/a)$  هي التي تحدد خواص هذا الصنف كما هو موضح سابقاً.

٤. الصنف D :

نوى هذا الصنف تمتلك خواص انتقالية مشتركة بين التحديدات الثلاث جميعها ويكتب الهاملتون لها بالصيغة الآتية<sup>(٣١, ٢٥)</sup>.

$$H = \epsilon n_d + a.p^\dagger.p + a_1 L.L + a_2 Q.Q + a_3 T_3.T_3 + a_4 T_4.T_4 \dots (٢-٣٣)$$

٥-٢ جهد طاقة السطح Surface Potential Energy

يمكن الحصول على طاقة جهد السطح من مؤثر دالة هاملتون على عَدّ الطاقة هي دالة لكل من العدد الكلي للبوزونات (N) وعاملي التشوه (β, γ) كما في المعادلة الآتية<sup>(٣٣, ٣)</sup> :

$$V(N, \beta, \gamma) = \frac{\langle N, \beta, \gamma | H | N, \beta, \gamma \rangle}{\langle N, \beta, \gamma | N, \beta, \gamma \rangle} \dots (٢-٣٤)$$

يمكن أن نتوصل من خلال دراسة طاقة الجهد  $V(\beta, \gamma)$  إلى معرفة شكل النوى المشوهة ، إذ يمثل  $\gamma$  مقدار الانحراف عن محور التناظر ، ويأخذ القيم ما بين ( $\gamma = 60^\circ, \gamma = 0^\circ$ ) ، في حين يمثل المتغير  $\beta$  مقدار الانحراف عن الشكل الكروي ويأخذ القيم ما بين  $(\beta = \infty, \beta = 0)$ <sup>(٣٣)</sup>.

إن المعادلات التالية تمثل طاقة السطح للتماثلات الثلاث هي :<sup>(٣٣, ٢٥)</sup>

$$E^I(N; \beta, \gamma) = \epsilon_d N \frac{\beta^2}{1 + \beta^2} \dots \text{SU}(5) \dots (٢-٣٥)$$

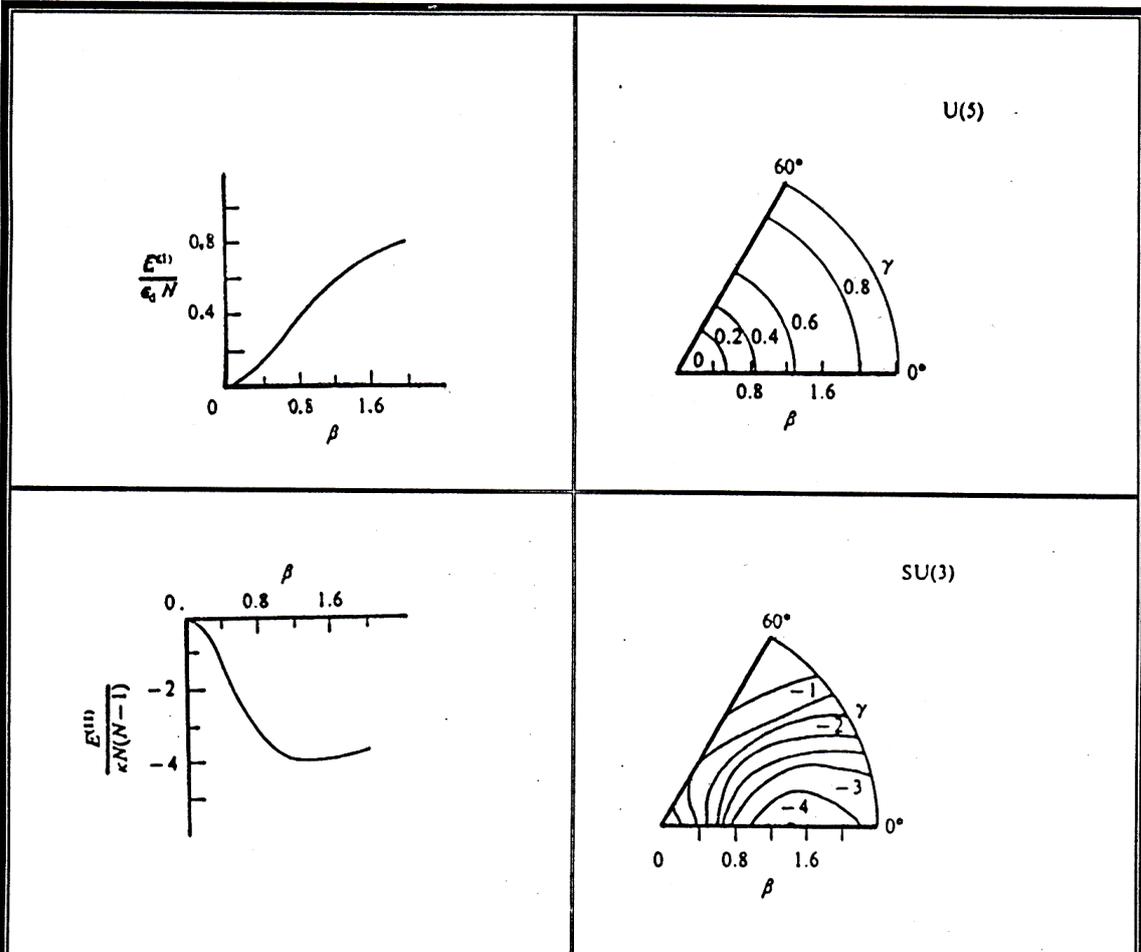
$$E^{II}(N; \beta, \gamma) = kN(N-1) \frac{1 + \frac{3}{4}\beta^4 - \sqrt{2}\beta^3 \cos 3\gamma}{(1 + \beta^2)^2} \dots \text{SU}(3) \dots (٢-٣٦)$$

$$E^{III}(N; \beta, \gamma) = k'N(N-1) \left[ \frac{1 - \beta^2}{1 + \beta^2} \right]^2 \dots \text{O}(6) \dots (٢-٣٧)$$

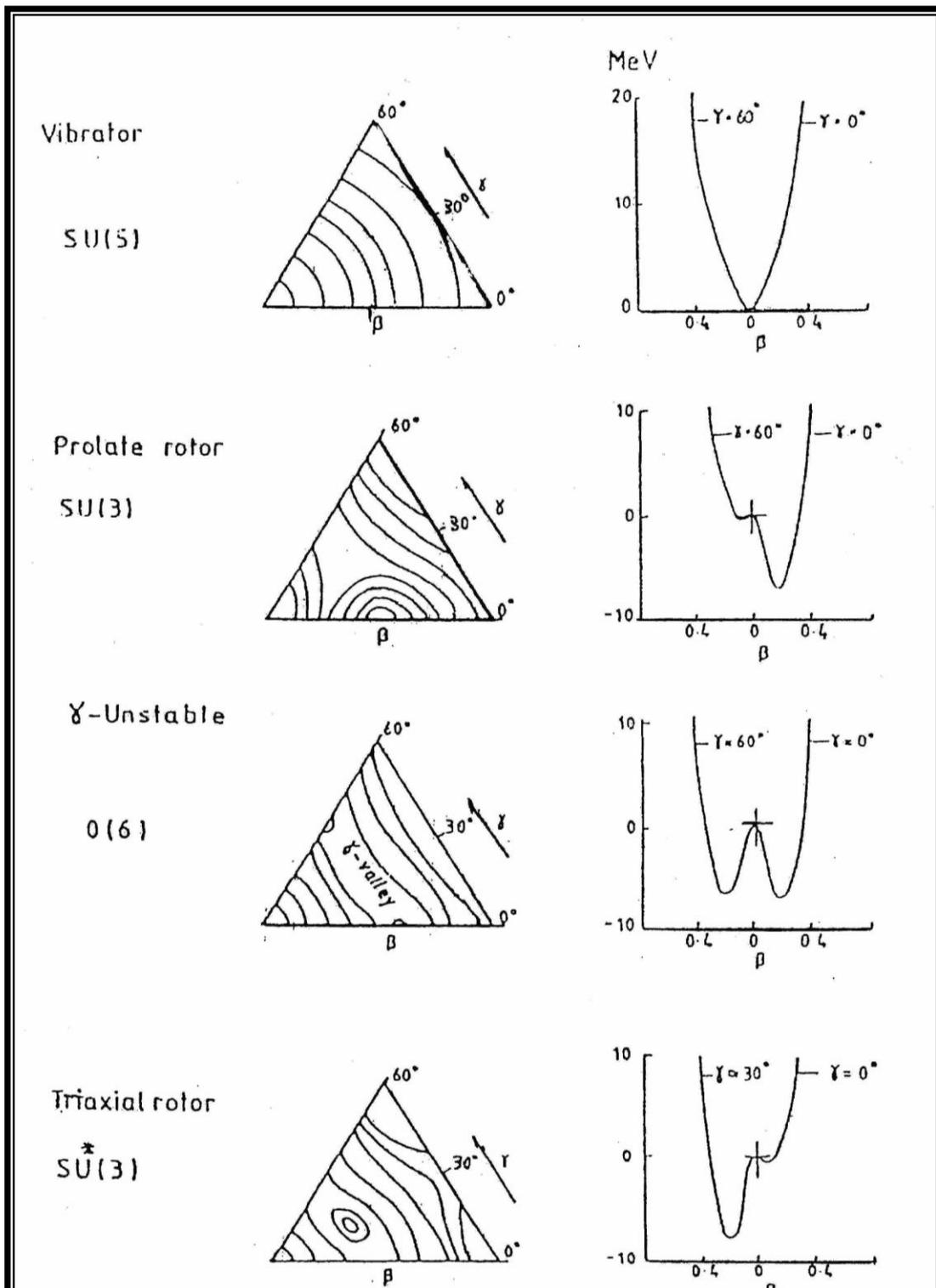
إذ يتناسب  $k$  مع  $a_2$  و  $k'$  مع  $a$ . المعرفة في المعادلة (٢٥) (٣-٢). ويوضح الشكل (٢-٤، a) رسم دالة الطاقة  $E(N; \beta, \gamma)$  بوصفها دالة للمتغير  $\beta$  لكل تحديد والشكل (٢-٤، b) رسم المخططات العامة في المستوي  $(\beta - \gamma)$  لكل تحديد (٣٣).

إن شكل النواة يتحدد بواسطة عاملي التشوه  $(\beta, \gamma)$ ، إذ تقترب قيمة  $\beta$  من الصفر للنوى الكروية (Spherical Nuclei) في حين أن قيمتها لا تساوي صفرا للنوى المشوهة (Deformed Nuclei) وعندما تكون  $(\gamma = 0^\circ)$  فإن التشوه يكون على شكل بيضوي متطاول (Prolate Shape)، وعندما تكون  $(\gamma = 60^\circ)$  فإن التشوه يكون على شكل بيضوي مفلطح (Oblate Shape).

ويمثل الشكل (٢-٥) المخطط المثالي للخطوط الكنتورية والتناظرات المحورية (٤٠).



الشكل (٢-٤-أ): رسم معادلة E بوصفها دالة للمتغير  $\beta$   
 الشكل (٢-٤-ب): رسم المخططات العامة في  $(\beta - \gamma)$





الحسابات و النتائج

*Calculations and Results*

### ١-٣ الحسابات Calculations

في دراستنا الحالية للتركيب النووي (Nuclear Structure) لنظائر الروثينيوم ( $^{98-108}\text{Ru}$ ) الزوجية - الزوجية، تم تحديد سلوك كل نظير بالاعتماد على القيم النظرية المحسوبة في برنامج IBM-1 ومقارنتها مع القيم العملية المتوفرة، إذ إن مستويات الطاقة الواطنة موجبة التماثل (Low-lying positive parity states) في نوى الروثينيوم الزوجية - الزوجية التي يقترَب فيها عدد البروتونات من القشرة المغلقة (50)، تُعد من النوى ذات الخواص الجماعية (Collective Properties) وتوصف وبشكل عام بوساطة النموذج الاهتزازي.

إن أحد أهم المفاهيم في التركيب النووي هو مفهوم التناظر (Symmetry) الذي يجب أن يحدد وبشكل دقيق لما لشكل النواة من علاقة جوهرية مؤثرة في تحديد الصفات النووية كمستويات الطاقة واحتمالية الانتقالات الكهرومغناطيسية المختزلة وعزم رباعي القطب ودالة جهد السطح.

#### ١-١-٣ حساب مستويات الطاقة

إن مستويات الطاقة العملية لنظائر الروثينيوم  $^{98}\text{Ru}$ ،  $^{100}\text{Ru}$ ،  $^{102}\text{Ru}$  تبين الطبيعة الاهتزازية لها لذا استعمل التحديد الاهتزازي  $SU(5)$ ، أما النظائر  $^{104}\text{Ru}$ ،  $^{106}\text{Ru}$ ،  $^{108}\text{Ru}$  كانت انتقالية بين التحديدين  $SU(5)$  و  $O(6)$  أي النوية يكون شكلها بين المهتز وال-  $\gamma$  غير المستقرة ( $\gamma$ -unstable)، إن قيم المعاملات التي أعطت أفضل تطابق مع القيم العملية  $(^{49-42,41})$  مبينة في الجدول (١-٣).

#### جدول (١-٣)

المعاملات المستعملة في البرنامج (IBM-Code) وبوحدات (MeV)  
لنظائر  $^{98-108}\text{Ru}$

المعاملات	النظائر					
	$^{98}\text{Ru}$	$^{100}\text{Ru}$	$^{102}\text{Ru}$	$^{104}\text{Ru}$	$^{106}\text{Ru}$	$^{108}\text{Ru}$

EPS	٠.٥٠٢٠	٠.٢٩٢١	٠.١٠٥٨	٠.٨٩٤١	١.١٧٠٣	١.٣٢٨٠
P <sup>†</sup> .P	٠	٠	٠	٠.٢٠٠٠	٠.٢٧٠٠	٠.٢٨٠٠
L.L	٠.٠١١٦	٠.٠١٨١	٠.٠١٩١	٠.٠٠٧٤	٠.٠٠٠٨	٠
Q.Q	٠	٠	٠	٠	٠	٠
T <sub>٣</sub> .T <sub>٣</sub>	٠	٠.٠٠٢٢	٠.٠٥١٣	٠.٠٨٥٥	٠.١٢٥٠	٠.١٢٥٠
T <sub>٤</sub> .T <sub>٤</sub>	٠.٠٤٤٣	٠.٠٧٦١	٠.١٠١٧	٠	٠	٠

أما القيم النظرية لطاقات المستويات المستخرجة لهذه النظائر ومقارنتها مع القيم العملية<sup>(٤٩,٤٢,٤١)</sup> موضحة بالأشكال (١-٣) إلى (٦-٣) ، وكانت متوافقة معها ، كما عُنَّ الزخم وتماتل لبعض مستويات الطاقة التي لم تُعَنَّ بصورة أكيدة وإيجاد زخم وتماتل بعض المستويات الأخرى التي لم يسبق تحديدها عملياً وتوقع مستويات طاقة جديدة وكما يأتي:

### ١. نواة <sup>٩٨</sup>Ru

حُدَّت مستوى الطاقة (١.٣ MeV) بزخم وتماتل مقداره  $0_2^+$  ، إذ لم يكن محدد عملياً<sup>(٤٩,٤٢,٤١)</sup> وكذلك تم تحديد مستوى الطاقة (١.٩ MeV) بزخم وتماتل مقداره  $3_1^+$  ، إذ إنه لم يكن مؤكداً عملياً<sup>(٤٢)</sup> ، وبذل القيمة ( $3_1^+$  ،  $4_1^+$ ) المحددة عملياً<sup>(٤٩,٤١)</sup> زيادة على تحديد مستوى جديد بطاقة (٤.١٩ MeV) تابع لزخم وتماتل مقداره  $10_1^+$  إذ لم يكن محدد عملياً<sup>(٤٢)</sup> بصورة أكيدة فضلا عن توقع مستوى جديد لطاقة (٢.٠٦ MeV) بزخم وتماتل مقداره  $2_3^+$  .

### ٢. نواة <sup>١٠٠</sup>Ru

تم تعيين مستويات الطاقة (١.٥ MeV) و (١.٩٦ MeV) و (٢.٠٦ MeV) و (٣.٠٤ MeV) و (٤.١٧ MeV) غير المحددة عملياً<sup>(٤٦,٤١)</sup> بصورة أكيدة بزخم وتماتل مقداره  $0_3^+$  ،  $3_1^+$  ،  $6_1^+$  ،  $8_1^+$  ،  $10_1^+$  على التوالي ، وحُدَّت مستوى طاقة (٣.٧ MeV) و (٤.٨ MeV) بزخم وتماتل مقداره  $8_2^+$  ،  $10_2^+$  على التوالي ، إذ لم يكن محدد عملياً<sup>(٤٦)</sup> .

### ٣. نواة <sup>١٠٢</sup>Ru

حُدَّت مستوى الطاقة (١.٧ MeV) بزخم وتماتل مقداره  $3_1^+$  بدلاً من القيمة ( $3_1^+$  ،  $4_1^+$ ) المحددة عملياً<sup>(٤٣)</sup> ، وحُدَّت مستوى الطاقة (١.٧٧ MeV) بزخم وتماتل مقداره  $4_2^+$  ، إذ لم يكن محدد عملياً<sup>(٤٣)</sup> بصورة أكيدة.

### ٤. نواة <sup>١٠٤</sup>Ru

حُدِّدَ مستوى الطاقة (1.6 MeV) و (2.5 MeV) لزخم وتمائل مقداره  $0_3^+$  ،  
على التوالي ، إذ انه لم يكن محدد عملياً<sup>(٤٥)</sup> بصورة أكيدة .

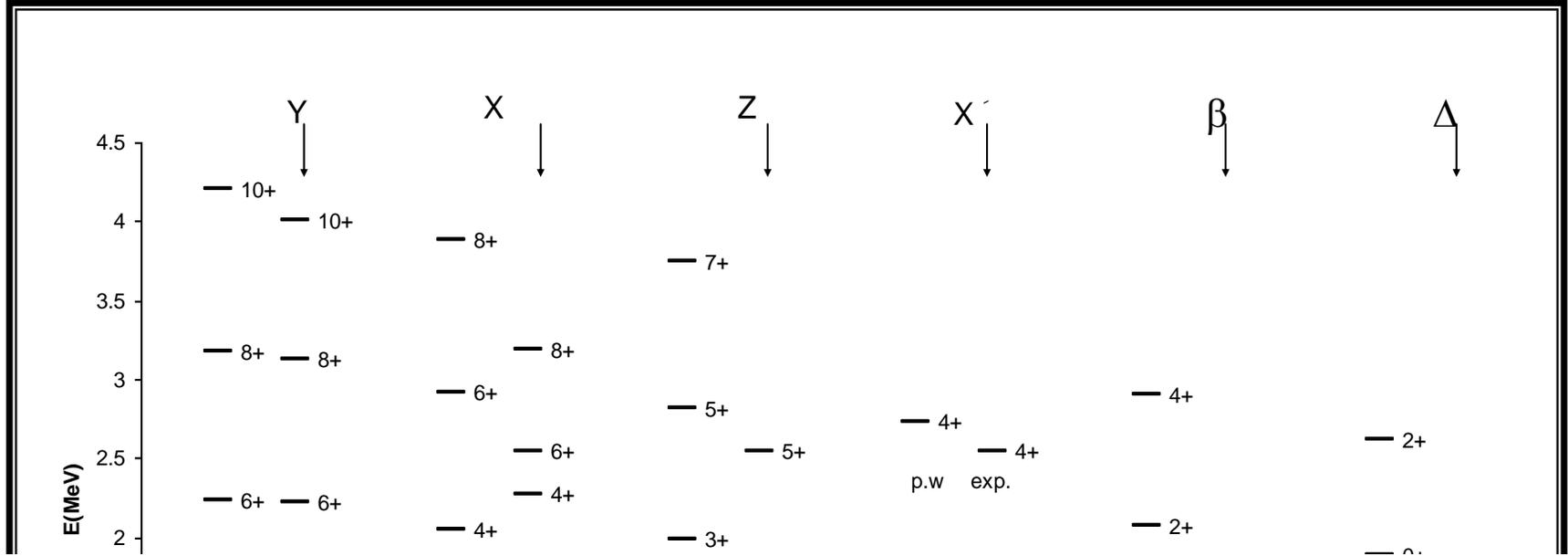
### ٥. نواة $^{106}\text{Ru}$

حُدِّدَ مستوى الطاقة (0.99 MeV) و (0.87 MeV) بزخم وتمائل مقداره  $0_2^+$  ،  
على التوالي ، إذ لم يكن محدد عملياً<sup>(٤١)</sup> بصورة أكيدة ، مع توقع مستوى جديد  
بطاقة (1.3 MeV) و (1.39 MeV) وبزخم وتمائل مقداره  $6_1^+$  ،  $2_3^+$  .

