

## دراسة طيفية لنواة النيكل ${}^{60}_{28}\text{Ni}$ ودراسة تحليلية للسويتين المحرضتين $(2_1^+, 4_1^+)$ لهذه النواة بواسطة تفكك $(\beta^-)$ للنظير المشع الكوبالت ${}^{60}_{27}\text{Co}$

د. جبور نوفل جبور\*

د. هيثم ابراهيم جبيلي\*\*

سارة ابراهيم الجمال\*\*\*

(تاريخ الإيداع 31 / 8 / 2020. قُبِلَ للنشر في 10 / 11 / 2020)

### □ ملخص □

تم دراسة تفكك  $(\beta^-)$  لنظير الكوبالت  ${}^{60}_{27}\text{Co}$  باستعمال كاشف من يوديد الصوديوم ( $\text{NaI}$ ) المُشاب بالتاليوم ( $\text{Tl}$ ) مع قدرة فصل تقدر بـ (5.6%~).

دُرست التوزعات الزاوية للإنتقالين  $0_{g.s}^+ \rightarrow 2_1^+$  و  $2_1^+ \rightarrow 4_1^+$  لنواة النيكل  ${}^{60}_{28}\text{Ni}$ . تم مقارنة تركيب السويات الأولى المحرصة  $2_1^+$  و  $4_1^+$ ، النسبة  $E(4_1^+)/E(2_1^+)$ ، الانتقال  $B(E; 0_{g.s}^+ \rightarrow 2_1^+)$ ، وعامل التشوه  $\beta_2$  لهذه النواة مع نظائر النيكل الزوجية-الزوجية  ${}^{54}_{28}\text{Ni}$ ،  ${}^{56}_{28}\text{Ni}$ ،  ${}^{58}_{28}\text{Ni}$ ،  ${}^{70}_{28}\text{Ni}$ ،  ${}^{72}_{28}\text{Ni}$ ،  ${}^{74}_{28}\text{Ni}$  ومع بعض النوى الأخرى التي تقع في منطقة النيكل حيث عدد النيوترونات يتراوح ما بين القيمتين  $N = 28$  و  $N = 50$  واللذان يُعتبران عدداً سحريان. وتم أيضاً تحليل المعطيات بالاعتماد على نموذج الطبقات.

**الكلمات المفتاحية:** أشعة غاما، كاشف يوديد الصوديوم ( $\text{NaI}$ )، منبع مُشع، طيف طاقي، سويات محرصة، عامل التشوه  $\beta_2$ ، نموذج الطبقات، توزيع زاوي.

\* أستاذ - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

\*\* أستاذ - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

\*\*\* طالبة دراسات عليا (دكتوراه) - اختصاص فيزياء إشعاعية - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

# Spectroscopy Study of the ${}_{28}^{60}\text{Ni}$ and Structure of the Lowest Exited ( $2^+$ , $4^+$ ) States by Decay ( $\beta^-$ ) of the Cobalt Radioactive Isotope ${}_{27}^{60}\text{Co}$

Dr. Jabbour Noufal Jabbour\*

Dr. Haisam Ibrahim Jbeli\*\*

Sara Ibrahim Aljammal\*\*\*

(Received 31 / 8 / 2020. Accepted 10 / 11 / 2020)

## □ ABSTRACT □

The decay ( $\beta^-$ ) of  ${}_{27}^{60}\text{Co}$  isotope has been studied using a detector calibration  $\text{NaI(Tl)}$ , with an overall energy resolution ( $\sim 5.6\%$ ).

Angular distributions have been obtained for the tow transitions  $2_1^+ \rightarrow 0_{g.s}^+$  and  $4_1^+ \rightarrow 2_1^+$  states of  ${}_{28}^{60}\text{Ni}$ . Comparison between the structures of low-lying states  $2_1^+$  and  $4_1^+$ , the ratio  $E(4_1^+)/E(2_1^+)$ , the transition  $B(E; 0_{g.s}^+ \rightarrow 2_1^+)$ , and deformation parameter  $\beta_2$  of this nuclei with the even-even nickel isotopes  ${}_{28}^{54}\text{Ni}$ ,  ${}_{28}^{56}\text{Ni}$ ,  ${}_{28}^{58}\text{Ni}$ ,  ${}_{28}^{70}\text{Ni}$ ,  ${}_{28}^{72}\text{Ni}$ ,  ${}_{28}^{74}\text{Ni}$  is made and with some authors nucleus in the region where the neutrons number  $N = 28$  and  $N = 50$  considered magic numbers. The data have been analyzed with the Shell Model.