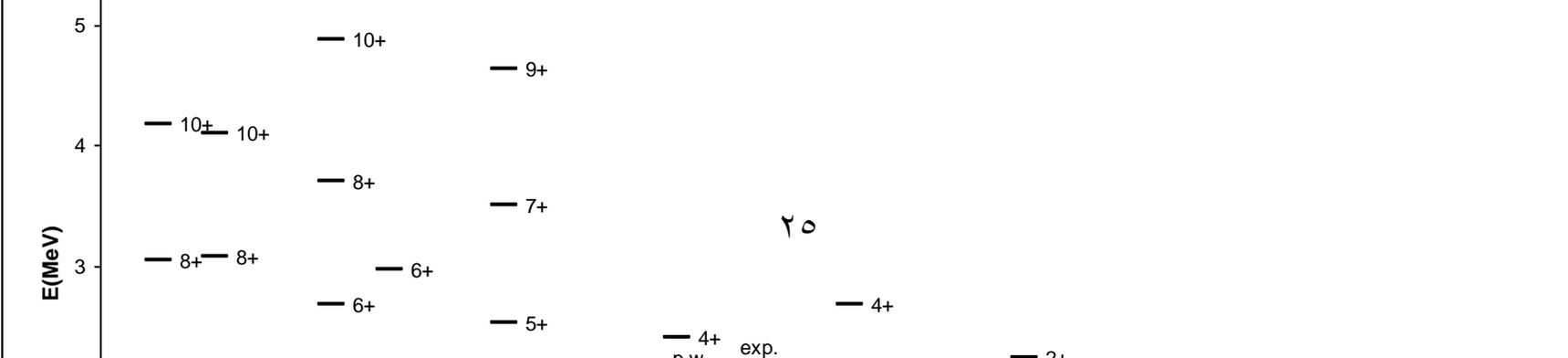
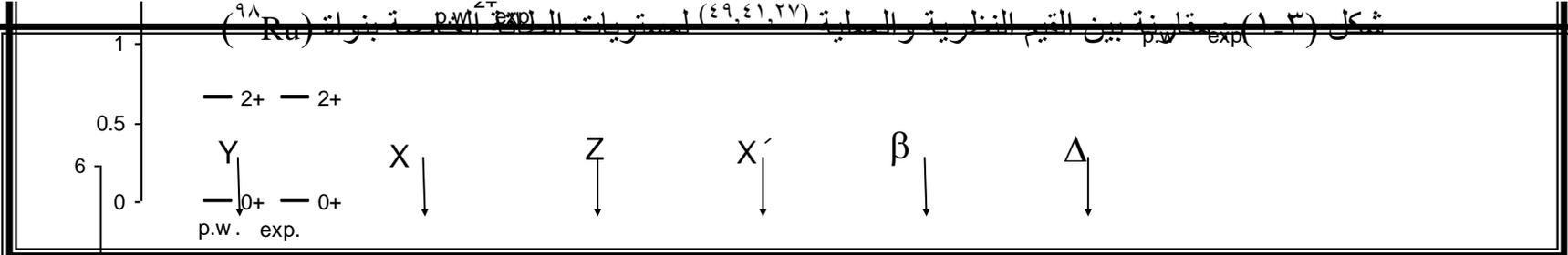
### ٦. نواة $^{108}\text{Ru}$

حُدِّدَ مستوى الطاقة (1.49 MeV) و (1.2 MeV) بزخم وتمائل مقداره  $4_2^+$  ،  
 $6_1^+$  غير المحددة عملياً<sup>(٤٨)</sup> بصورة أكيدة ، فضلا عن تحديد مستوى الطاقة  
(1.96 MeV) و (2.8 MeV) بزخم وتمائل مقداره  $8_1^+$  ،  $10_1^+$  إذ لم يكن محدد  
عملياً<sup>(٤٨,١١)</sup> .

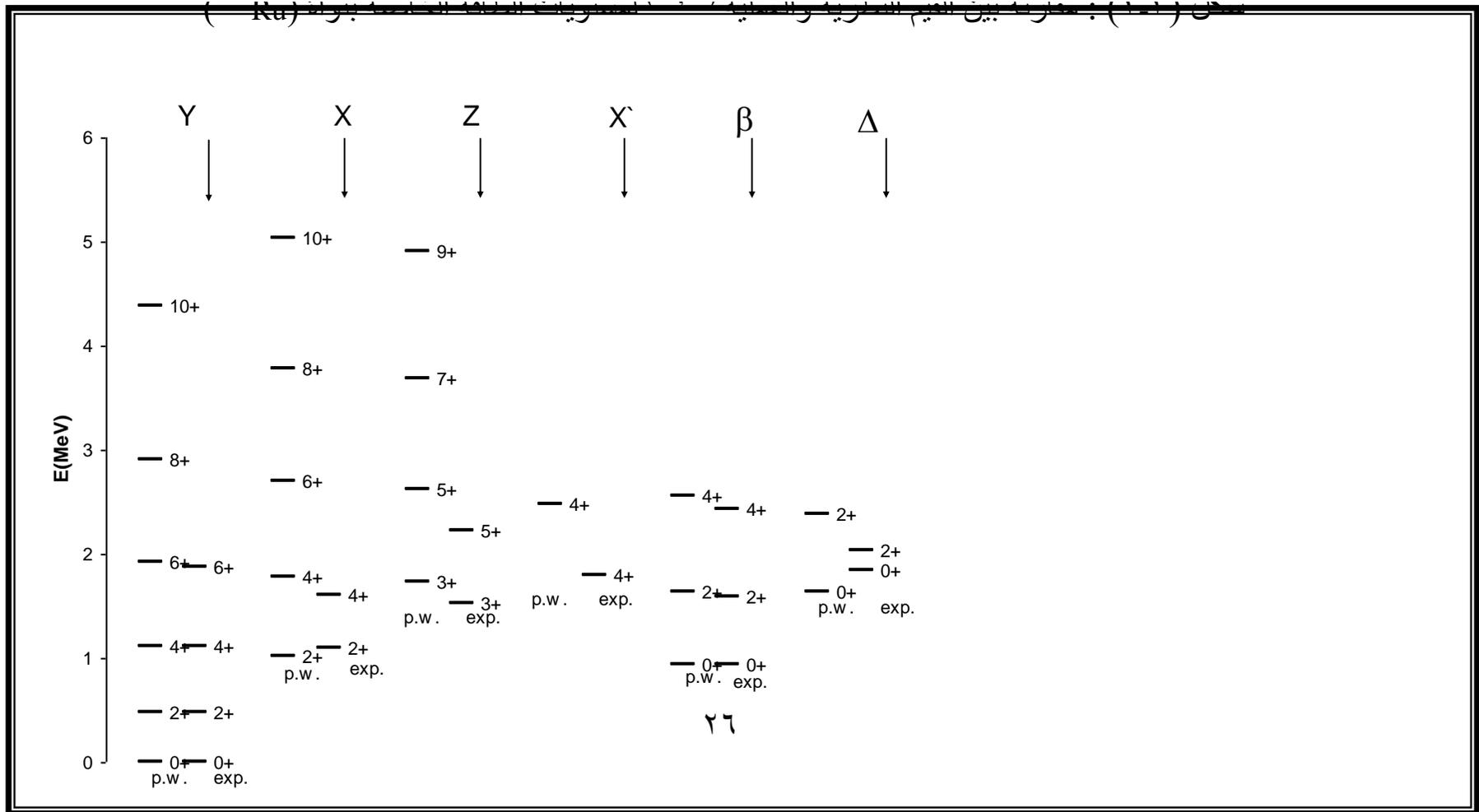
وَحُسِبَت قيم نسب الطاقات  $(E_{0_2^+}/E_{2_1^+})$  و  $(E_{4_1^+}/E_{2_1^+})$  و  $(E_{6_1^+}/E_{2_1^+})$   
و  $(E_{8_1^+}/E_{2_1^+})$  لنوى الروثينيوم (98-108) ، إذ تم مقارنتها مع ما يقابلها من القيم  
العملية<sup>(٤٩,٤٢,٤١,١١)</sup> ، إضافة إلى تثبيت القيم النموذجية لكل تحديد والموضحة  
بالأشكال من (٧-٣) إلى (١٠-٣) ، علما أن القيم النموذجية للتحديد الاهتزازي  
SU(٥) كانت (٤,٣,٢,٢) وللتحديد الدوراني SU(٣)  $(2, >> 3.33, 7, 12)$  وللتحديد  
 $\gamma$  غير المستقرة ( $\gamma$ -unstable) O(٦) (٧, ٤.٥, ٢.٥, ٤.٥) على التوالي<sup>(٢٨,٢٥)</sup> .



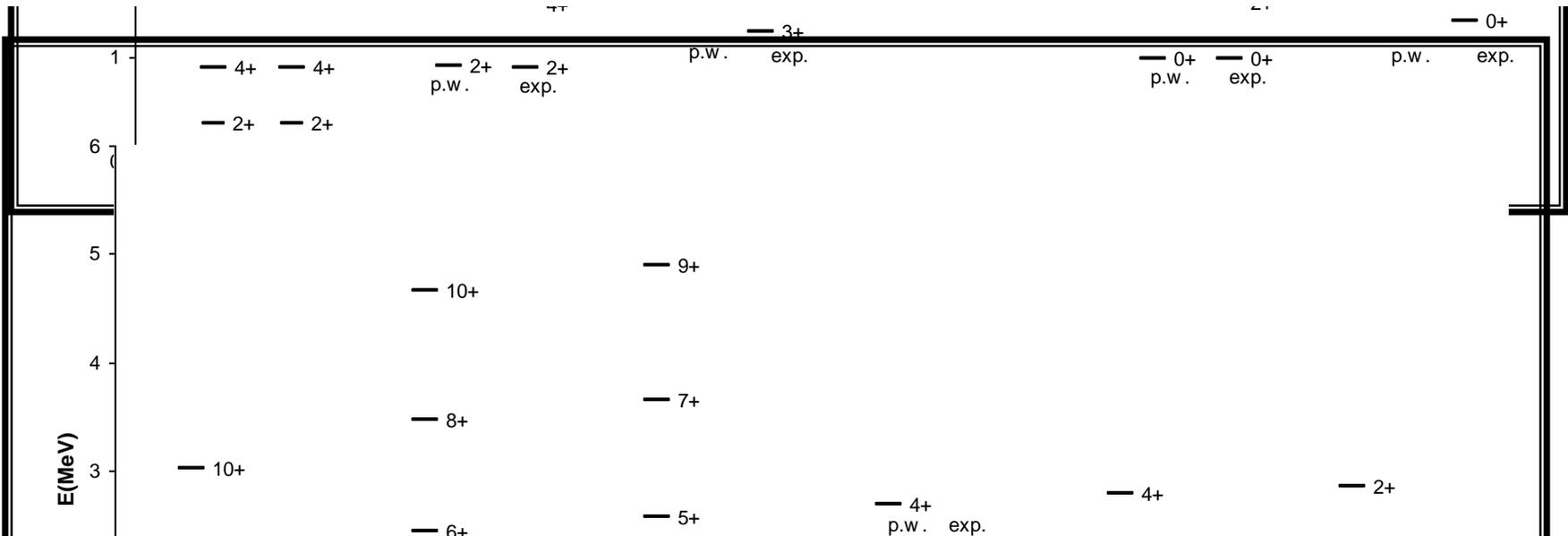
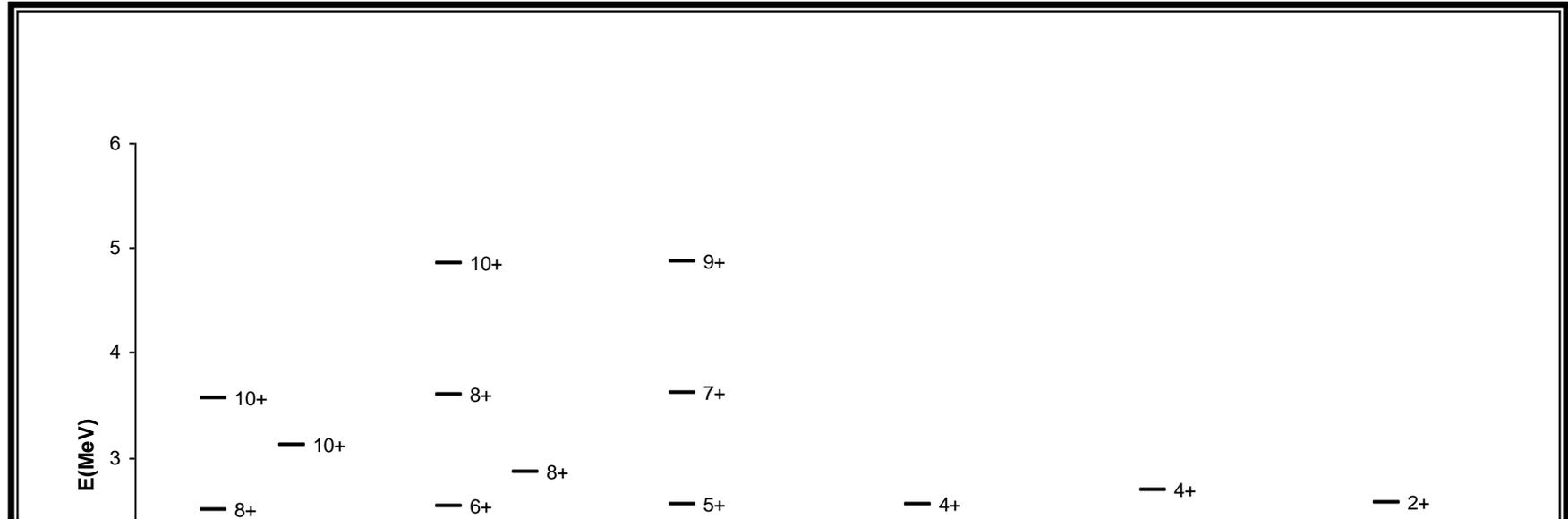
شكل (١-٣) مقارنة بين القيم النظرية والسليية (٤٩.٤١.٢٧) المستويات الـ p.w. exp. لـ  $^{98}\text{Ru}$  بنواة



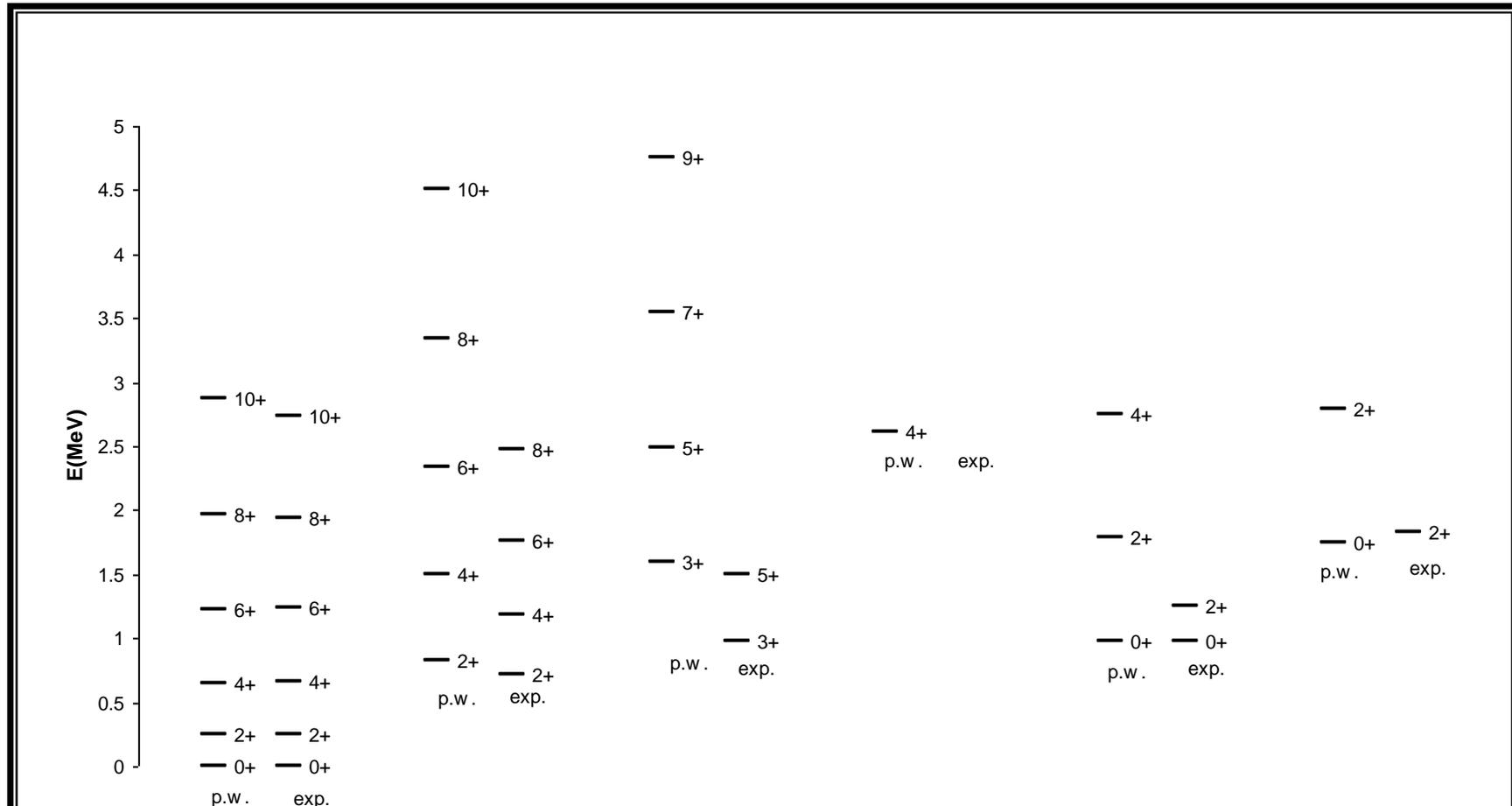
شكل (٤٤) : مقارنة بين القيم النظرية والحالية / مستويات الطاقة المحسوبة بواسطة برنامج (Ru)



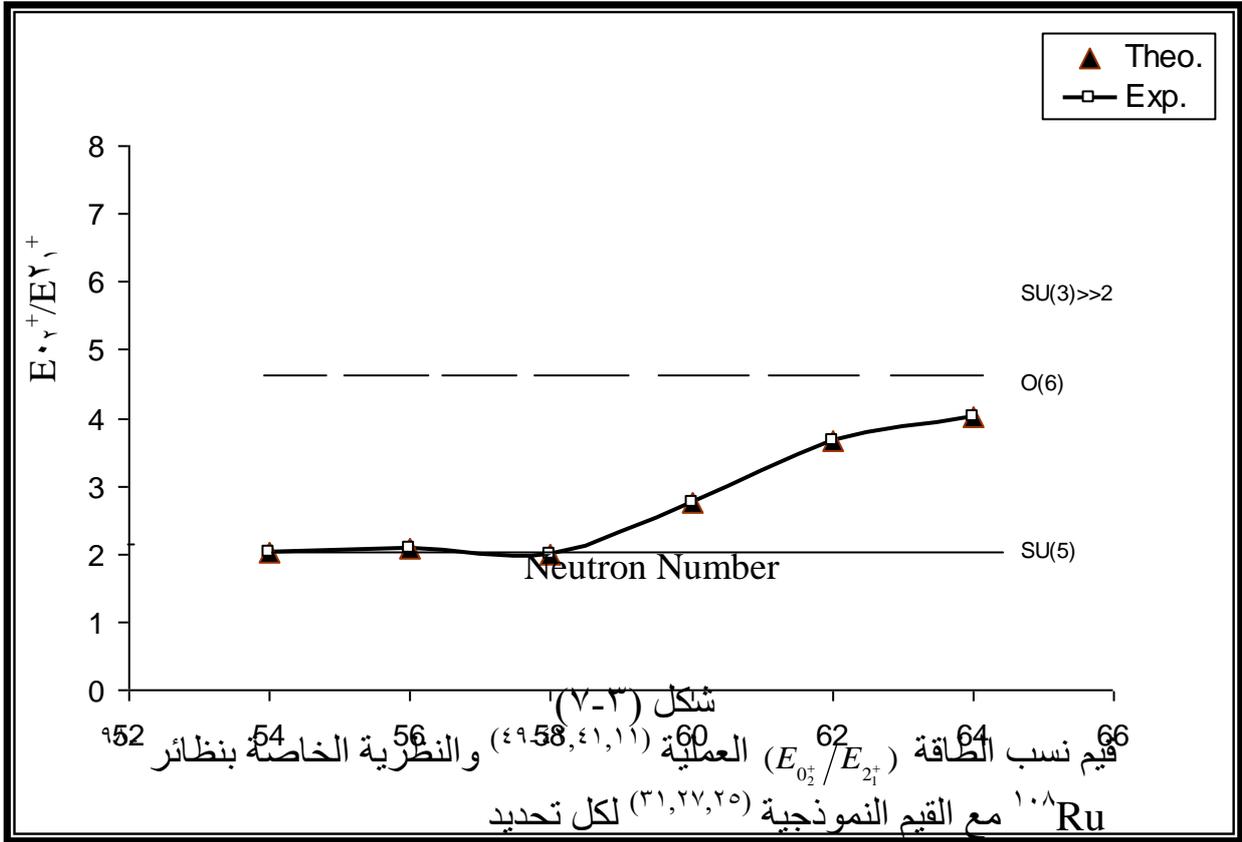
سحل ( ١-١ ) : مقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ( Ru )

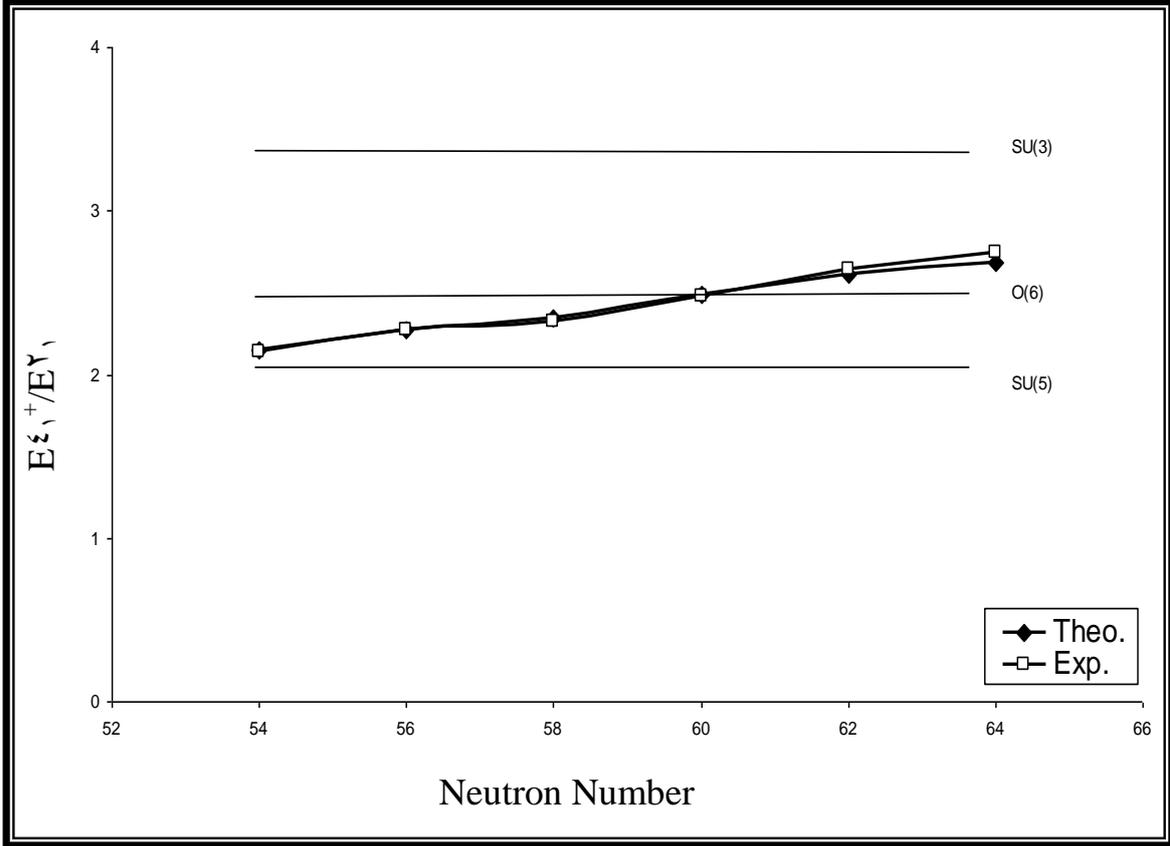


سحل ( ١-٥ ) : مقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة الخاصة بنواة (Ru)

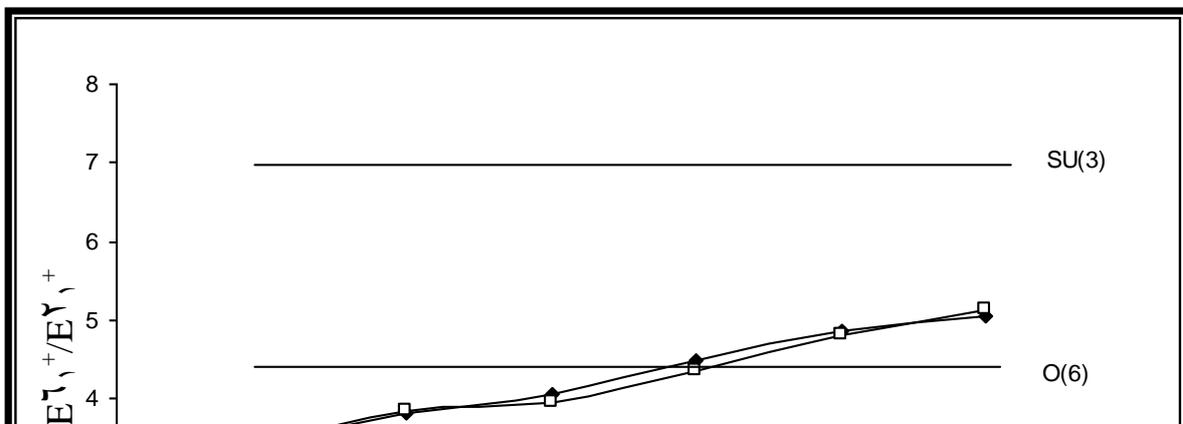


شكل (٦-٣) : مقارنة بين القيم النظرية والعملية ( $^{48,41,11}$ ) لمستويات الطاقة الخاصة بنواة ( $^{108}\text{Ru}$ )

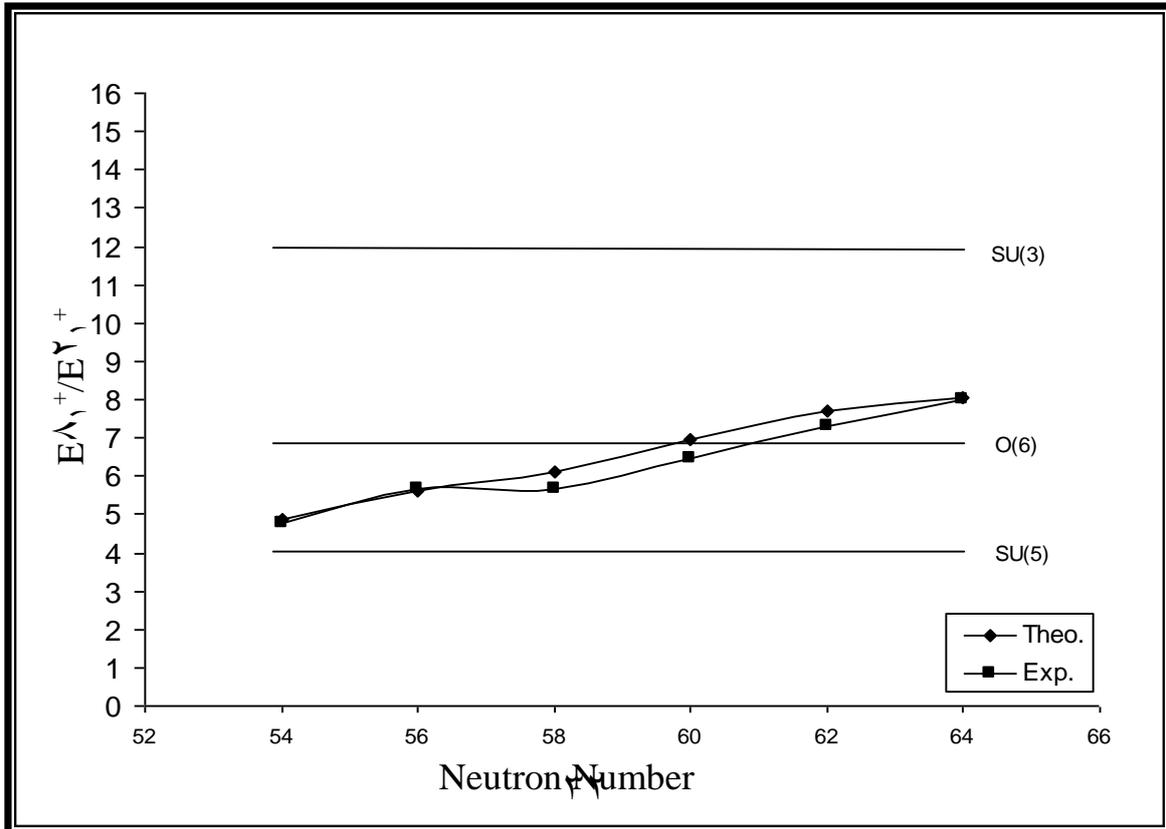




شكل (٨-٣) قيم نسب الطاقة  $(E_{4+}/E_{2+})$  العملية  $(\epsilon^9-\epsilon^2, \epsilon^1, 11)$  والنظرية الخاصة بنظائر  ${}^{98-108}\text{Ru}$  مع القيم النموذجية  $(\epsilon^1, \epsilon^2, \epsilon^5)$  لكل تحديد



شكل (٩-٣) قيم نسب الطاقة ( $E_{6_1^+}/E_{2_1^+}$ ) العملية ( $^{49-42,41,11}$ ) والنظرية الخاصة بنظائر  $^{98-108}\text{Ru}$  مع القيم النموذجية ( $^{31,27,25}$ ) لكل تحديد.



شكل (١٠-٣) قيم نسب الطاقة ( $E_{8_1^+}/E_{2_1^+}$ ) العملية ( $^{98-108}\text{Ru}$ ) والنظرية الخاصة بنظائر مع القيم النموذجية ( $^{34,27,25}$ ) لكل تحديد.

### ٢-١-٣ حساب القيم المختزلة لاحتمالية الانتقال الكهربائي رباعي القطب

#### B(E٢)

من أجل حساب احتمالية الانتقالات الكهربائية رباعية القطب باستعمال برنامج (IBMT-١) تطلب الأمر منا تحديد قيم ( $\beta_2, \alpha_2$ ) في المعادلة (٢-٥).

ففي حساباتنا الحالية حُدِّثَت المعلومات بالاعتماد على القيم العملية للانتقالات B(E٢;  $2_1^+ \rightarrow 0_1^+$ ) بشكل رئيسي إذ استعملت المعاملات E٢SD و E٢DD ، والتي كانت تساوي:

$$E٢SD = \alpha_2 \dots\dots\dots (٣-١)$$

$$E٢DD = \sqrt{5}\beta_2 \dots\dots\dots (٣-٢)$$

يمكن إيجاد قيمة معادلة (٢-١٠) بعد حساب قيمة  $B(E٢)\downarrow$  من المعادلة الآتية<sup>(٥٠)</sup>:

$$B(E٢)\downarrow = \frac{56.57}{E_\gamma^5 t_{1/2} [1 + \alpha_{tot}]} (e^2 b^2) \dots\dots\dots (٣-٣)$$

إذ إن  $E_\gamma$  تمثل طاقة انتقال أشعة كما بوحدة (keV) وتمثل  $t_{1/2}(\text{Exp})$  عمر النصف للمستوي  $2_1^+$  ، أما  $\alpha_{tot}$  فتمثل معامل التحول الداخلي الكلي (Total Internal Conversion Coefficient) وحُصل عليها من الجداول<sup>(٥١)</sup> أو من العلاقة الآتية<sup>(٥٠)</sup>:

$$B(E٢)\downarrow = B(E٢)\uparrow \times g \dots\dots\dots (٣-٤)$$

استعملت قيمة  $B(E٢)\uparrow$  للمستوي  $2_1^+$  من الجداول<sup>(٥٢)</sup> إذ أن:

$$g = (2 I_f + 1) / (2 I_i + 1) \dots\dots\dots (٣-٥)$$

إذ إن  $I_f$  و  $I_i$  يمثلان الزخم الزاوي للمستوي الابتدائي والنهائي على التوالي أما الجدول (٢-٣) يوضح قيم B(E٢) و E٢SD ، E٢DD المستعملة في البرنامج

وان قيم  $B(E2)$  النظرية التي حصلنا عليها من خلال استعمال برنامج (IBMT-1) لنظائر الروثينيوم  $^{98-108}\text{Ru}$ ، فقد وضحت في الجدول من (3-3) إلى (8-3). وأما الشكل (3-11) يوضح مقارنة بين القيم النظرية والعملية لاحتمالية الانتقال الكهربائي  $(^{54,53,50})$   $B(E2; e^2 b^2 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ .

جدول (3-2)  
قيم  $B(E2)$  و  $E2SD$  و  $E2DD$  لنظائر  $^{98-108}\text{Ru}$  المستعملة في البرنامج (IBMT – Code)

النظائر	المعاملات		
	$B(E2; e^2 b^2 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$	$E2SD(\text{eb})$	$E2DD(\text{eb})$
$^{98}\text{Ru}$	0.0868	0.1318	- 0.0922
$^{100}\text{Ru}$	0.1141	0.1379	- 0.0965
$^{102}\text{Ru}$	0.1265	0.1344	- 0.0941
$^{104}\text{Ru}$	0.1685	0.1451	- 0.1016
$^{106}\text{Ru}$	0.1880	0.1445	- 0.1012
$^{108}\text{Ru}$	0.1995	0.1412	- 0.0989

جدول (٣-٣)  
قيم  $B(E2)$  النظرية لنظير  $^{98}\text{Ru}$  المستخرجة باستعمال البرنامج  
(IBMT – Code) والقيم العملية المقابلة لها  $(^{53},^{50})$

$i \rightarrow f$	$B(E2) \downarrow e^2 b^2$	
	القيم النظرية	القيم العملية
$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	٠.٠٨٦٨	٠.٠٨٨٠ $(^{50},^{53})$
$2_1^+ \rightarrow 0_2^+$	٠.٠٢٧٨	-
$2_2^+ \rightarrow 0_2^+$	٠.٠٠٦٨	-
$2_2^+ \rightarrow 0_3^+$	٠.٠٣١٣	-
$2_3^+ \rightarrow 0_2^+$	٠.٠٧٢٩	-
$2_3^+ \rightarrow 0_3^+$	٠.٠٠٢٩	-
$2_4^+ \rightarrow 0_3^+$	٠.٠٥٠٩	-
$2_1^+ \rightarrow 2_2^+$	٠.١٣٨٩	-
$2_2^+ \rightarrow 2_1^+$	٠.١٣٨٩	٠.١٣٠٠ $(^{50})$
$2_2^+ \rightarrow 2_3^+$	٠.٠٢٩٨	-
$2_3^+ \rightarrow 2_2^+$	٠.٠٢٩٨	-
$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	٠.١٣٨٩	٠.١١٢٥ $(^{50})$
$4_1^+ \rightarrow 2_2^+$	٠.٠٠٢٨	-
$4_1^+ \rightarrow 2_3^+$	٠.٠٢٩٨	-
$4_2^+ \rightarrow 2_2^+$	٠.٠٨١٩	-
$4_2^+ \rightarrow 2_3^+$	٠.٠٠٧٦	-

جدول (٤-٣)  
قيم  $B(E2)$  النظرية لنظير  $^{100}\text{Ru}$  المستخرجة باستعمال البرنامج  
(IBMT – Code) والقيم العملية المقابلة لها  $(^{53},^{50})$

$i \rightarrow f$	$B(E2) \downarrow e^2 b^2$	
	القيم النظرية	القيم العملية
$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	٠.١١٤١	٠.١١٠٠ (٥٠, ٥٣)
$2_1^+ \rightarrow 0_2^+$	٠.٠٣٨٠	٠.٠٧٢٥ (٥٠)
$2_2^+ \rightarrow 0_2^+$	٠.٠٠٧٥	-
$2_2^+ \rightarrow 0_3^+$	٠.٠٤٥٦	-
$2_3^+ \rightarrow 0_2^+$	٠.١٠٦٥	-
$2_3^+ \rightarrow 0_3^+$	٠.٠٠٣٢	-
$2_4^+ \rightarrow 0_3^+$	٠.٠٨٣٧	-
$2_1^+ \rightarrow 2_2^+$	٠.١٩٠١	-
$2_2^+ \rightarrow 2_1^+$	٠.١٩٠١	٠.٠٥٧٥ (٥٠)
$2_2^+ \rightarrow 2_3^+$	٠.٠٤٣٥	-
$2_3^+ \rightarrow 2_2^+$	٠.٠٤٣٥	-
$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	٠.١٩٠١	٠.١٦٧٥ (٥٠)
$4_1^+ \rightarrow 2_2^+$	٠.٠٠٣٠	-
$4_1^+ \rightarrow 2_3^+$	٠.٠٤٣٥	-
$4_2^+ \rightarrow 2_2^+$	٠.١١٩٥	-
$4_2^+ \rightarrow 2_3^+$	٠.٠٠٨٤	-

جدول (٥-٣)  
قيم  $B(E2)$  النظرية لنظير  $^{102}\text{Ru}$  المستخرجة باستعمال البرنامج  
IBMT - Code والقيم العملية المقابلة لها (٥٣, ٥٠)

$i \rightarrow f$	$B(E2) \downarrow e^2 b^2$
-------------------	----------------------------

	القيم النظرية	القيم العملية
$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	٠.١٢٦٥	٠.١٢٠٠ <sup>(٥٠,٥٣)</sup>
$2_1^+ \rightarrow 0_2^+$	٠.٠٤٣٤	٠.٠٧٠٠ <sup>(٥٠)</sup>
$2_2^+ \rightarrow 0_2^+$	٠.٠٠٧١	-
$2_2^+ \rightarrow 0_3^+$	٠.٠٥٤٢	-
$2_3^+ \rightarrow 0_2^+$	٠.١٢٦٥	-
$2_3^+ \rightarrow 0_3^+$	٠.٠٠٣٠	-
$2_4^+ \rightarrow 0_3^+$	٠.٠٠٩٦	-
$2_1^+ \rightarrow 2_2^+$	٠.٢١٦٩	-
$2_2^+ \rightarrow 2_1^+$	٠.٢١٦٩	٠.٠٧٠٠ <sup>(٥٠)</sup>
$2_2^+ \rightarrow 2_3^+$	٠.٠٥١٦	-
$2_3^+ \rightarrow 2_2^+$	٠.٠٥١٦	-
$2_4^+ \rightarrow 2_3^+$	٠.١٨٥٩	-
$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	٠.٢١٦٩	٠.١٩٧٥ <sup>(٥٠)</sup>
$4_1^+ \rightarrow 2_2^+$	٠.٠٠٢٩	-
$4_1^+ \rightarrow 2_3^+$	٠.٠٥١٦	-
$4_2^+ \rightarrow 2_2^+$	٠.١٤٢٠	-
$4_2^+ \rightarrow 2_3^+$	٠.٠٠٨٠	-
$4_3^+ \rightarrow 2_3^+$	٠.١٨٥٩	-

جدول (٦-٣)  
قيم  $B(E2)$  النظرية لنظير  $^{104}\text{Ru}$  المستخرجة باستعمال البرنامج  
IBMT - Code والقيم العملية المقابلة لها <sup>(٥٣,٥٠)</sup>

$i \rightarrow f$	$B(E2) \downarrow e^2 b^2$
-------------------	----------------------------

	القيم النظرية	القيم العملية
$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	٠.١٦٨٥	٠.١٦٨٢ <sup>(٥٠,٥٣)</sup>
$2_1^+ \rightarrow 0_2^+$	٠.٠٥٩٠	٠.٠٦٢٥ <sup>(٥٠)</sup>
$2_2^+ \rightarrow 0_2^+$	٠.٠٠٨٣	-
$2_2^+ \rightarrow 0_3^+$	٠.٠٧٥٨	-
$2_3^+ \rightarrow 0_2^+$	٠.١٧٧٠	-
$2_3^+ \rightarrow 0_3^+$	٠.٠٠٣٥	-
$2_4^+ \rightarrow 0_3^+$	٠.١٥٤٥	-
$2_1^+ \rightarrow 2_2^+$	٠.٢٩٤٩	-
$2_2^+ \rightarrow 2_1^+$	٠.٢٩٤٩	٠.١١٢٥ <sup>(٥٠)</sup>
$2_2^+ \rightarrow 2_3^+$	٠.٠٧٢٢	-
$2_3^+ \rightarrow 2_2^+$	٠.٠٧٢٢	-
$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	٠.٢٩٤٩	٠.٢١٠٠ <sup>(٥٠)</sup>
$4_1^+ \rightarrow 2_2^+$	٠.٠٠٣٤	-
$4_1^+ \rightarrow 2_3^+$	٠.٠٧٢٢	-
$4_2^+ \rightarrow 2_2^+$	٠.١٩٨٦	-
$4_2^+ \rightarrow 2_3^+$	٠.٠٠٩٣	-

جدول (٧-٣)  
قيم  $B(E2)$  النظرية لنظير  $^{106}\text{Ru}$  المستخرجة باستعمال البرنامج  
IBMT - Code والقيم العملية المقابلة لها<sup>(٥٠)</sup>