**Keywords:** Gamma rays, sodium iodide ( $\text{NaI}$ ) detector, source radioactive, energy spectrum, excited states, deformation parameter  $\beta_2$ , shell model, angular distribution.

---

\* Professor, Physics Department, Faculty of Science, Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\*Professor, Physics Department, Faculty of Science, Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\*\*Postgraduate Student, Radiation Physics, Department of Physics, Faculty of Science, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**مقدمة:**

إن الإطار العام لهذا البحث هو دراسة النوى الغنية بالنيوترونات، والتي تمتلك عدد من النيوترونات أو البروتونات القريبة من الأعداد السحرية. إن معرفة السويات الأولى المحرّضة وتركيبها يسمح بالمعرفة الجيدة لهذه النوى. هناك العديد من النماذج النظرية، المشروحة بشكل مفصل في أدبيات الفيزياء النووية، تصف بشكل جيد خواص النوى بجوار خط الاستقرار (الخط الذي من أجله يكون عدد البروتونات يساوي عدد النيوترونات في النواة)، أو القريبة منه. مع ذلك إن قدرة تنبؤ هذه النماذج ضعيفة، في حالة الكثير من النوى الغريبة. هناك العديد من الطرائق التي تسمح بمراقبة الحالات المحرّضة للنوى. على سبيل المثال، نستخدم كثيراً المنابع المشعة الصناعية حيث التفكك يؤدي إلى سويات محرّضة للنواة الوليدة. وفي أغلب الأحيان، فإن النواة الوليدة تتخلى عن طاقتها المحرّضة بشكل سريع عن طريق إصدار إشعاعات غاما  $\gamma$  متتالية، ويسمح كشف هذه الإشعاعات بالحصول على الطاقات الخاصة للنواة الوليدة، والتي يُراد دراستها. يمكن أيضاً استنتاج المميزات والصفات الكوانتية لهذه السويات المحرّضة المكتشفة، مثل السبين النووي والنوعية. إذاً، يكون لدينا ما يُدعى بمخطط السويات المحرّضة للنواة الناتجة عن التفكك. ويمكن أيضاً دراسة السويات المحرّضة بواسطة التفاعلات النووية.

تجريبياً، إن النوى التي تمتلك أعداداً من الجسيمات (النيوكليونات) مثل [1-9]:

$$Z, N = 2, 8, 20, 28, 50, 80, 126, \dots$$

مثل هذه النوى عُرفت بالنوى الأكثر ارتباطاً، أي أن النيوكليونات في هذه النوى تكون أكثر ارتباطاً من غيرها، وهذه الأعداد النيوترونات (N) والبروتونات (Z) تُدعى «بالأعداد السحرية». من المعروف الآن أن النوى التي تمتلك أعداداً زوجية من البروتونات والنيوترونات تكون أكثر استقراراً من النوى التي تمتلك أعداداً فردية من (N) أو (Z) أو الاثنين معاً. بعبارة أخرى، وجد أن النوى التي تحوي أعداد من البروتونات والنيوترونات، التي تُدعى «بالأعداد السحرية» هي الأكثر استقراراً، وبحيث يبدو وكأن هذه الأعداد تساهم في استقرار النوى. وهذه الأعداد، المذكورة أعلاه، معروفة في أدبيات الفيزياء النووية.

والنوى التي تحتوي على «أعداد سحرية» من البروتونات أو النيوترونات تُدعى «بالنوى السحرية»، وإذا بآن معاً، امتلكت هذه النوى «أعداد سحرية» من البروتونات والنيوترونات تُدعى «بالنوى السحرية المضاعفة».

إن وجود هذه الأعداد يقترح أو يقود إلى استخدام «نموذج الطبقات» المشابه للنموذج الذري، والمستوحى منه. يتألف هذا العمل من دراسة طيفية لنواة النيكل  $^{60}_{28}\text{Ni}$  ودراسة تركيبية للسويتين المحرضتين ( $2^+_1, 4^+_1$ ) لهذه النواة بواسطة تفكك ( $\beta^-$ ) للنظير المشع الكوبالت  $^{60}_{27}\text{Co}$ ، النسبة  $E(4^+_1)/E(2^+_1)$ ، الانتقال  $B(E; 0^+_{g.s} \rightarrow 2^+_1)$ ، وعامل التشوه  $\beta_2$  لهذه النواة مع نظائر النيكل الزوجية-الزوجية  $^{54}_{28}\text{Ni}$ ،  $^{56}_{28}\text{Ni}$ ،  $^{58}_{28}\text{Ni}$ ،  $^{70}_{28}\text{Ni}$ ،  $^{72}_{28}\text{Ni}$ ،  $^{74}_{28}\text{Ni}$  ومع بعض النوى الأخرى التي تقع في منطقة النيكل حيث عدد النوترونات يتراوح ما بين القيمتين  $N = 28$  و  $N = 50$  واللذان يُعتبران عدداً سحريان. وتم أيضاً تحليل المعطيات بالاعتماد على نموذج الطبقات.