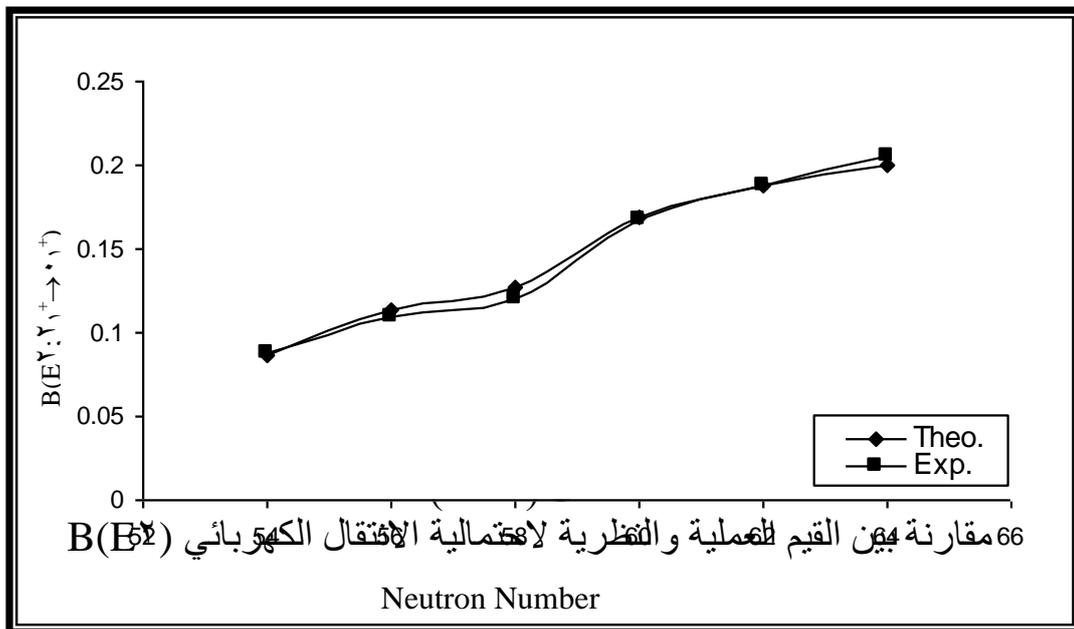
$i \rightarrow f$	$B(E2) \downarrow e^2 b^2$	
	القيم النظرية	القيم العملية

$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	٠.١٨٧٩	٠.١٨٨٠ <sup>(٥٠)</sup>
$2_1^+ \rightarrow 0_2^+$	٠.٠٦٦٨	-
$2_2^+ \rightarrow 0_2^+$	٠.٠٠٨٢	-
$2_2^+ \rightarrow 0_3^+$	٠.٠٨٧٧	-
$2_3^+ \rightarrow 0_2^+$	٠.٢٠٤٦	-
$2_3^+ \rightarrow 0_3^+$	٠.٠٠٣٥	-
$2_4^+ \rightarrow 0_3^+$	٠.١٨٣٧	-
$2_1^+ \rightarrow 2_2^+$	٠.٣٣٤١	-
$2_2^+ \rightarrow 2_1^+$	٠.٣٣٤١	-
$2_2^+ \rightarrow 2_3^+$	٠.٠٨٣٥	-
$2_3^+ \rightarrow 2_2^+$	٠.٠٨٣٥	-
$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	٠.٣٣٤١	-
$4_1^+ \rightarrow 2_2^+$	٠.٠٠٣٣	-
$4_1^+ \rightarrow 2_3^+$	٠.٠٨٣٥	-
$4_2^+ \rightarrow 2_2^+$	٠.٢٢٩٧	-
$4_2^+ \rightarrow 2_3^+$	٠.٠٠٩٢	-

جدول (٨-٣)  
قيم  $B(E2)$  النظرية لنظير  $^{108}\text{Ru}$  المستخرجة باستعمال البرنامج  
IBMT - Code والقيم العملية المقابلة لها<sup>(٥٣)</sup>

$i \rightarrow f$	$B(E2) \downarrow e^2b^2$	
	القيم النظرية	القيم العملية
$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	٠.١٩٩٥	٠.٢٠٦٠ <sup>(٥٣)</sup>
$2_1^+ \rightarrow 0_2^+$	٠.٠٧١٨	-

$2_2^+ \rightarrow 0_2^+$	٠.٠٠٧٨	-
$2_2^+ \rightarrow 0_3^+$	٠.٠٩٥٧	-
$2_3^+ \rightarrow 0_2^+$	٠.٢٢٣٤	-
$2_3^+ \rightarrow 0_3^+$	٠.٠٠٣٤	-
$2_4^+ \rightarrow 0_3^+$	٠.٢٠٤٨	-
$2_1^+ \rightarrow 2_2^+$	٠.٣٥٩٠	-
$2_2^+ \rightarrow 2_1^+$	٠.٣٥٩٠	-
$2_2^+ \rightarrow 2_3^+$	٠.٠٩١٢	-
$2_3^+ \rightarrow 2_2^+$	٠.٠٩١٢	-
$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	٠.٣٥٩٠	-
$4_1^+ \rightarrow 2_2^+$	٠.٠٠٣٢	-
$4_1^+ \rightarrow 2_3^+$	٠.٠٩١٢	-
$4_2^+ \rightarrow 2_2^+$	٠.٢٥٠٨	-
$4_2^+ \rightarrow 2_3^+$	٠.٠٠٨٨	-



يبين الشكل (٣-١٢) قيم نسب الانتقالات الكهربائية رباعية القطب ( $R'', R', R$ ) لظواهر  $B(E2)$  لنظائر  $^{108-110}\text{Ru}$  التي تعرف على إنها النسبة بين احتمالية انتقالين كهربائيين رباعي القطب أحدهما قويا والآخر ضعيفا , والغاية من إيجاد هذه النسبة هو دراسة شكل النواة والتناظر الديناميكي الذي تنتمي إليه النظائر قيد الدراسة إذ إن :

$$R = \frac{B(E2 : 4_1^+ \rightarrow 2_1^+)}{B(E2 : 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)} \dots\dots\dots (3-6)$$

$$R' = \frac{B(E2 : 2_2^+ \rightarrow 2_1^+)}{B(E2 : 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)} \dots\dots\dots (3-7)$$

$$R'' = \frac{B(E2 : 0_2^+ \rightarrow 2_1^+)}{B(E2 : 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)} \dots\dots\dots (3-8)$$

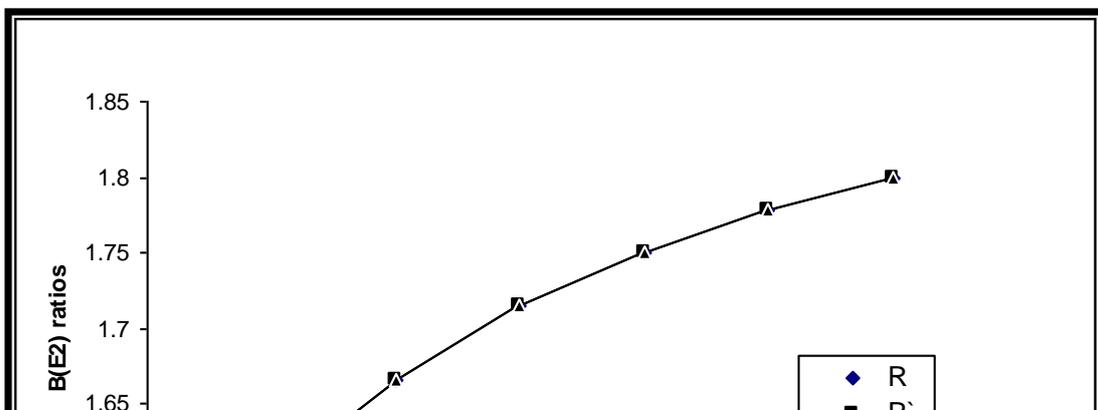
وتكون للتحديدات الثلاثة كالاتي:

$$R=R'= R''= 2[(N-1)/N] \rightarrow SU(5) \dots\dots\dots (3-9)$$

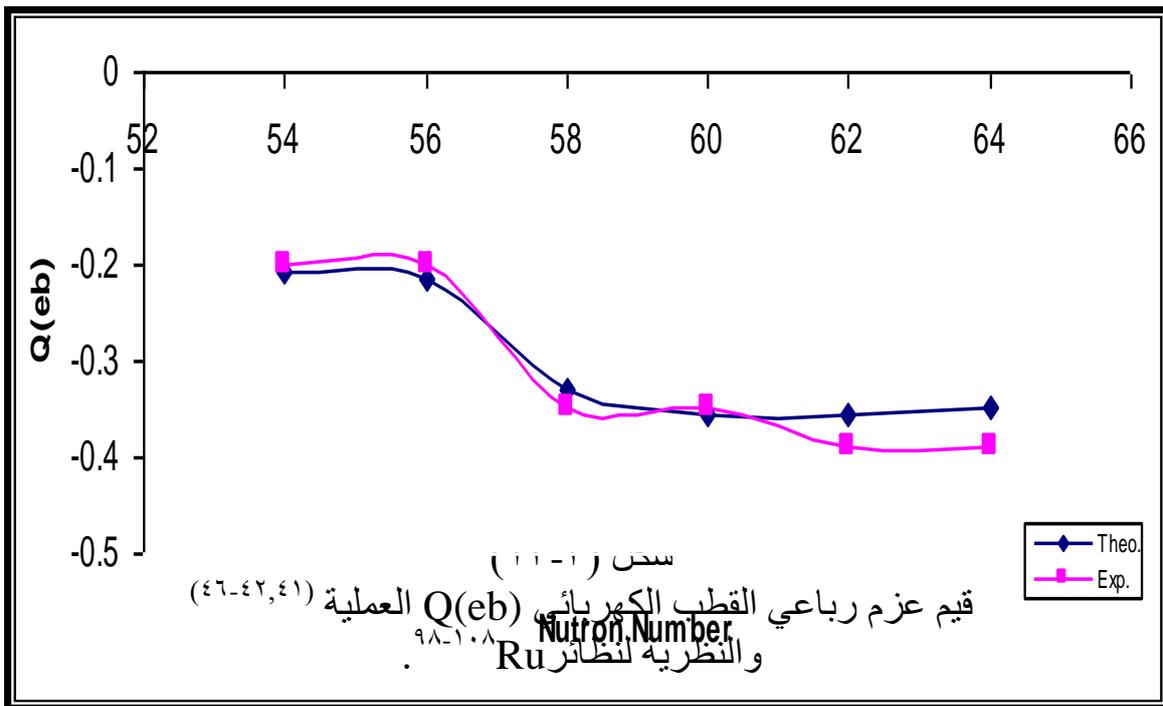
$$R = \frac{10(N-1)(2N+5)}{7N(2N+3)} \approx 1.4 , R' = R'' = 0 \rightarrow SU(3) \dots\dots\dots (3-10)$$

$$R = R' = \frac{10(N-1)(N+5)}{7N(N+4)} \approx 1.4 , R'' = 0 \rightarrow O(6) \dots\dots\dots (3-11)$$

وأما عزم رباعي القطب الكهربائي (Q) هو خاصية أخرى من الخواص التي تمتلكها النوى , ويعرف على انه الانحراف (deviation) عن التوزيع الكروي المتناظر للشحنة الكهربائية داخل النواة ويمكن إن يعطينا فكرة عن شكل النواة ، هل شكلها كروي أم إن لها أشكال أخرى , والشكل (٣-١٣) يوضح عزم رباعي القطب الكهربائي للمستوي  $2_1^+$  مع المقارنة بما يقابلها من القيم العملية الخاصة بكل نظير (٤٦-٤٢,٤١).



الشكل (٣-١٢) قيم نسب الانتقالات الكهربائية المختزلة R', R'', R لنظائر <sup>98-108</sup>Ru



### ٣-١-٣ دراسة جهد طاقة السطح Surface Potential Energy

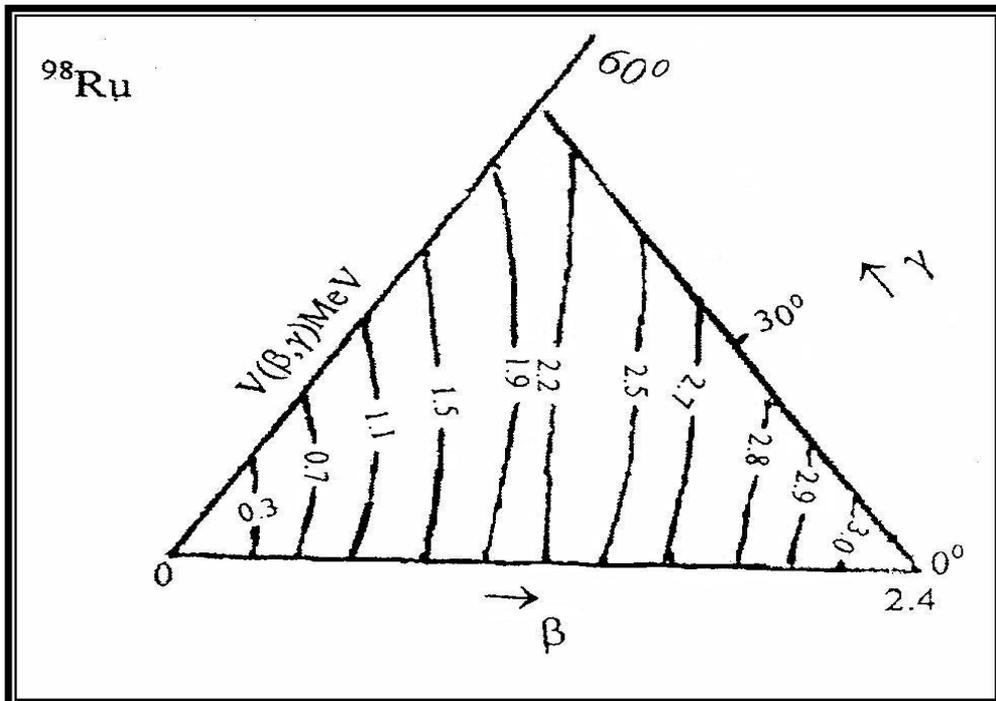
إن طاقة جهد السطح تعطي الشكل النهائي للنواة التي تتوافق مع دالة هاملتون<sup>(٥٥)</sup> ، وبدلالة المتغيرين  $\beta$  و  $\gamma$  إذ تمثل  $\beta$  ابتعاد جهد معين عن الجهد الكروي للنوية وهي مقياس للتشوه الكلي للنواة ، ففي حالة  $\beta=0$  يكون الشكل كروياً ، ويكون مشوهاً عندما  $\beta \neq 0$  ، أما المتغير  $\gamma$  فهو مقدار الانحراف عن محور التماثل ويرتبط بشكل النواة فإذا كانت  $\gamma=0$  ، فالشكل يكون متطاول في اتجاه القطبين (Prolat) ، وعندما  $\gamma=60$  تأخذ النواة شكل مفلطح عند القطبين (Oblate) .

دُسبِت طاقة جهد السطح ، وذلك باستعمال المعاملات الظاهرة بالجدول (٣-٩) في البرنامج ، وإن الأشكال من (٣-١٤) إلى (٣-١٩) توضح الخطوط الكنتورية (Contour plots) لكل نظير من نظائر <sup>98-108</sup>Ru الزوجية مع تناظراتها

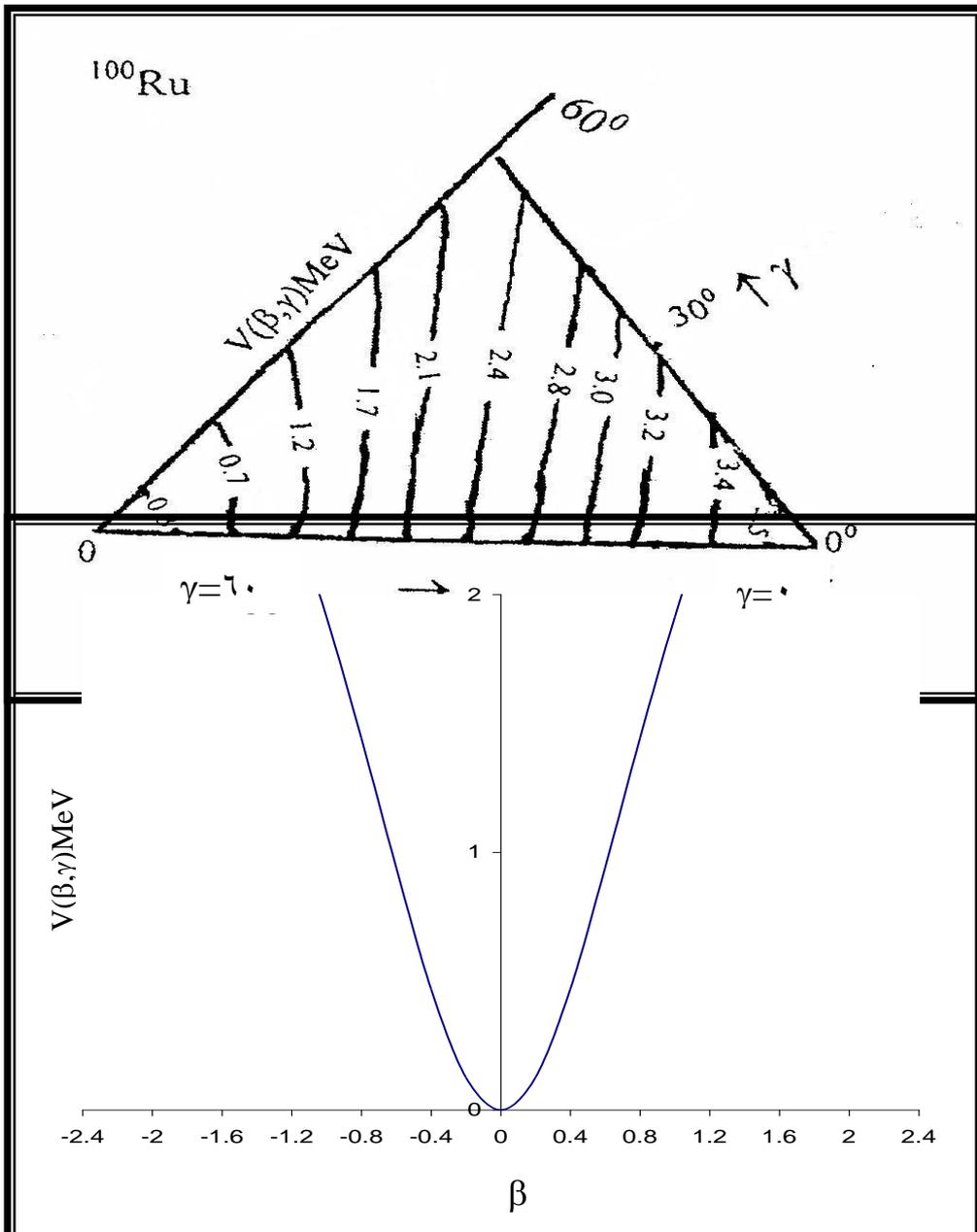
المحورية لكل من ( $\gamma=0, \gamma=60$ ) لدالة طاقة الجهد المحسوبة في هذا البحث ، زيادة على ذلك تمت دراسة جهد طاقة السطح لهذه النظائر ، وذلك باستعمال المعادلة (٢-٣٥) إذ تم رسم  $E^I(N; \beta, \gamma)$  بوصفها دالة للمتغير  $\beta$  الشكل (٢٠-٣).

جدول (٩-٣)  
المعاملات المستخدمة في البرنامج (IBM-١) لإيجاد جهد السطح لنظائر  $^{98-108}\text{Ru}$ .