**أهمية البحث وأهدافه:**

إن الهدف الرئيس لهذا البحث هو الدراسة الطيفية التجريبية للطيف الطاقي للنظير المشع الكوبالت  $^{60}\text{Co}$ ، دراسة التوزع الزاوي للسويتين المحرضتين ( $2^+, 4^+$ ) لنواة النيكل  $^{60}\text{Ni}$  الناتجة عن تفكك الكوبالت  $^{60}\text{Co}$ ، ومن ثم دراسة وتفسير آلية تحريض السويتين السابقتين، ومحاولة معرفة شكل نواة النيكل  $^{60}\text{Ni}$ ، هل هي كروية الشكل أو مشوهة؟ وذلك عن طريق دراسة وتحليل بعض المقادير الفيزيائية مثل  $E(4_1^+)/E(2_1^+)$ ،  $E(4_1^+)/E(2_1^+)$ ، و  $\beta_2$  التي تساعد بذلك.

**طرائق البحث ومواده:**

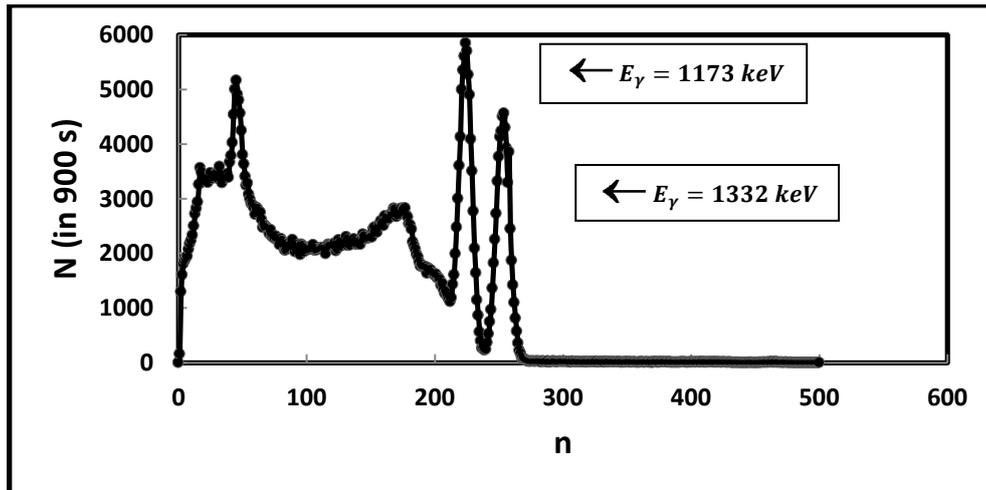
إن الأجهزة والأدوات المستخدمة في هذا البحث هي:

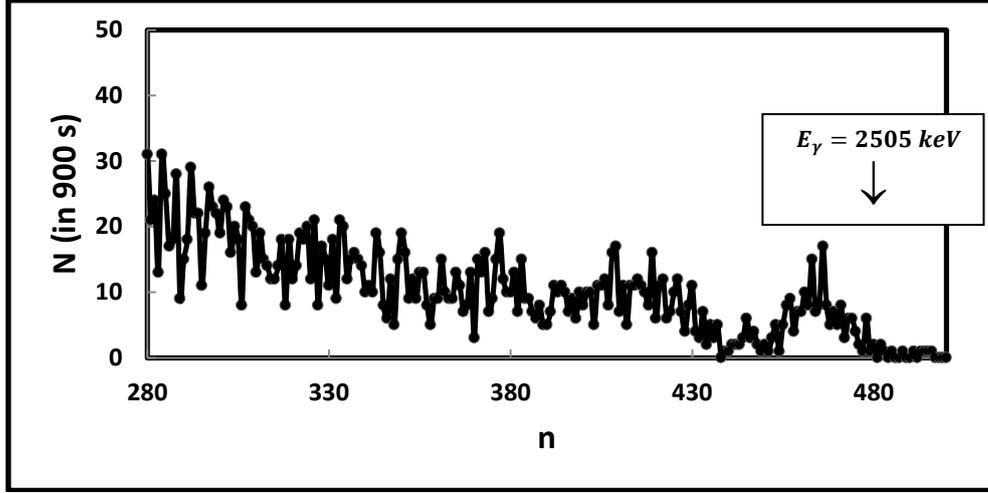
- 1- منبع مشع  $^{60}\text{Co}$ .
- 2- كاشف وميض.
- 3- محلل متعدد الأفتية.
- 4- حاسوب مُجهز ببرنامج (يُدعى CASSY) لمعالجة القياسات.