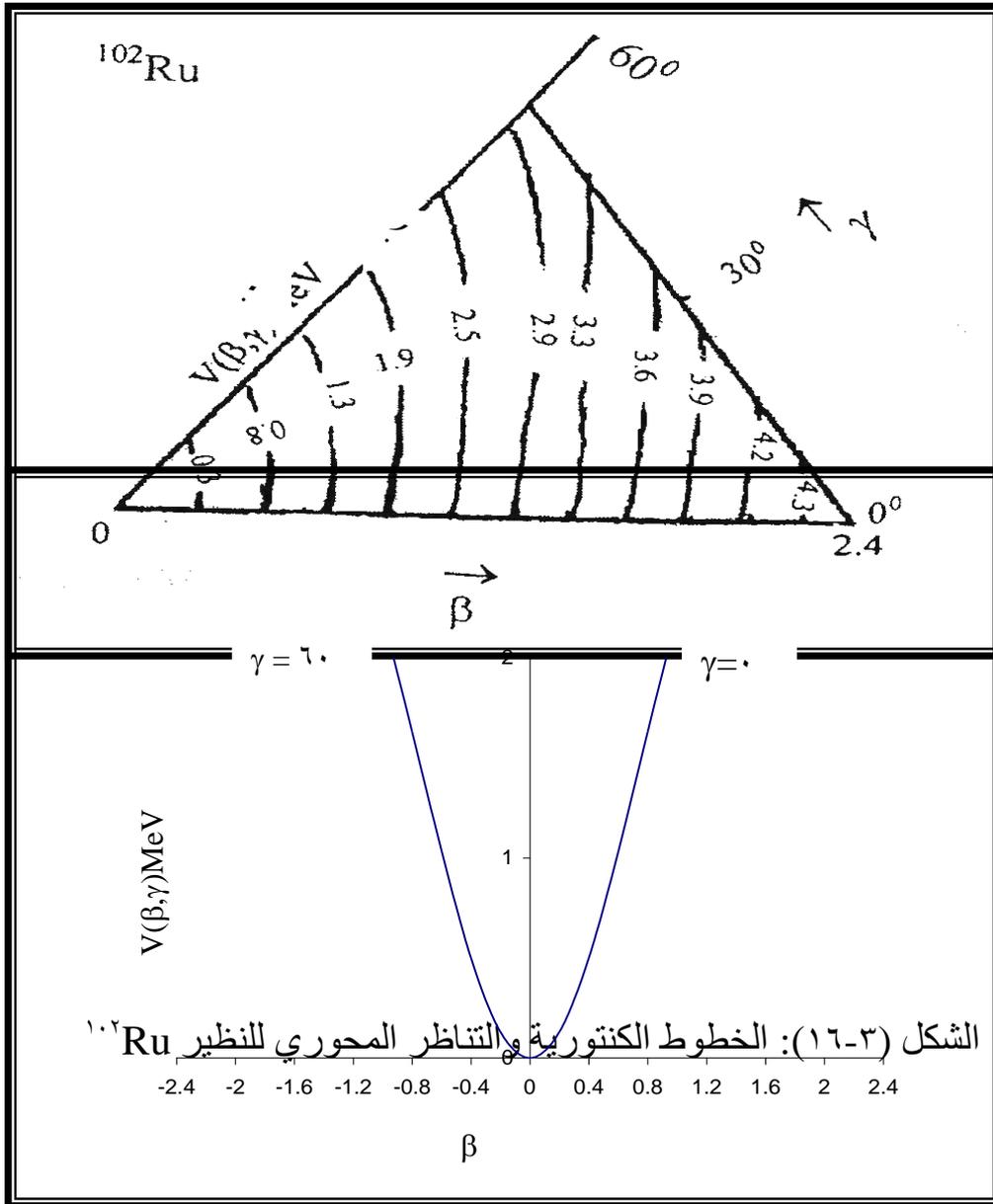
Isotopes	N	EPS	EPD	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$
$^{98}\text{Ru}$	٥	٠.٠	٠.٦٥١٣	٠.٦٥١	٠.٠٢٣	٠.٠	٠.٠
$^{100}\text{Ru}$	٦	٠.٠	٠.٥٤٠٠	٠.٥٤٠	٠.٠٣٩	٠.٠	٠.٠
$^{102}\text{Ru}$	٧	٠.٠	٠.٤٧٥٣	٠.٤٧٥	٠.٠٥٢	٠.٠	٠.٠
$^{104}\text{Ru}$	٨	٠.٠	٠.٣٥٨٠	١.٠٥٨	٠.٠٥٠	٠.٠	٠.٠
$^{106}\text{Ru}$	٩	٠.٠	٠.٢٧٠١	١.٣٥٠	٠.٠٦٨	٠.٠	٠.٠
$^{108}\text{Ru}$	١٠	٠.٠	٠.٢٤٣٠	١.٥٠٣	٠.٠٧٠	٠.٠	٠.٠



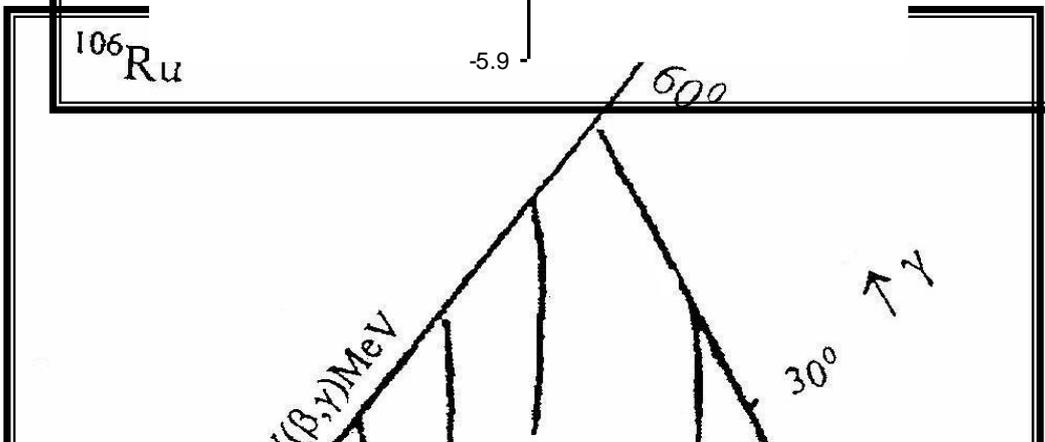
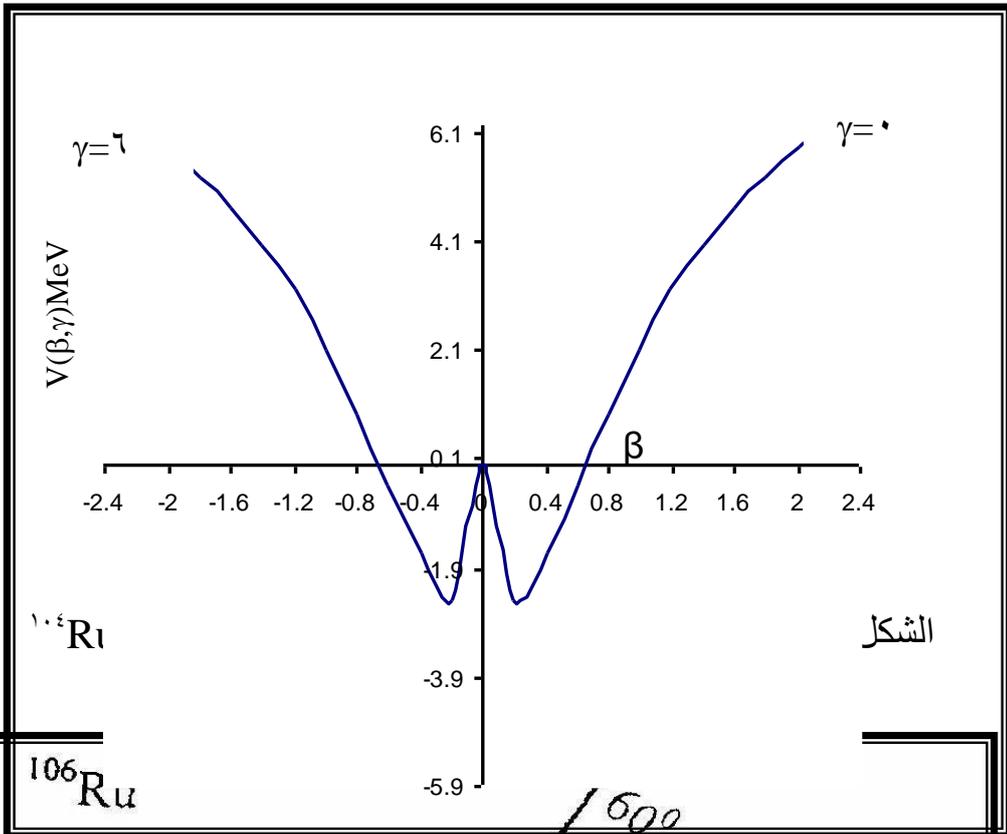
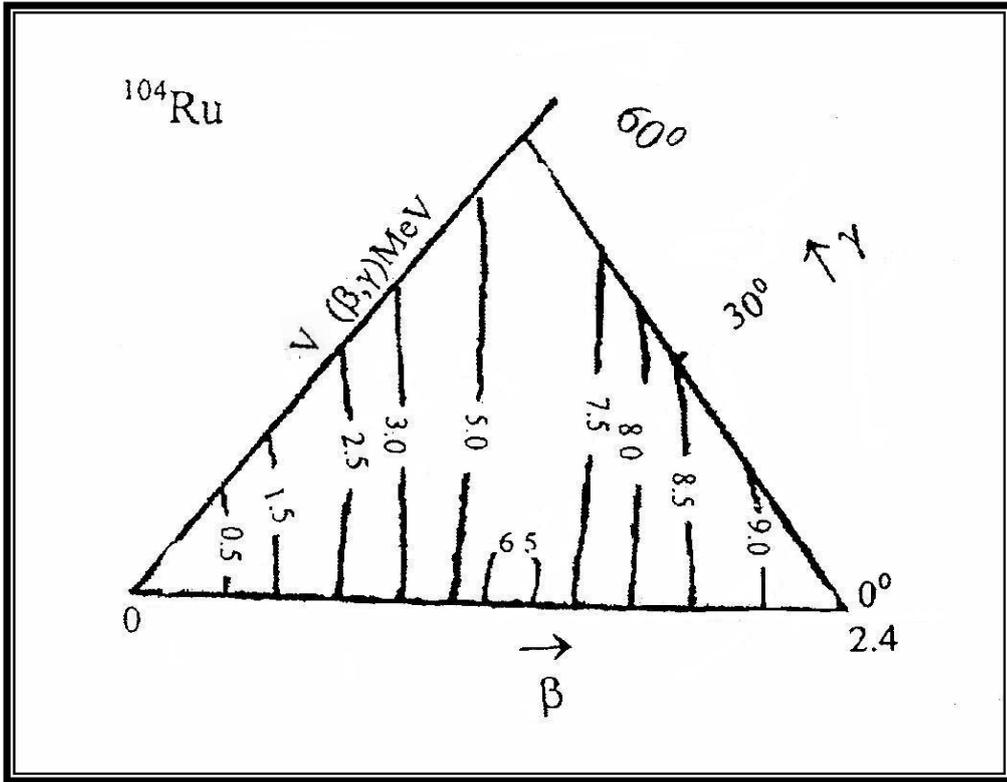
الشكل (٣-١٤): الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري للنظير  $^{100}\text{Ru}$



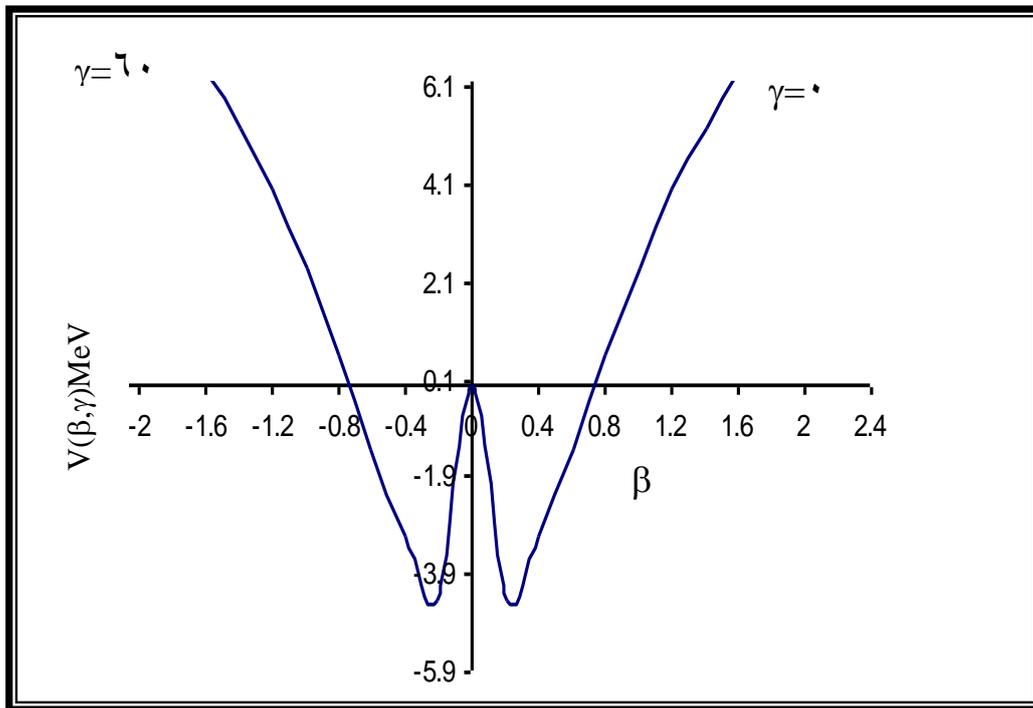
الشكل (٣-١٥): الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري للنظير  $^{102}\text{Ru}$



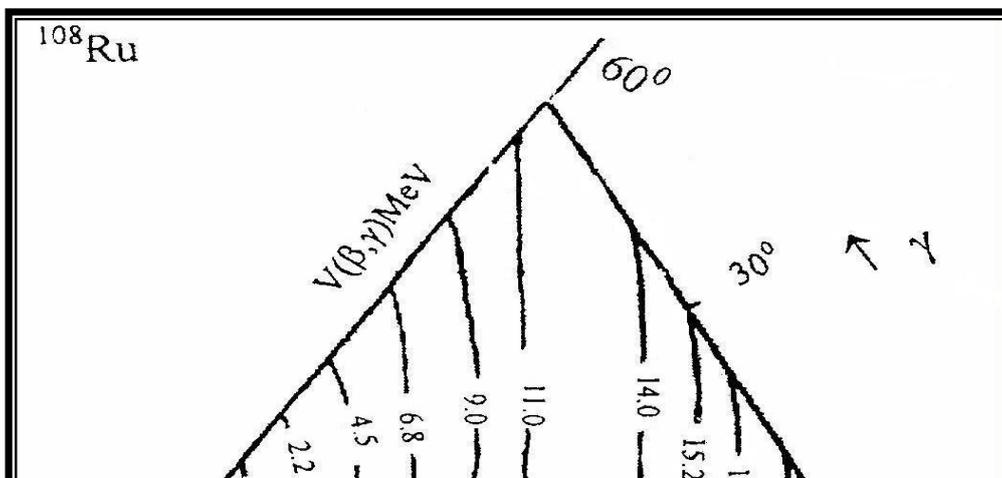
الشكل (٣-١٦): الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري للنظير  $^{102}\text{Ru}$

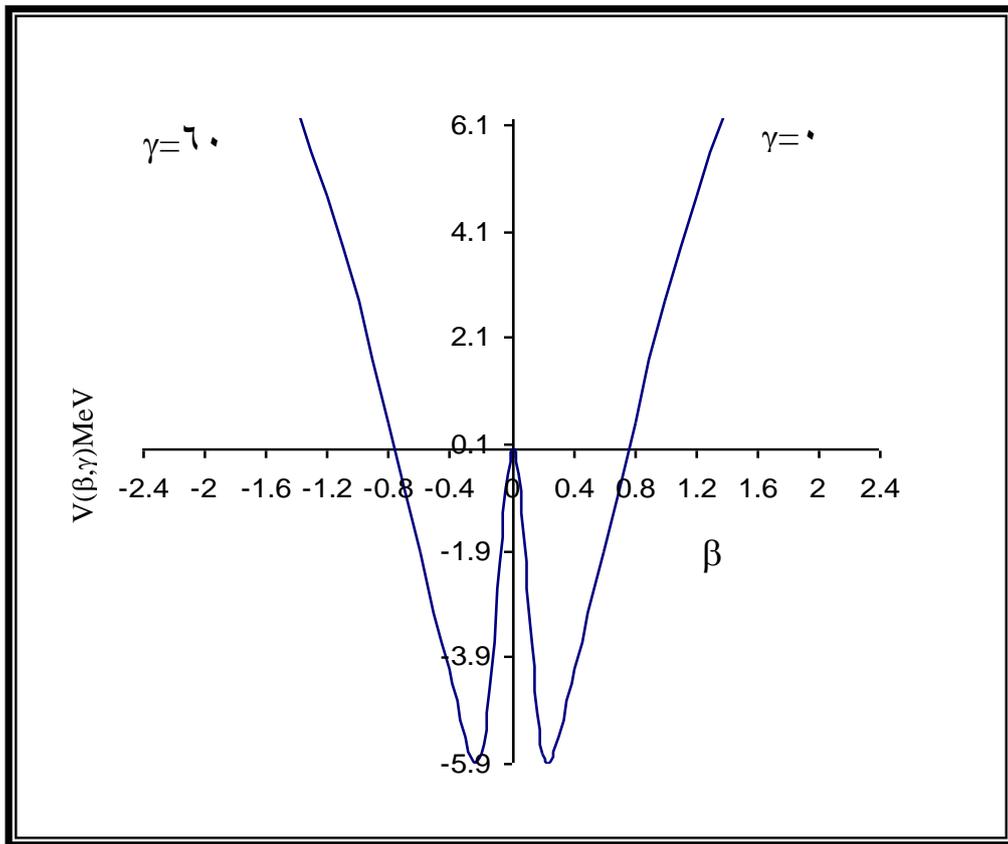


$\beta$

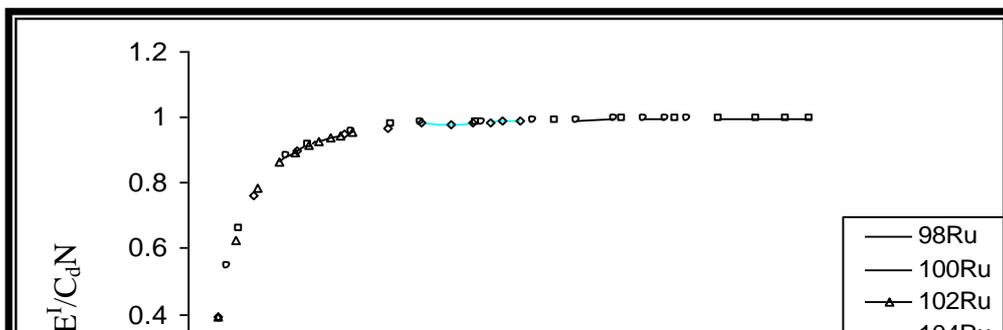


الشكل (٣-١٨) الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري للنظير  $^{108}\text{Ru}$

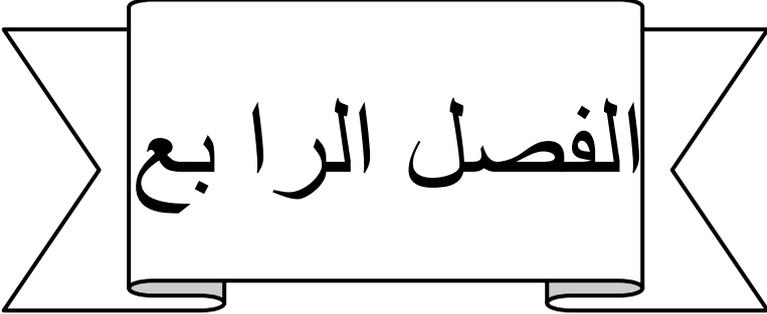




الشكل (٣-١٩) الخطوط الكنتورية والتناظر المحوري للنظير  $^{108}\text{Ru}$



الشكل (٣-٢٠) رسم المعادلة  $E^I$  بوصفها دالة للمتغير  $\beta$  لنظائر  $^{98-108}\text{Ru}$



الفصل الرابع

المناقشة والاستنتاجات

*Discussion and Conclusion*

#### ٤-١ نظائر Ru

في النوى الغنية بالنيوترونات والتي فيها عدد البروتونات ( $Z \geq 40$ ) والنيوترونات قريبة من منتصف القشرة ( $N = 50-82$ )، أظهرت سلوكاً مختلفاً من التشوه كأن تكون متطاوله (Prolate) أو مفلطحة (Oblate) أو ثلاثية المحاور (Triaxial) كلها كانت محتملة، وقد يحدث عدة أنواع من التشوه في النواة الواحدة<sup>(٤٥)</sup>.

إن نظائر Ru ( $Z = 44$ ) تقع ضمن سلسلة النظائر الانتقالية، إذ تظهر هذه النويات سلوكاً انتقالياً تدريجياً من الحالة الاهتزازية ( $N = 54$ ) إلى ثلاثية المحاور (Triaxial) ( $N = 64$ )، وتلعب نواة  $^{104}\text{Ru}$  ( $Z = 44, N = 60$ ) دوراً مهماً في هذه السلسلة لكونها المنعطف بين الحالة الاهتزازية (Vibration) وحالة (Triaxial)، وعند ملاحظة هذه السلسلة نجد وجود دلائل على الحالة الانتقالية بزيادة عدد النيوترونات والتي تعتمد بالأساس على خواص مستويات الطاقة المثيجة الواطنة.

إن النقصان المستمر في قيمة  $E_{2^+}$  من  $650\text{keV}$  لنظير  $^{98}\text{Ru}$  إلى  $240\text{keV}$  لنظير  $^{110}\text{Ru}$  بالإضافة إلى زيادة نسبة  $E_{4^+}/E_{2^+}$  من  $2.14$  إلى  $2.76$ ، وقيمة  $B(E_{2^+}, 2^+ \rightarrow 0^+)$  من  $(0.20\text{ e}^2\text{b}^2)$  إلى  $(0.65\text{ e}^2\text{b}^2)$  تدل جميعها على تلك الحالة الانتقالية<sup>(٥٦)</sup>.

ولمعرفة سلوك هذه النظائر وتحديد أشكال التشوه التي تنتمي لها، بالإضافة إلى تصنيف حزم الطاقة فيها والتركيز على المستويات  $0_2^+, 0_3^+$ ، نُوسِت هذه النظائر بصورة مفصلة وتطبيق جميع الاحتمالات الممكنة.

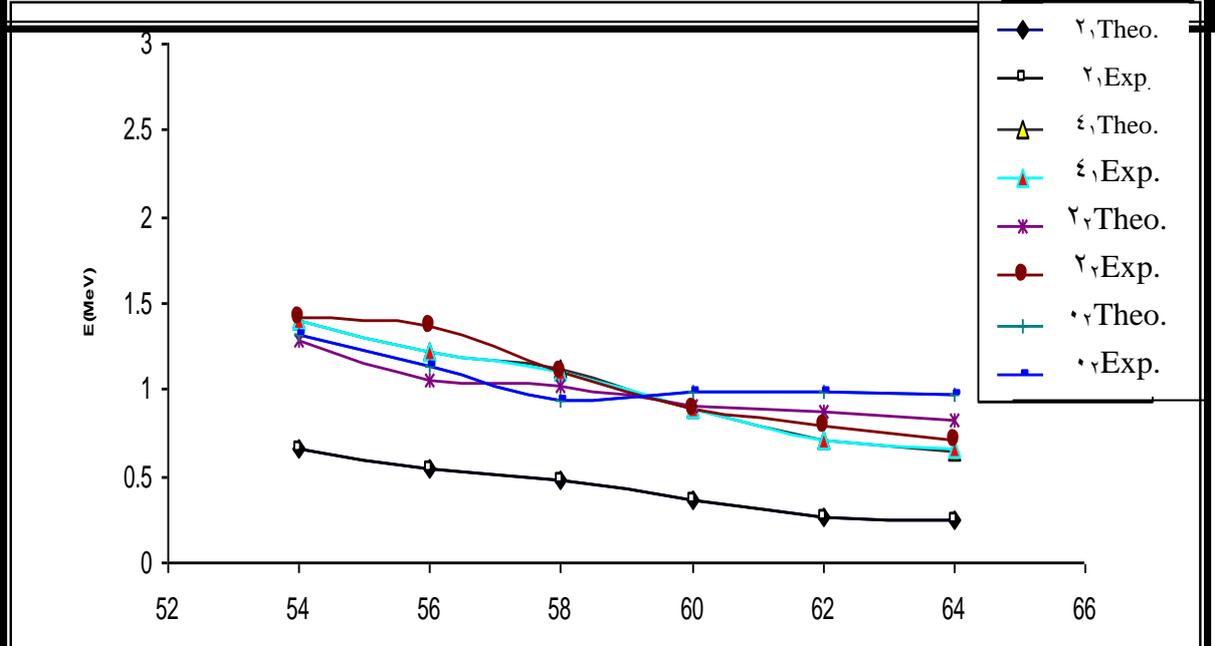
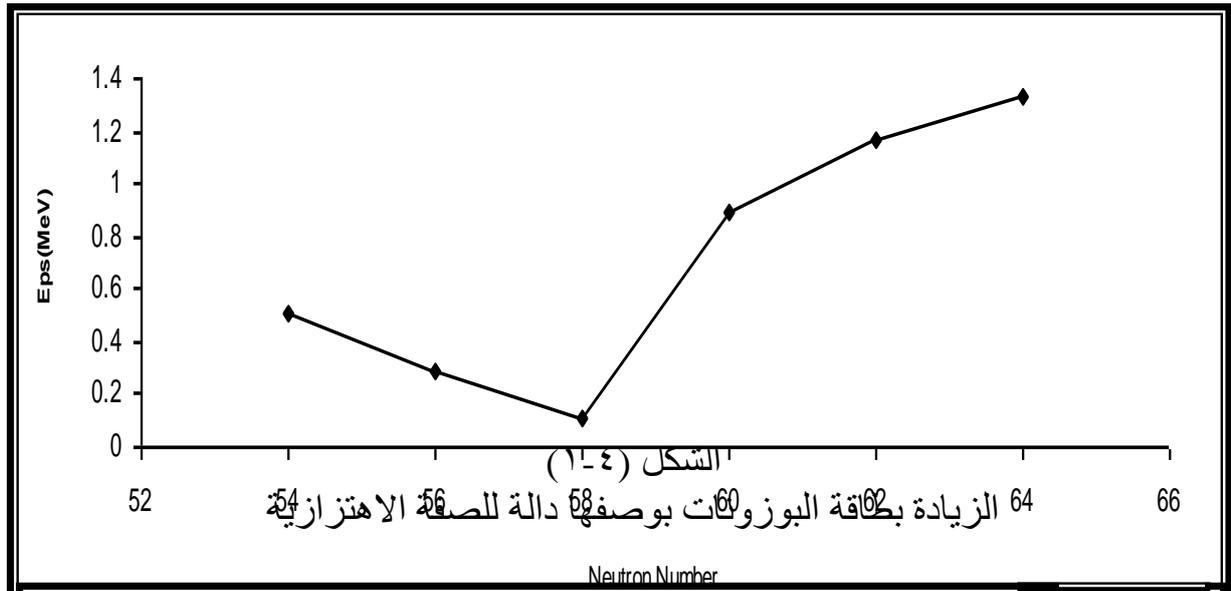
#### ٤-٢ نظير $^{98}\text{Ru}$

تتكون نواة  $^{98}\text{Ru}$  من ( $44$ ) بروتونا و ( $54$ ) نيوترونا أي أن العدد الكلي للبوزونات سيكون مساوياً لـ ( $5$ ) بوزون ( $N = N\pi + N\nu$ )، وبما إن هذه النوية قريبة في عددها النيتروني من قيمة القشرة المغلقة ( $50$ )، فإنها تميل لنمط الجسيمة المنفردة، إذ أكد (Leder et al)<sup>(٥٧)</sup> أن مستوياتها المثيجة المنخفضة كانت تفسر بواسطة النمط الاهتزازي.

#### ٤-٢-١ مستويات الطاقة Energy Levels

لقد نُوسِت جميع التحديدات المحتملة لنظير  $^{98}\text{Ru}$ ، فكانت نتائج التحديد الاهتزازي  $SU(5)$  أكثر تطابقاً مع النتائج العملية بعد التعامل مع البرنامج (IBM-1) وكما موضح في الجدول (٣-١) الذي يبين المعاملات المستعملة في البرنامج ونجد أن المعامل  $\epsilon$  هو المهيمن على بقية المعاملات كما في الشكل (١-٤) والذي يظهر سيطرة طاقة البوزونات على جهد التفاعل والمتمثل بالمعاملين ( $P^+, P$ )، ( $Q, Q$ )، وهذا يشير إلى التصرف الاهتزازي<sup>(٥٨)</sup>، علماً أن قيم نسب

الطاقة لهذه النوية  $(E_{0_2^+}/E_{2_1^+}), (E_{4_1^+}/E_{2_1^+}), (E_{6_1^+}/E_{2_1^+}), (E_{8_1^+}/E_{2_1^+})$  كانت تساوي  $(2.02, 2.14, 3.4, 4.88)$  على التوالي ، إذ أنها أقرب إلى القيم النموذجية للتحديد  $SU(5)$   $(2, 2, 3, 4)$  من التحديدين  $SU(3)$ ,  $O(6)$  ، وإن الأشكال من  $(3-7)$  إلى  $(3-10)$  توضح ذلك ، أما طيف الطاقة لنوية  $^{98}\text{Ru}$  والذي حُصل عليه من دراستنا الحالية والظاهر بالشكل  $(3-1)$  إذ إنه يبدي تطابقا جيدا مع النتائج العملية  $(^{98}\text{Ru}, 41, 42, 49)$  ، وفي جميع حزم الطاقة خاصة في المستوي الأرضي ومن الميزات التي ظهرت لدينا في هذا الطيف هي قرب طاقة المستوي  $2_1^+$   $(1.322\text{MeV})$  من ضعف قيمة طاقة المستوي  $2_1^+$   $(0.651\text{MeV})$  ، وتقارب طاقة المستويات  $(2_1^+, 2_2^+, 4_1^+)$   $(1.322\text{MeV}, 1.278\text{MeV}, 1.39\text{MeV})$  على التوالي وعدم تتابعها على وفق ترتيب معين  $(^{98}\text{Ru}, 57, 58, 59)$  ، زيادة على تقارب المستويات المثيجة العليا  $(2_1^+, 2_2^+, 3_1^+, 4_2^+, 6_1^+)$  ،  $(1.88, 2.06, 1.98)$  ،  $2.05\text{MeV}$  ، على التوالي ، والتي تُعد من صفات تداخل مستويات الطاقة الاهتزازية الناتجة من تهيجات ثلاثة فونونات (Three phonon excitation) رباعية القطب  $(^{98}\text{Ru}, 3, 6)$  ، وإن الشكل  $(4-2)$  يؤكد ذلك .



الشكل (٤-٢)

يمثل قرب طاقة المستوي  $0_2^+$  من ضعف قيمة طاقة المستوي  $2_1^+$  وتقارب طاقة المستويات ( $0_2^+$ ,  $2_2^+$ ,  $4_1^+$ ) النظرية والعملية  $(^{49,42,41})$ . إن إعادة النظر لمخطط الانحلال العملي  $(^{49,42,41})$  لنظير  $^{98}\text{Ru}$  ومقارنته بالمخطط الذي توصلنا إليه والموضح بالشكل (٣-١)، إذ خُدت بعض المستويات وتأكيد أخرى كما موضح بالفقرة (٣-١-١)، ومن المستويات التي حددت  $0_2^+$  بطاقة جديدة (١.٣٢٢ MeV)، إذ ظهرت مقارنة إلى ضعف قيمة طاقة المستوي  $2_1^+$  (٠.٦٥١ MeV) وتقاربها مع المستوي  $2_2^+$  (١.٢٨ MeV)، وأما المستوي الذي أُكِّد بزخم وتماثل مقداره  $3_1^+$  بدل ( $3_1^+$ ,  $4_1^+$ )  $(^{13,11})$  كانت طاقته تساوي (١.٩ MeV) حيث لاحظنا قيمته مقارنة للمستويات المثيجة العليا والتي ظهرت لدينا أيضاً وطابقت القيم العملية ( $0_3^+$ ,  $2_3^+$ ,  $3_1^+$ ,  $4_2^+$ ,  $6_1^+$ )، التي ذكرت قيمها أعلاه.

٢-٢-٤ احتمالية الانتقالات الكهربائية المختزلة  $B(E_2)$

Reduced electric transitions probability  $B(E_2)$

استعملت المعادلة (٣-٣) لحساب قيمة  $B(E_2) \downarrow$  والمعادلتين (٣-١) و (٣-٢) لحساب قيمة  $E_2SD$  و  $E_2DD$ ، والمبينة في الجدول (٢-٣)، استعملت هذه المتغيرات في البرنامج IBMT، والجدول (٣-٣) يبين القيمة المختزلة للنظير  $^{98}\text{Ru}$ ، إذ أظهر تطابقاً جيداً مع القيم العملية المتوفرة، كما في الشكل (١-١) (٣)، وإن هذه النتائج أظهرت الخاصية الاهتزازية لهذه النوية من خلال انحلال المستوي  $0_3^+$  إلى المستوي  $2_2^+$  وليس للمستوي  $2_1^+$ ، وذلك لكون هذا الانتقال محظور لهذا التحديد  $(^{34})$ ، إذ إن قيمة  $B(E_2; 0_3^+ \rightarrow 2_2^+)$  تساوي صفر  $(0.156 e^2b^2)$  لنظير  $^{98}\text{Ru}$ ، في حين إن قيمة  $B(E_2; 0_3^+ \rightarrow 2_1^+)$  تساوي صفر لهذا النظير، زيادة على ابتعادها عن خواص التحديد  $O(6)$ ، إذ أن المستوي  $0_2^+$  ينحل بصورة رئيسية للمستوي  $2_1^+$ ، وكانت قيمته  $B(E_2; 0_2^+ \rightarrow 2_1^+)$  تساوي  $(0.139 e^2b^2)$ ، في حين أن قيمته في التحديد  $O(6)$  تكون مساوية للصفر  $(^{1})$ . وعند مقارنة نسبة الانتقالات الكهربائية المختزلة  $(R^{IV}, R''', R'', R', R)$   $(^{33})$  لنظير  $^{98}\text{Ru}$  مع القيم النموذجية الخاصة بالتحديد  $SU(5)$ ، وجد تطابقاً جيداً مع هذا التحديد، كما في الجدول (٤-١)، زيادة على تساوي قيم نسب  $(R'', R', R)$  الموضحة بالشكل (٣-١٢)، ومساواتها للقيمة  $2(N-1)/N$ ، معادلة (٣-٩).

جدول (٤-١) مقارنة بين نسب الانتقالات الكهربائية المختزلة  $B(E_2)$  لنظائر  $^{98,100,102,104,106,108}\text{Ru}$  والقيم النموذجية للتحديد  $SU(5)$   $(^{33})$ .

$B(E_2)$ Ratios	$^{98}\text{Ru}$	$^{100}\text{Ru}$	$^{102}\text{Ru}$	$^{104}\text{Ru}$	$^{106}\text{Ru}$	$^{108}\text{Ru}$	Limit
-----------------	------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------

$R = \frac{B(E2;4_1^+ \rightarrow 2_1^+)}{B(E2;2_1^+ \rightarrow 0_1^+)}$	١.٦٠٠	١.٦٦٦	١.٧١٤	١.٧٥٠	١.٧٧٨	١.٧٩٩	$\frac{2(N-1)}{N}$
$R' = \frac{B(E2;2_2^+ \rightarrow 2_1^+)}{B(E2;2_1^+ \rightarrow 0_1^+)}$	١.٦٠٠	١.٦٦٦	١.٧١٤	١.٧٥٠	١.٧٧٨	١.٧٩٩	$\frac{2(N-1)}{N}$
$R'' = \frac{B(E2;0_2^+ \rightarrow 2_1^+)}{B(E2;2_1^+ \rightarrow 0_1^+)}$	١.٦٠٠	١.٦٦٥	١.٧١٥	١.٧٥٠	١.٧٧٧	١.٧٩٩	$\frac{2(N-1)}{N}$
$R''' = \frac{B(E2;2_2^+ \rightarrow 0_1^+)}{B(E2;2_2^+ \rightarrow 2_1^+)}$	.	.	.	.	.	.	.
$R^{IV} = \frac{B(E2;2_2^+ \rightarrow 0_1^+)}{B(E2;2_2^+ \rightarrow 2_1^+)}$	.	.	.	.	.	.	.

### ٤-٢-٣ عزم رباعي القطب الكهربائي Q وجهد طاقة السطح

#### Quadrupole moment and Surface Potential Energy

استعملت قيم المعادلات  $E2SD$  ,  $E2DD$  المبينة في الجدول (٣-٢) للحصول على قيم عزم رباعي القطب الكهربائي إذ تساوي الـ (٠.٢eb-) والشكل (٣-١٣) يبين التطابق الجيد بين القيم العملية والنظرية لعزم رباعي القطب الكهربائي وأن القيمة النظرية التي حصلنا عليها كانت صغيرة وبما أن عزم رباعي القطب الكهربائي Q يُعد مقياساً للتشوه النووي<sup>(٣)</sup> ، لذلك فأنا نستنتج أن هذه النوى تعاني من اهتزازات سطحية حول الشكل الكروي فقط ناتجة من تفاعل الفونونات وليس تشوهات دائمة ولا تملك صفات النوى المشوهة<sup>(٤,٣)</sup> .

وعند دراسة جهد السطح باستعمال المعاملات المبينة في الجدول (٣-٩) ، والتي استنتجت من مستويات الطاقة تم الحصول على قيم  $\beta$  ,  $\gamma$  التي رسمنا من خلالها الشكل الكنتوري ، والمخطط التناظري للنظير  $^{98}\text{Ru}$  ، والظاهر بالشكل (٣-١٤) ، إذ نجد التوافق مع الشكل النموذجي للتحديد  $SU(5)$  ، الشكل (٢-٥)<sup>(٤٠)</sup> ، وكذلك يظهر عدم تشوه هذه النوية وهذا يتفق مع رأي (K. Summerer)<sup>(١١)</sup> ، (S. Landsberger)<sup>(١٠)</sup> و (W.F.Piel)<sup>(١٠)</sup> .

### ٤-٣ نظير $^{100}\text{Ru}$

تتكون نواة  $^{100}\text{Ru}$  من (٤٤) بروتونا و(٥٦) نيوترونا ، أي أن العدد الكلي للبوزونات سيكون مساوياً لـ (٦) بوزون ، وأن الصور التجميعية في هذا النظير تظهر على هيئة واحد أو اثنين أو ثلاثة مستويات للفونون إذ إن هذا التغيير في صور التجميع يحصل للمستويات المنخفضة من هذه النوية متمثلاً بقياسات العزوم رباعية القطب وعند التهيجات العالية لأنحالات  $\gamma$  وفي الاهتزاز ثماني القطب التجميعي<sup>(٦١)</sup> .

### ١-٣-٤ مستويات الطاقة Energy Levels

لقد وجد إن التحديد  $SU(5)$  هو أكثر تطابقاً مع النتائج العملية ، وكان المعامل  $\epsilon$  ، هو المهيمن على بقية المعاملات بقيمة  $(0.29 \text{ MeV})$  ، ولكن ظهر أقل من قيمة النظير السابق وكما في الشكل (٤-١) ، وهذا دليل على التحول التدريجي للصفة الاهتزازية<sup>(٣٤)</sup> إلى  $O(6)$ .

أما نسب الطاقة  $(E_{8^+}/E_{2^+}), (E_{6^+}/E_{2^+}), (E_{4^+}/E_{2^+}), (E_{0_2^+}/E_{2^+})$  لهذه النوية كانت تساوي  $(2.09, 2.27, 3.84, 5.66)$  على التوالي أي أنها أقرب إلى  $SU(5)$  وأن الأشكال من (٧-٣) إلى (١٠-٣) توضح ذلك ، وبعد الحصول على النتائج من خلال التعامل مع البرنامج تم رسم طيف الطاقة الخاص بنظير  $^{100}\text{Ru}$  (والظاهر بالشكل-٢) (٣) ، إذ لاحظنا وفي جميع أحزمة الطاقة ، وخاصة حزمة الطاقة الأرضية (Ground State) ، هناك تطابق جيد مع النتائج العملية<sup>(٤٦,٤١)</sup> وإذا أمعنا النظر في الشكل (٤-٢) ، نلاحظ هذه النوية تمتلك مظهر من مظاهر تفاعل الفونونات والمتمثل بقرب طاقة المستوي  $0_2^+$  ( $1.131 \text{ MeV}$ ) تقريباً من ضعف قيمة طاقة مستوي  $2_1^+$  ( $0.540 \text{ MeV}$ ) ، وتقارب طاقة المستويات  $4_1^+, 2_2^+, 0_2^+$  ( $1.13, 1.05, 0.540 \text{ MeV}$ ) على التوالي ، ولهذا عندما نعود لمخطط الانحلال<sup>(٤٦,٤١)</sup> الخاص بنظير  $^{100}\text{Ru}$  ، نلاحظ فيه بعض المستويات غير المحددة وأخرى غير مؤكدة ، إذ تم تأكيدها وحسب القيم التي ظهرت لدينا وكانت ( $1.05, 1.96, 2.06, 3.04, 4.17 \text{ MeV}$ ) بزخم وتمائل  $(0_1^+, 8_1^+, 6_1^+, 3_1^+)$  وعلى التوالي ، وكذلك حُدثت قيم مستوى الطاقة ( $3.7, 4.8 \text{ MeV}$ ) بزخم وتمائل مقداره  $10_2^+, 8_2^+$  وعلى التوالي .

### ٢-٣-٤ احتمالية الانتقالات الكهربائية المختزلة $B(E2)$

#### Reduced electric transitions probability $B(E2)$

يبين الجدول (٢-٣) قيم المتغيرات  $E2DD, E2SD$  التي من خلالها تم حساب قيم احتمالية الانتقالات المختزلة  $B(E2)$  المسموحة ، والمبينة في الجدول (٤-٣) ، وأظهرت تطابق جيد مع النتائج العملية<sup>(٥٤,٥٣,٥٠)</sup> المتوفرة لدينا ، كما في الشكل (٣-١١) ، وبينت هذه القيم الخاصية الاهتزازية لهذا النظير من خلال انحلال  $0_3^+$  إلى المستوي  $2_2^+$  بقيمة  $(0.228 \text{ e}^2 \text{ b}^2)$  وليس للمستوي  $2_1^+$  ، وذلك لكون هذا الانتقال محظور لهذا التحديد<sup>(٣٤)</sup>.

وعند مقارنة نسبة الانتقالات الكهربائية المختزلة  $(R^{IV}, R''', R'', R', R)$ <sup>(٣٣)</sup> لنظير  $^{100}\text{Ru}$  مع القيم النموذجية الخاصة بالتحديد  $SU(5)$  ، وجد تطابقاً ومساواة

للقيمة  $2(N-1)/N$  معادلة (٣-٩) زيادة على توضيح الشكل (٣-١٢) للتطابق الجيد، ما بين قيم نسب الاحتمالية  $(R'', R', R)$  ، وهذا دليل على الصفة الاهتزازية .