**ملاحظة:** جميع هذه الأجهزة [10] موجودة في مخبر الفيزياء النووية (قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة تشرين)، حيث تم إنجاز هذا البحث. ونشير هنا إلى أن آلية عمل الأجهزة المستخدمة، ومعايرة الكاشف سُرحت سابقاً في المرجع [11]، ويمكن الرجوع أيضاً إلى المراجع التالية [12-14].

**النتائج والمناقشة:****1- النتائج التجريبية:**

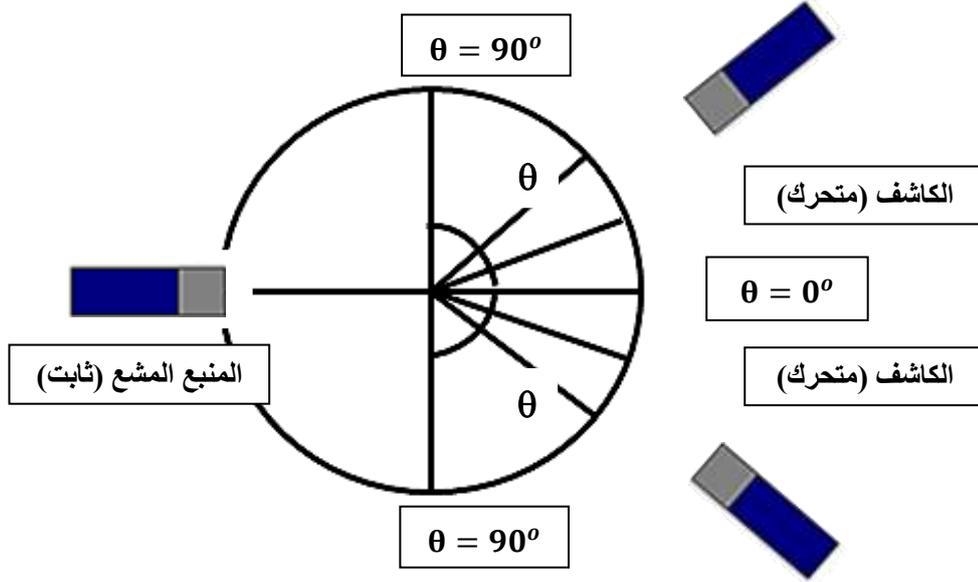
يمثل الشكل (1) الطيف الطاقي لنظير الكوبالت  $^{60}\text{Co}$ . معدّل العدّ  $N$  بتابعة رقم القناة  $n$ . (منبع معياري)،  $E_\gamma = (1173\text{keV}, 1332\text{keV}, 2505\text{keV})$ ، بُعد المنبع عن الكاشف (5cm).