### ٤-٣-٣ عزم رباعي القطب الكهربائي Q وجهد طاقة السطح

#### Quadrupole moment and Surface Potential Energy:

لقد ظهرت قيم عزم رباعي القطب للمستوي الأول  $Q(E_{2_1^+}; 2_1^+ \rightarrow 2_1^+) = -0.2108 \text{ eb}$  والمستوي الثاني  $Q(E_{2_2^+}; 2_2^+ \rightarrow 2_2^+) = -0.0925 \text{ eb}$  ، والمستوي الثالث  $Q(E_{2_3^+}; 2_3^+ \rightarrow 2_3^+) = -0.3392 \text{ eb}$  ، والمبين في الشكل (٣-١٣) ، إذ أظهرت تقاربها مع النتائج العملية  $(^{42})$  ، ومن خلال هذه النتائج ، نستنتج أن هذه النوية تعاني من اهتزازات سطحية وليس تشوهات دائمية . وعند دراسة جهد السطح والحصول على نتائج  $\beta$  ,  $\gamma$  الخاصة بالنظير ورسم الشكل الكنتوري والمخطط التناظري والمبين في الشكل (٣-١٥) أتضح لنا توافقها مع الشكل النموذجي للتحديد  $SU(5)$  ، شكل (٥-٢)  $(^{40})$  ، أي لم تظهر من خلال هذا الرسم أنها نوية مشوهة ، وهذا يتفق مع رأي كل من (K. Summerer)  $(^{11})$  و (S. Landsberger)  $(^{10})$  .

### ٤-٤ نظير $^{102}\text{Ru}$

تتكون نواة  $^{102}\text{Ru}$  من (٤٤) بروتونا و (٥٨) نيوترونا أي أن العدد الكلي للبوزونات (٧) بوزون لهذا النظير ، إذ أكد (Stachel et al)  $(^{14})$  في بحثه ، إن هذا النظير يقع ضمن المنطقة الانتقالية  $[SU(5) \rightarrow O(6)]$  ، وهذا يناقض النتائج التي حصلنا عليها ، وخاصة الأشكال التي ظهرت لدينا في مرحلة دراسة جهد السطح ، والتي تؤكد على أن هذه النواة لا يوجد بها تشويه دائمي .

### ٤-٤-١ مستويات الطاقة Energy Levels

بعد الرجوع لمخطط الانحلال  $(^{43,41})$  لنظير  $^{102}\text{Ru}$  ، وجدنا أن نسب الطاقة  $(E_{0_2^+}/E_{2_1^+}), (E_{4_1^+}/E_{2_1^+}), (E_{6_1^+}/E_{2_1^+}), (E_{8_1^+}/E_{2_1^+})$  بقيم (١.٩ , ٢.٣ , ٣.٩ , ٦.١) على التوالي ، وكانت أقرب لقيم التحديد  $SU(5)$  ، والنتائج التي حُصل عليها من هذا التحديد ، كانت أكثر تطابقاً مع النتائج العملية ، وفي كل حزم الطاقة ، وخاصة حزمة المستوى الأرضي (Ground State) ، كما موضح بالشكل (٣-٣) ، ثم رُسمت قيم نسب الطاقة النظرية والعملية ، والظاهرة بالأشكال من (٧-٣) إلى (١٠-٣) ، فكانت متطابقة بشكل جيد ، وهذا يؤكد تشابه التركيب النووي لهذه النواة مع نوى التحديد

الاهتزازي<sup>(٣١)</sup>. ومما يؤكد ذلك هو قرب قيمة طاقة المستوي  $٠٢^+$  ( $٠.٩٤٣\text{MeV}$ ) من ضعف قيمة طاقة المستوي  $٢١^+$  ( $٠.٤٧٥\text{MeV}$ )، وكذلك تقارب المستويات المتتهيجة العليا ( $٦١^+$ ,  $٤٢^+$ ,  $٣١^+$ ,  $٢٣^+$ ,  $٠٣^+$ ) بالقيم ( $١.٩$ ,  $١.٧$ ,  $١.٦$ ,  $١.٦$ ,  $١.٦$ ) MeV على التوالي، التي تُعد من صفات تداخل مستويات الطاقة الاهتزازية<sup>(٣٢, ٣٣)</sup>، وإن الشكل (٤-٢) يوضح ذلك. وبعد الحصول على النتائج النهائية لمستويات الطاقة ومقارنتها بمخطط الانحلال<sup>(٤١, ٤٢)</sup>، وجدنا بعض المستويات غير المؤكدة، وأخرى غير محددة، فتمَّ تحديد مستوى الطاقة ( $١.٧$  MeV) بزخم وتمائل مقداره  $٣١^+$  بدلاً من القيمة ( $٣١^+$ )  $٤١^+$ ، لأنها تتقارب مع المستويات المتتهيجة العليا، التي ذكرت أعلاه. كما وأكَّد مستوى الطاقة ( $١.٧٧\text{MeV}$ ) بزخم وتمائل مقداره  $٤٢^+$  للحصول على قيمة مطابقة لما هو موجود في الدراسات العملية.

#### ٢-٤-٤ احتمالية الانتقالات الكهربائية المختزلة $B(E٢)$

##### Reduced electric transitions probability $B(E٢)$

يُظهر الجدول (٢-٣) قيم  $E٢SD$ ,  $E٢DD$  التي من خلالها حُسبت قيم احتمالية الانتقالات المختزلة  $B(E٢)$  المسموحة، والمبينة في الجدول (٣-٥)، ثم أدخلت مقابلها القيم العملية المتوفرة وكانت متطابقة معها، كما في الشكل (٣-١١)، وظهر لدينا الانتقال  $B(E٢; ٠٣^+ \rightarrow ٢٢^+)$  يساوي ( $٠.٢٧١ e^٢b$ )، وأما الانتقال  $B(E٢; ٠٣^+ \rightarrow ٢١^+)$  يساوي صفر، أي أن المستوي  $٠٣^+$  أنحل إلى المستوي  $٢٢^+$  مباشرة، ولم ينحل إلى المستوي  $٢١^+$ ، وهذه أظهرت الصفة الاهتزازية لنظير  $^{١٠٢}\text{Ru}$ <sup>(٣٤)</sup>. كما أن قيمة الانتقال  $B(E٢; ٠٢^+ \rightarrow ٢١^+)$  تساوي ( $٠.٢١٧ e^٢b$ )، أي أن المستوي  $٠٢^+$  أنحل بصورة رئيسة إلى  $٢١^+$ ، بينما يكون محظور بالتحديد  $O(٦)$ <sup>(١)</sup>.

وأستعملت المعادلة (٣-٩) للحصول على نسب الانتقالات ( $R''$ ,  $R'$ ,  $R$ )، والتي ظهرت بالشكل (٣-١٢)، إذ أظهرت تطابقاً تاماً، وهذا دليل آخر على الميول للصفة الاهتزازية<sup>(٣٣)</sup>.

#### ٣-٤-٤ عزم رباعي القطب الكهربائي Q وجهد طاقة السطح

##### Quadrupole moment and Surface Potential Energy

في عملنا الحالي ومن نتائج الاحتمالية ظهرت لدينا قيم عزم رباعي القطب الكهربائي والخاصة بالنظير  $^{١٠٢}\text{Ru}$  للمستوي الأول وهي ( $-٠.٣٣٠٧ e b$ )، وهذا دليل على أن النظير لا يمتلك تشوهات دائمية وإنما كانت اهتزازات سطحية حول الشكل الكروي فقط ناتجة من تفاعل الفونونات<sup>(٤٠, ٤١)</sup>، ومما يؤكد ذلك هو تقارب القيمة العملية مع النظرية، والظاهر بالشكل (٣-١٣)، كما أن هناك تأكيداً آخر، وهي نتائج جهد السطح التي تظهر لدينا بالشكل (٣-١٥)، إذ أظهرت الخطوط

الكتنورية والشكل التناظري المحوري تطابقاً مع الشكل النموذجي (٥-٢) <sup>(٤٠)</sup> ، والخاص بالتحديد الاهتزازي ، وهذا يتفق مع رأي كل من (S. Landsberger) <sup>(١٠)</sup> و (A. Giannatiempo) <sup>(١٤)</sup> .

#### ٥-٤ نظير <sup>١٠٤</sup>Ru

أكد (Stachel) <sup>(١٢)</sup> أن نوية <sup>١٠٤</sup>Ru واقعة في منتصف المسافة بين SU(٥) و O(٦) ، مما يرجح كون هذه النواة انتقالية بين SU(٥) → O(٦) ، وأن درجات الحرية التجميعية في نوية <sup>١٠٤</sup>Ru بعيداً عن القشرات المغلقة ، كانت تتحدد بواسطة التشوهات التي تصيبها والتي كانت تشويهاً متطاولاً (Prolate deformation) حصلت لهذه النوية التي تمتلك عدد من البروتونات المتكافئة (Valence protons) ونيوترونات خارج القشرة المغلقة ، إذ أن شكلها النووي يمكن أن يتغير إلى شكل مفلطح (Oblate) ، إذا كان عدد البروتونات والنيوترونات تقترب من نهاية القشرة الكبيرة ، ويبدو أن هناك انتقال تدريجي من النويات الاهتزازية (Vibrational) N ≈ ٥٤ إلى تشوه ثلاثي المحاور N ≈ ٦٠ ، وهذا يظهر بشكل واضح في نوية <sup>١٠٤</sup>Ru <sup>(٤٥)</sup> .

#### ١-٥-٤ مستويات الطاقة Energy Levels

تبين نسب الطاقة التالية  $(E_{8^+}/E_{2^+}), (E_{6^+}/E_{2^+}), (E_{4^+}/E_{2^+}), (E_{0_2^+}/E_{2^+})$  بأن هذه النواة انتقالية ، وكانت تساوي (٦.٤٨, ٤.٣٤, ٢.٤٨, ٢.٧٦) على التوالي ، فعند مقارنتها مع القيم النموذجية للتحديد SU(٥) ، (٤, ٣, ٢, ٢) والقيم النموذجية للتحديد O(٦) ، (٧, ٤.٥, ٢.٥, ٤.٥) ، وجدنا أنها واقعة بين الاثنين ، أما الخطوة التالية فكانت حل معادلات القيم النموذجية للتحديدات الثلاثة SU(٥) ، SU(٣) ، O(٦) ، لذلك استخدمت المعادلة (٢-٨) ، (٢-١٦) ، (٢-٢٢) على التوالي ، أختبرت ، إذ أعطت نتائج O(٦) تطابقاً جيداً مع النتائج العملية ، بعد إعطاء العامل  $\epsilon$  مقدار من الطاقة (٠.٥٠٨ MeV) ، ولذلك كان الهاملتون المستعمل لهذه المنطقة الانتقالية موضح بالمعادلة (٢-٣٢) ، إذ إنه يعتمد بالدرجة الأساس على النسبة  $\epsilon/a$  ، إذ تؤدي هذه النسبة دوراً كبيراً في السيطرة على معالم هذه المنطقة ، فإذا كانت كبيرة ، فهذا يعني أن هذه الخواص تكون قريبة للتحديد الاهتزازي ، وإذا كانت متوسطة تكون وسط بين التحديدين <sup>(٣٠)</sup> . ومن خلال حساباتنا ، أتضح إنها قيمة كبيرة (٤.٥) ، وكما تظهر بالشكل (١-٤) ، أي أنها أقرب إلى التحديد الاهتزازي ، ومما أكد ذلك الاقتراب هي النسبة  $R = \frac{B(E_2; 2_2^+ \rightarrow 0_1^+)}{B(E_2; 2_2^+ \rightarrow 2_1^+)}$  ، والتي كانت تساوي صفر ، إذ أن (R = ٠) في التحديد SU(٥) <sup>(١٤, ٦٣)</sup> . وبما أن حساب بوزونات نوية <sup>١٠٤</sup>Ru من عدد الفجوات ، وهذا يجعلنا نستبعد كون هذه النوية معنية للتحديد الدوراني SU(٣) <sup>(٢٨)</sup> . كما أن تقارب المستويات المثيعة العليا <sup>(٢٠, ٣١, ٤٢)</sup> ،

( $6_1^+$ ) ، ( $6.60 \text{ MeV}$  ،  $1.62$  ،  $1.63$  ،  $1.74$  ،  $1.65$ ) على التوالي ، والتي تُعد من تداخل مستويات الطاقة الاهتزازية الناتجة من تهيجات ثلاث فونونات رباعية القطب ( $6_0$  ،  $6_2$  ،  $6_3$ ) ، والشكل (٤-٢) يوضح ذلك ، وقد أشار (J. Stachel and N. Kaffrell) ، إلى أن نوية  $^{104}\text{Ru}$  مشوهة ، من خلال الحصول على تشويه الحالة الأرضية ثلاثية المحاور ( $20^\circ \leq \gamma < 30^\circ$ ) والجهد . وهذا جاء متوافق مع الدراسة الحالية ، وإن الأشكال (٣-٧) إلى (٣-١٠) تبين أن هذه النواة انتقالية ( $^{34,6}$ ) . وعند ملاحظة مخطط الانحلال ( $^{40,44,41}$ ) لنظير  $^{104}\text{Ru}$  ، إذ أُكِّد على المستوي  $6_3^+$  ، إذ أكدناه بمستوى طاقة مقداره ( $1.6 \text{ MeV}$ ) ، وذلك لقربه من المستويات المتهيجة العليا ، وكذلك أُكِّد المستوى  $6_3^+$  بمقدار ( $2.5 \text{ MeV}$ ) ، وحسب النتائج النظرية التي ظهرت لدينا .

#### ٤-٥-٢ احتمالية الانتقالات الكهربائية المختزلة $B(E2)$

##### Reduced electric transition probability $B(E2)$

يبين الجدول (٣-٢) قيم  $E2DD$  ،  $E2SD$  التي استعملت في إيجاد قيم  $B(E2)$  المسموحة ، والمبينة في الجدول (٣-٦) ، ولاحظنا ارتفاعاً عن قيم الاحتمالات للنظير السابق ، وهذه النتائج أظهرت قرب هذا النظير إلى التحديد الاهتزازي ، وتمثلت بانحلال  $6_3^+$  إلى  $6_2^+$  مباشرة ، وليس للمستوي  $6_1^+$  بقيمة ( $0.379 \text{ e}^2 \text{ b}^2$ ) ، وأيضا انحلال المستوى  $6_3^+$  إلى  $6_1^+$  بقيمة ( $0.295 \text{ e}^2 \text{ b}^2$ ) ( $^{34}$ ) ، وأما الشكل (٣-١٢) ، فقد أظهر تطابق قيم النسب ( $R''$  ،  $R'$  ،  $R$ ) للدلالة على الانحياز للصفة الاهتزازية من المنطقة الانتقالية  $O(6) \rightarrow SU(5)$  .

#### ٤-٥-٣ عزم رباعي القطب الكهربائي $Q$ وجهد طاقة السطح

##### Quadrupole moment and Surface Potential Energy:

للحصول على أكثر توضيح لخواص نظائر Ru الغنية بالنيوترونات ، ولكي نتصور هذه الخواص بُنيت سطوح طاقة الجهد من القيم التجريبية المستعملة بالنمط التجميعي العام الذي طور بواسطة (Gneuss and Greiner) ، إذ أن هذا النمط يبين كل أنواع التشويه رباعي القطب في النواة ، فالخطوط الكنتورية تمثل طاقة الجهد كدالة لمتغيرات التشويه الاعتيادية وسمك الخط يدل على طاقة نقطة الصفر ، والشكل (٣-١٧) يبين الانتقال من نوع المهتز التوافقي إلى نواة التشويه الثلاثي ، ففي  $^{102}\text{Ru}$  أقل طاقة جهد كان التشويه الصفري ، لكن حول مستوى موجة الدالة ، وهو يمتد فوق مدى عرض السطح ، الذي يدل على نوع النواة. وهذا يظهر أكثر في نواة  $^{104}\text{Ru}$  ، إذ إنه يكون على شكل متطاول (Prolate) ( $^{11}$ ) .

بعد إدخال متغيرات الاحتمالية ، حُصل على قيم عزم رباعي القطب الكهربائي للمستوي  $2_1^+$  ، إذ وجد أن قيم  $Q_{2_1^+}$  العملية والنظرية متقاربة ، وتظهر بالشكل (٣-١٣) ، وبالقيم (eb)  $-0.357$  النظرية و (eb)  $-0.35$  العملية  $(^{44})$  ، لذلك نستنتج أن هذه النوى تعاني من اهتزازات سطحية حول الشكل الكروي ناتجة من تفاعل الفونونات التي تسبب التشويه الثلاثي للنواة ، وهذا ما يؤكد سلوك جهد طاقة السطح الشكل (٣-١٧) ، والذي يظهر بداية التشويه الذي يحصل في هذه النوية ، وهذا يتفق مع رأي (J. Stachel)  $(^{56})$  ، (K. Summerer)  $(^{11})$  .

#### ٤-٦ نظير $^{106}\text{Ru}$

تتكون نواة  $^{106}\text{Ru}$  من (٤٤) بروتونا و (٦٢) نيوترونا ، أي أن العدد الكلي للبوزونات سيكون مساوياً إلى (٩) بوزون ، وأن المستويات المثيجة في النظيرين  $^{106,108}\text{Ru}$  ستكون ثابتة ، فهناك نقصان تدريجي مستمر ونظامي بطاقات تهيج المستوي  $2_1^+$  للنظيرين  $^{106,108}\text{Ru}$  ، مع زيادة تدريجية لنسبة الطاقة  $E_{4_1^+}/E_{2_1^+}$  ، ولكن تميل لأن تكون صغيرة في نظائر  $^{98-104}\text{Ru}$  ، إذ إنها ترتفع بعد نظير  $^{108}\text{Ru}$  إلى نظير  $^{112}\text{Ru}$  ، وهذا يؤكد أن نظائر الروثينيوم الغنية بالنيوترونات تزداد تدريجياً في نسبة التشوه  $(^{66,10})$  .

#### ٤-٦-١ مستويات الطاقة Energy Levels

تبين مستويات الطاقة  $(E_{8_1^+}/E_{2_1^+}), (E_{6_1^+}/E_{2_1^+}), (E_{4_1^+}/E_{2_1^+}), (E_{0_2^-}/E_{2_1^+})$  العملية  $(^{48,47,41,11})$  (٣.٦, ٢.٦, ٤.٧, ٧.٣) ، أن النسبة الأولى تقع بين التحديد  $SU(5)$  و  $O(6)$  ، وأما النسب الثلاثة الباقية تتطابق مع القيم النموذجية للتحديد  $O(6)$  ، ولكن بعد حل معادلات القيم الذاتية للتحديدات  $SU(3)$  ،  $SU(5)$  ،  $O(6)$  بالمعادلة (٢-٨)، (٢-١٦)، (٢-٢٢) على التوالي ، وأختبرت ، إذ أعطت تطابقاً جيداً مع نتائج  $O(6)$  بعد إعطاء العامل  $\in (0.72\text{MeV})$  ، بحيث كانت قيمته أكبر من قيمة  $\in$  في النظير السابق  $^{104}\text{Ru}$  ، كما موضح بالشكل (٤-١) ، وعندها يصبح الهاملتون المستعمل والذي تشير له المعادلة (٢-٣٢) يعود للمنطقة الانتقالية  $[SU(5) \rightarrow O(6)]$  ، والتي يكون فيها أكثر ميلاً للتحديد الاهتزازي ، ومما يؤكد ذلك ، الأشكال التي ظهرت لدينا لنسب الطاقة النظرية ، والتي كانت متوافقة مع النتائج العملية ، كما في الأشكال (٣-٧) إلى (٣-١٠) . أما طيف الطاقة الذي حُصل عليه من النتائج ، والموضح بالشكل (٣-٥) ، فيظهر تطابقاً جيداً مع جميع الحزم ، وخاصة الحزمة الأرضية (Ground state) .

وعند ملاحظة مخطط الانحلال  $(^{48,47,41,11})$  لنظير  $^{106}\text{Ru}$  ، إذ أكدَّ المستويين  $2_2^+$  ،  $0_2^+$  ، لذا أكدناهم بطاقتين جديدتين هما (٠.٩٩MeV) ، (٠.٨٧MeV) على التوالي ، وكانت الطاقتين متقاربة لأنهما يمثلان مظهر من مظاهر تفاعل الفونونات

(<sup>٦٧</sup>) ، وكذلك تم توقع مستويين  $6_1^+$  ،  $2_3^+$  بقيم طاقة مقدارها (1.3MeV) و (1.39MeV) ، إذ لاحظنا تقارب الطاقتين من المستويات المثيجة العليا (<sup>٦٢,٣</sup>) .

#### ٢-٦-٤ احتمالية الانتقالات الكهربائية المختزلة $B(E_2)$ :

#### Reduced electric transitions probability $B(E_2)$

يبين الجدول (٢-٣) قيم  $E_2SD$  ،  $E_2DD$  التي استخدمت في إيجاد قيم  $B(E_2)$  المسموحة ، والميمنة في الجدول (٧-٣) ، إذ ظهرت جميع القيم الانتقالية في النظير  $^{106}\text{Ru}$  أكبر من القيم الانتقالية للنظير  $^{104}\text{Ru}$  ، وأن الشكل (٣-١١) ، يظهر التوافق ما بين القيمة العملية والقيمة النظرية لهذا النظير الذي ينتمي للمنطقة الانتقالية  $[SU(5) \rightarrow O(6)]$  ، ويبدو ميوله إلى الخاصية الاهتزازية بسبب كبر العامل  $\epsilon$  ، الذي دخل في هاملتون هذه المنطقة الانتقالية إضافة إلى انحلال  $0_3^+$  إلى المستوي  $2_2^+$  بشكل مباشر ، وبقيمة مقدارها ( $0.438 e^2 b^2$ ) ، وعدم انحلاله إلى  $2_1^+$  ، وكذلك انحلال المستوي  $0_2^+$  إلى المستوي  $2_1^+$  ، وبقيمة مقدارها ( $0.334 e^2 b^2$ ) وهذه الانتقالات تشير إلى الصفة الاهتزازية (<sup>٣٤</sup>) .

#### ٣-٦-٤ عزم رباعي القطب الكهربائي $Q$ وجهد طاقة السطح :

#### Quadrupol moment and Surface Potential Energy

عند دراسة نتائج الاحتمالية بعد التعامل مع برنامج IBM-١ ، ظهرت لدينا قيم عزم رباعي القطب الكهربائي للمستوي  $Q_{2_1^+}$  ،  $Q_{2_2^+}$  ،  $Q_{2_3^+}$  ، وكانت تساوي (  $0.226 eb$  ،  $0.097 eb$  ،  $-0.355 eb$  ) على التوالي ، وعند مقارنتها بالقيم العملية (<sup>٤٦</sup>) ، نلاحظ تقارباً ظهر بالشكل (٣-١٣) ، دليل على أن النوية تعاني من اهتزازات سطحية حول الشكل الكروي ناتجة من تفاعل الفونونات ، والتي تؤدي إلى تشويه ثلاثي المحاور يتمثل بقوة الإجهاد على النوية بواسطة كل النويات الأخرى في النواة (<sup>٤</sup>) .

إن نتائج الاحتمالية ورباعي القطب الكهربائي وجهد السطح ، تؤكد على نقطتين مهمتين هما : أن التشويه المتطاوّل (Prolate) هو الصفة المميزة لنوية  $^{106}\text{Ru}$  (<sup>١٠</sup>) ، والنقطة الأخرى هي زيادة بالتشويه عند زيادة العدد النيتروني ، إذ أن الشكل (٣-١٨) ، يوضح ذلك ، إذ ظهر التشوه في نواة  $^{106}\text{Ru}$  أكبر من التشوه في نواة  $^{104}\text{Ru}$  ، وهناك دراسات أخرى تؤكد على نفس زيادة التشويه ، لكن مع تميز الشكل المفلطح (Oblate) (<sup>٦٨</sup>) .

#### ٧-٤ نظير $^{108}\text{Ru}$

نواة  $^{108}\text{Ru}$  تتكون من (٤٤) بروتوناً و (٦٤) نيوترونات ، أي أنها تحتوي على (١٠) بوزون ، وأن هذه النوية توصف من نويات التشويه الثلاثي المحاور

(Triaxial Deformation) ، والذي بدأ من نوية  $^{104}\text{Ru}$  ، وعلى شكل تشويه متطاوول (Prolate) ، لكنه يتغير في نواة  $^{106}\text{Ru}$  ،  $^{108}\text{Ru}$  إلى أشكال متناظرة ، إذ إن هذه النوية تزداد صلابة مقابل زيادة تشويه  $\beta$  ، وتميل لثبوت هذا التشوه مع زيادة العدد النيتروني (٦٩، ١١) .

#### ٤-٧-١ مستويات الطاقة Energy Levels

تبين نسب الطاقة العملية  $(^{48,41,11})$   $(E_{8^+}/E_{2^+}), (E_{6^+}/E_{2^+}), (E_{4^+}/E_{2^+}), (E_{0_2^+}/E_{2^+})$  ، على التوالي ، (٤ ، ٢.٧ ، ٥ ، ٨) وجدنا النسبة الأولى تقع بين التحديدين  $O(6)$  ،  $SU(5)$  ، والنسبة الثانية والثالثة تكون أقرب إلى التحديد  $O(6)$  ، أما النسبة الرابعة تقع بين التحديدين  $SU(3)$  و  $O(6)$  .

وعندما حُلَّت معادلات القيم الذاتية لجميع التحديدات  $O(6)$  ،  $SU(3)$  ،  $SU(5)$  والمتمثلة بالمعادلات (٢-٨) ، (٢-١٦) ، (٢-٢٢) على التوالي ، أُخْتَبِرَتْ ، وأعطت تطابقاً جيداً مع نتائج  $O(6)$  ، بعد إعطاء العامل  $\epsilon$  طاقة مقدارها (٠.٩٢ MeV) ، وهذا يعطي دلالة على انتماء النوية إلى المنطقة الانتقالية  $[SU(5) \rightarrow O(6)]$  ، وإن الهاملتون يتمثل بالمعادلة (٢-٣٢) ، وفيها يكون أكثر ميول للتحديد الاهتزازي ، ومما يؤكد ذلك ، تطابق نسب الطاقة العملية والنظرية ، وكما تظهر بالأشكال من (٧-٣) إلى (١٠-٣) ، فضلا عن تقارب المستويات المثيجة العليا  $(6_1^+, 4_2^+, 3_1^+, 0_3^+)$  ، وكانت (١.٢ MeV ، ١.٤ ، ١.٥ ، ١.٧ ، ١.٧) على التوالي ، التي تُعد من صفات تداخل مستويات الطاقة الاهتزازية  $(^{60,19,2})$  ، وأما رسم طيف الطاقة الخاص بالنظير  $^{108}\text{Ru}$  ، يظهر توافقاً في حزم الطاقة وخاصة الحزمة الأرضية ، ويؤكد ذلك الشكل (٦-٣) .

وعند ملاحظة مخطط الانحلال  $(^{48,41,11})$  لنظير  $^{108}\text{Ru}$  ، وجدنا عدم تأكيد المستويين  $6_1^+$  ،  $4_2^+$  ، أُكِّد بقيم نظرية للطاقة (١.٤٩ MeV) ، (١.٢ MeV) على التوالي ، وكذلك حُدِّد مستوى الطاقة (١.٩٦ MeV) و (٢.٨ MeV) بزخم وتماثل مقداره  $8_1^+$  ،  $10_1^+$  على التوالي ، إذ إنهما لم يكونا محددان عملياً .

#### ٤-٧-٢ احتمالية الانتقالات الكهربائية المختزلة $B(E2)$

##### Reduced electric transitions probability $B(E2)$ :

يبين الجدول (٢-٣) قيم  $E2SD$  ،  $E2DD$  التي استعملت في إيجاد قيم  $B(E2)$  المسموحة ، والمبينة في الجدول (٨-٣) ، والتي تتطابق مع النتائج العملية ، كما في الشكل (٣-١١) ، وهذا يدل على أن هذه النوية تنتمي للمنطقة الانتقالية  $[SU(5) \rightarrow O(6)]$  ، وتظهر ميولها إلى الخاصية الاهتزازية من خلال انحلال

المستوي  $0_3^+$  إلى المستوي  $2_2^+$  وليس للمستوي  $2_1^+$  ، وذلك لكون هذا الانتقال محظوراً لهذا التحديد <sup>(٣٤)</sup> ، إذ أن قيمة  $B(E2; 0_3^+ \rightarrow 2_2^+)$  تساوي  $(0.478 e^2 b^2)$  لنظير  $^{108}\text{Ru}$  ، في حين أن قيمة  $B(E2; 0_2^+ \rightarrow 2_1^+)$  تساوي صفر لهذا النظير ، زيادة على انحلال المستوي  $0_2^+$  للمستوي  $2_1^+$  ، وكانت تساوي  $B(E2; 0_2^+ \rightarrow 2_1^+)$  ، وكانت تساوي  $(0.359 e^2 b^2)$  ، وهذا الانحلال يشير إلى الصفة الاهتزازية <sup>(٣٣)</sup> .

### ٤-٧-٣ عزم رباعي القطب الكهربائي Q وجهد طاقة السطح

#### Quadruple moment and Surface Potential Energy

من خلال نتائج احتمالية الانتقال الكهربائي لنظير  $^{108}\text{Ru}$  ، ظهرت لدينا نتائج عزم رباعي القطب الكهربائي للمستوي الأول  $Q_{2_1}$  ، وكانت تساوي  $(-0.347 eb)$  ، إذ أنها متقاربة مع النتيجة العملية ، كما في الشكل (٣-١٣) ، لذلك نستنتج أن هذه النواة تعاني من اهتزازات سطحية حول الشكل الكروي وتسبب تشويه ثلاثي المحاور في النواة يكون على شكل تشويه متطاول ، والذي يعرف بعاملين هما  $\beta$  ،  $\gamma$  ، إذ أن  $\beta$  تمثل ابتعاد جهد معين عن الجهد الكروي للنوية ، وتقيس مقدار التشوه الكلي للنوية ، أما  $\gamma$  فهي مقدار الانحراف عن محور التماثل ، وفي حالة  $\gamma = 0$  ، فإن النوية يكون لها شكلاً متطاولاً ذو محاور ثلاثية متماثلة ، أما في حالة  $\gamma = \pi$  ،  $\gamma = \pi/3$  ،  $\gamma = 5\pi/3$  ، فإن الشكل النووي يكون قطعاً ناقصاً مفلطحاً <sup>(١٨)</sup> (Oblate) .

وعند دراسة جهد السطح لنظير  $^{108}\text{Ru}$  ، والحصول على قيم  $\beta$  ،  $\gamma$  ، ورسم الشكل الكنتوري والمخطط التناظري ، والظاهر بالشكل (٣-١٩) ، أتضح أن هذه النوية تعاني من تشوه ثلاثي المحاور ، الذي يكون على شكل متطاول ناتج عن زيادة العدد النيتروني ، وهذا يتفق مع رأي (K. Summerer) <sup>(١١)</sup> .

#### ٨-٤ المقترحات

١. إجراء دراسة مستقبلية على نظائر الروثينيوم الواقعة بين  $A=(108-112)$  لمعرفة التأثير الناتج عن زيادة العدد النيوتروني ، وتوقع انتقال نواة الروثينيوم من التشويه المتطاول (Prolate) إلى التشويه المفطح (Oblate).
٢. إجراء دراسة على مجموعة من الأيزوتونات (Isotones) (Te , Sn , Cd , Pd , Ru) لمعرفة تأثير زيادة عدد البروتونات في تغير شكل النواة ، وبالتالي نوع التحديد الذي تنتمي إليه هذه النوى .
٣. إجراء دراسة على نظائر الروثينيوم باستعمال نموذج (IBM-٢) الذي يميز بين بوزونات البروتونات وبوزونات النيوترونات لاحتوائه على معلومات أكثر عن خصائص مستويات الطاقة وتحديد شكل النواة .

## References

1. W. Meyerhof, Element of Nuclear Physics, McGraw Hill Book Company, New York, (1967).
2. A. Beser, Concepts of Modern Physics, McGraw Hill Book Company, New York, (1973).
3. B. Cohen, Concepts of Nuclear Physics, McGraw Hill Book Company, New York, (1971).
4. H. Enge, Introduction to Nuclear Physics, Addison Wesley, U.S.A, (1966).
5. F. Iachello and A. Arima, Phys. Lett., 53B, 309 (1974).
6. A. Arima and F. Iachello, Ann. Phys., 123, 468, (1979).
7. K. Summerer, N. Kaffrell and N. Trautmann, Nuclear Physics. A 308, 1, (1978).
8. J. Lange, J. Neuber, P. Tandler, C. D. Uhlhorn, A. T. Kandil and H. V. Buttlar, Nuclear Physics. A 330, 29, (1979).
9. E. H. Dumarchievan Voorthuysen, M. J. A. Devoigt, N. Blasi and J. Fw. Jansen, Nuclear Physics. A 348, 120, (1980).
10. S. Landsberger, R. Lecomte, P. Paradis, and S. Monaro, Phys. Rev. C, 21, 2, (1980).
11. K. Summerer, N. Kaffrell, E. Stender and N. Trautmann, Nuclear Physics. A 339, 74, (1980).
12. K. Heyde, P. Vanisaker, M. Waroquier, G. Wenes and Y. Gigase, Nuclear Physics. A 398, 230, (1983).

- ١٣.J. Stachel, N. Kaffrell and N. Trautmann, Atoms and Nuclei. ٣١٦, ١٠٥, (١٩٨٤).
- ١٤.A. Giannatiempo, A. Passeri, A. Perego and P. Sona, Phys. Rev. C, ٣٣, ٣, (١٩٨٦).
- ١٥.D. Bucurescu, G. Cata, D. Cutoiu, G. Constantinescu, M. Ivascu and N. V. Zamfir, Atomic Nuclei. ٣٢٤, ٢٨٧, (١٩٨٦).
- ١٦.S. J. Sanders, B. B. Back, R. R. Betts, D. Henderson, R. V. F. Janssens, K. E. Rehm, and F. Videbeak, Phys. Rev. C, ٣٧, ٣, (١٩٨٨).
- ١٧.G. S. Samudra, K. D. Carnes, F. A. Rickey, P. C. Simms and Sadek Zeghib, Phys. Rev. C, ٣٧, ٢, (١٩٨٨).
- ١٨.J. M. Al-Asady, Zero Transition and Structure by Using Collective Models to Isotopes Pt, Os, Ru, Pd, M. SC. Thesis, Al-Basrah University,( ١٩٨٩).
- ١٩.K. Zajac, L. Prochniak, K. Pomorski, S. G. Rohozinski, J. Srebrny, Nuclear Physics. A ٦٥٣, ٧١, (١٩٩٩).
- ٢٠.C. J. Barton, R. Krucken, C. W. Beausang, M. A. Caprio, R. F. Casten, J. R.Cooper, A. A. Hecht, H. Newman, J. R. NovaK and N. V .Zamfir, Phys. Rev. C, ٦٤, ٣١, (٢٠٠١).
- ٢١.N. Pietralla, C. J. Barton, R. Krucken, C. W. Beausang, M. A. Caprio, R. F. Casten, Phys. Rev. C, ٦٤, ٣, ١٣٠١, (٢٠٠١).
- ٢٢.L. Genilloud, T. B. Brown, F. Corminboeuf, P. E. Garrett, C. D. Hannant, Nuclear Physics. A ٦٨٣, ٢٨٧, (٢٠٠١).

٢٣. D. D. Warner, Nucl. Phys. A ٥٢٢, ١, (١٩٩١).
٢٤. C. Decoster, K. Heyde, B. Decroix, P. Van Isacker, J. Jolie, H. Lehmann, J. Wood, Nucl. Phys. A ٦٠٠, ٢٥١, (١٩٩٦).
٢٥. R. Casten and D. Warner, Rev. Mod. Phys. ٦٠, ٣٨٩, (١٩٨٨).
٢٦. Namik K. Aras and William B. Walters, Phys Rev. C, ١١, ٣, (١٩٧٥).
٢٧. H. Najy Al-Kafajy, A Study of Nuclear Structure of  $^{122-128}\text{Te}$  even-even Isotopes by the IBM-١, M. SC. Thesis, Babylon University, (٢٠٠٢).
٢٨. A. Arima and F. Iachello, Ann. Phys., ١١١, ٢٠١, (١٩٧٨).
٢٩. J. A. Barclay, S. S. Rosenblum, and W. A. Steyert, Phys. Rev. C, ١٤, ٣, (١٩٧٦).
٣٠. K. Abrahams, K. Allaart and A. Dieperink, B. Phys., ٦٧, ٥٣, (١٩٨١).
٣١. J. Jabber, Decay Schemes from The (n,  $\gamma$ ) Reaction on  $^{151}\text{Eu}$  and  $^{181}\text{Ta}$ , Ph. D. Dissertation, London University, (١٩٨٩).
٣٢. K. S. Krane and J. M. Shobaki, Phys. Rev. C, ١٦, ٤, (١٩٧٧).
٣٣. F. Iachello and A. Arima, The Interacting Boson Model, Cambridge University Press, Cambridge, (١٩٨٧).
٣٤. A. Arima and F. Iachello, Ann. Phys., ٩٩, ٢٥٣, (١٩٧٦).
٣٥. F. Iachello and Arima, Phys. Lett., ٥٣B, ٣٠٩, (١٩٧٤).
٣٦. C. L. Hollas, K. A. Aniol, D.W. Gebbie, Nuclear Physics. A ٢٧٦, ١, (١٩٧٧).

37. S. A. Dickey, J. J. Kraushaar and M. A. Rumore, Nuclear Physics. 12, 740, (1986).
38. L. R. Medsker and L. H. Fry, Phys. Rev. C, 10, 2, (1977).
39. A. Arima and F. Iachello, Ann Phys., 110, 320, (1978).
40. P. Van Isacher and J. Q. Chen. Phys. Rev. C 23, P 783, (1981).
41. C. Lederer and V. Shirley, Table of Isotopes, Wiley, New York, (1978).
42. J. K. Tuli, M. J. Martin, Nuclear Data Sheet, 39, P. 491, (1981).
43. J. K. Tuli, M. J. Martin, Nuclear Data Sheet, 30, P. 400, (1980).
44. J. K. Tuli, M. J. Martin, Nuclear Data Sheet, 41, P. 332, (1984).
45. J. Stachel, P. Hill and N. Kaffrell, Nuclear Physics, A 419, P. 097, (1984).
46. R. L. Able, Y. A. Ellis and M. J. Martin, Nuclear Data Sheets, 11, No. 3, (1974).
47. Y. A. Ellis, M. J. Martin and B. Harnatz, Nuclear Data Sheets, 30, No. 3, (1980).
48. J. Stachel, N. Kaffrell and N. Trautmann, Z. Phys. A-Atoms and Nuclei. 316, P. 112, (1984).
49. G. S. Samudra, K. D. Carner and F. A. Pickey, Physical Review. C, 37, P. 707, (1988).

- ୦୦.T. Venkova and W. Andrejtscheff, *At. Data and Nucl. Data Tables*, ୨୬, ୧୧, (୧୯୮୧).
- ୦୧.F. Rosel, H. Fries, K. Alder and H. Pauli, *At. Data and Nucl. Data Tables*, ୨୧, ୨୦୦, (୧୯୮୮).
- ୦୨.P. M Endt, *At. Data and Nucl. Data Tables*, ୨୬, ୧୧, (୧୯୮୧).
- ୦୩.S. Raman and C. W. Nestor, *At. Data and Nucl. Data Tables*, ୧୨, ୩୧, (୧୯୮୧).
- ୦୪.S. Raman, C. Malakey, W. Milner, C. Nestor and P. Stelson, *At. Data and Nucl. Data Tables*, ୩୬, ୧, (୧୯୮୮).
- ୦୦.W. D. Hamilton, *The Electromagnetic Interaction in Nuclear Spectroscopy*, American Elsevier Publishing Company, New York, (୧୯୮୦).
- ୦୬.J. Stachel and N. Kaffrell, *Nuclear Physics*. A୩୮୩, ୧୨୧, (୧୯୮୨).
- ୦୮.K. Heyde, J. Jolie, H. Lehmann, C. De Coster and J. Wood, *Nucl. Phys. A* ୦୮୬, ୧, (୧୯୯୦).
- ୦୯.A. Aprahamian, D. Brenner, R. Casten, R. Gill, A. Piotrowski and K. Heyde, *Phys. Lett.*, ୧୧୦B, ୨୨, (୧୯୮୧).
- ୦୯.K. Heyde, P. Van Isacker, M. Waroquier, and G. Wenes, *Phys. Rev. C*, ୨୦, ୩୧୬୦, (୧୯୮୨).
- ୧୦.W. F. Piel and G. Scharff-Goldhaber, *Phys. Rev. C*, ୩୦, ୩, (୧୯୮୧).
- ୧୧.R. J. Peterson, R. A. Emigh and R. E. Aderson, *Nuclear Physics*. A୩୧୮, ୮, (୧୯୮୦).

٦٢. W. Bursham, Nuclear Physics, Long Man Inc., New York, (١٩٨٥).
٦٣. A. Abdul Ameer, Investigations of Nuclear Energy Levels in  $^{82}\text{Kr}$ ,  $^{76}\text{Se}$  and  $^{194}\text{Pt}$ , Ph. D. Dissertation, London University, (١٩٩١).
٦٤. Steven M. Scoott, Directional Correlation Studies of Neutron Rich Barium Isotopes, Ph. D. Dissertation, Sussex University, (١٩٧٩).
٦٥. L. Langenin, Grenoble and France, Lectures on the IBM Model, Sussex University Press, Sussex, (١٩٨٣).
٦٦. W. D. Hamilton, the Electromagnetic Interaction in Nuclear Spectroscopy, North Holland Publishing Company Inc., New York, (١٩٧٥).
٦٧. M. Oros, P. Von Brentano, R. Jolos, L. Trache, G. Graw, G. Cata Danil, B. Valnion, A. Gollwitzer and K. Heyde, Nucl. Phys. A ٦١٣, ٢٠٩, (١٩٩٧).
٦٨. D. Bonatsos, Interacting Boson Models of Nuclear Structure, Clarendon Press, Oxford, (١٩٨٨).
٦٩. Samuel S. M. Wong, Introductory Nuclear Physics, Prentice Hall International, Inc., America, (١٩٩٠).