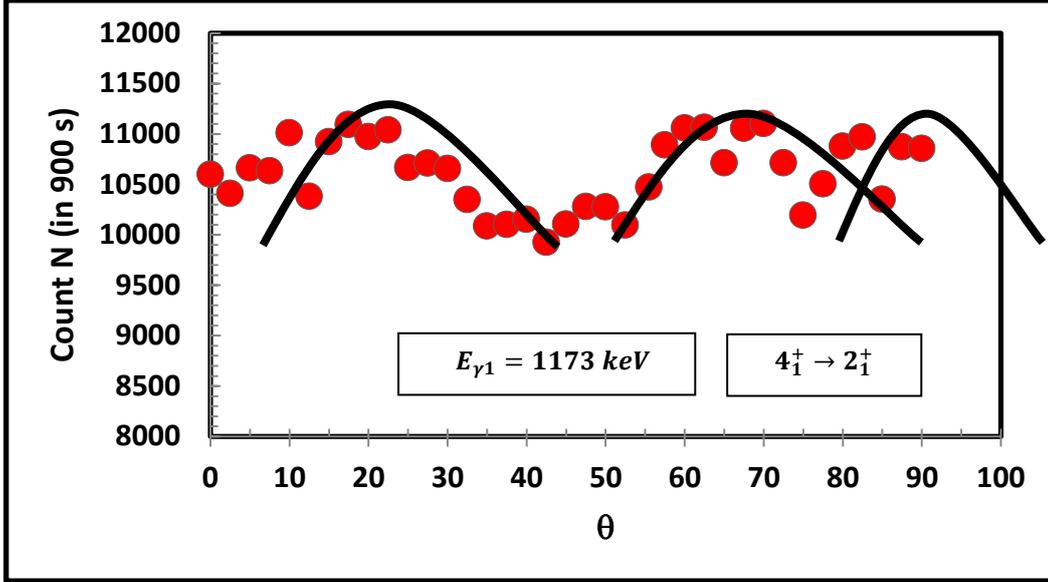


الشكل (1): يمثل الطيف الطاقي لنظير الكوبالت  $^{60}_{27}\text{Co}$ . معدل العد  $N$  بتابعية رقم القناة  $n$ . (منبع معياري)،  $E_\gamma = (1173 \text{ keV}, 1332 \text{ keV}, 2505 \text{ keV})$ ، بعد المنبع عن الكاشف (5cm)، تم تسجيل العد خلال 900 ثانية.

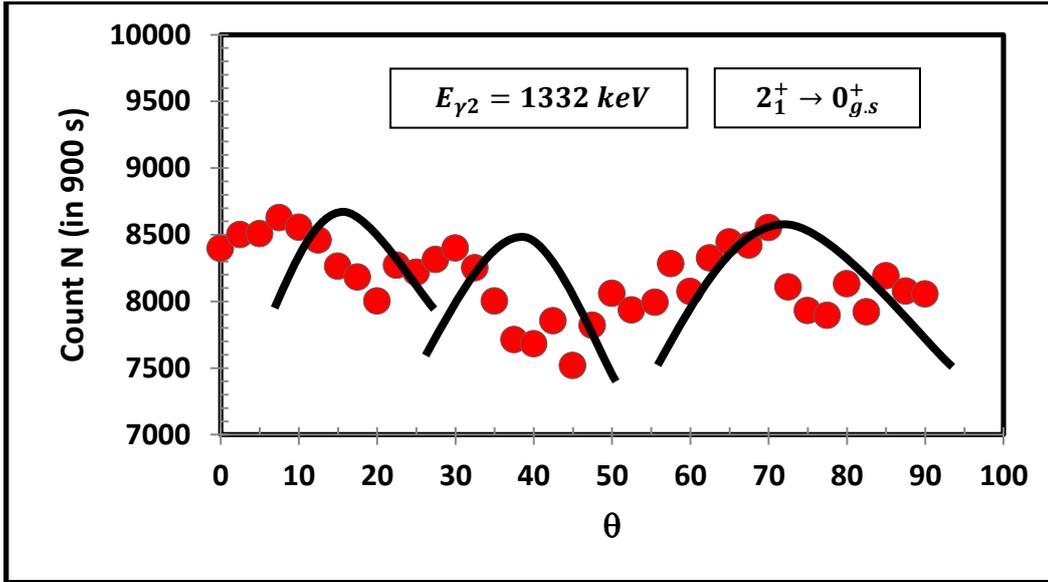
تم قياس التوزيع الزاوي لكل من الانتقاليين  $4_1^+ \rightarrow 2_1^+$  و  $2_1^+ \rightarrow 0_{g.s}^+$  بطاقتين (1173keV) و (1332keV) على التوالي لنواة النيكل  $^{60}_{28}\text{Ni}$  من أجل زوايا تتراوح قيمها بين  $0^\circ$  و  $90^\circ$ ، الشكل (2). إن الشكلين (3) و (4) يُمثلان التوزيعات الزاوية للانتقاليين السابقين.



الشكل (2): يوضح وضع الكاشف (المتحرك) بالنسبة للمنبع المشع (الثابت). يمكن تحريك الكاشف يمينا ويساراً، أي أنه يمكننا وضع الكاشف بالزاوية التي نريدها.



الشكل (3): يمثل تغير العد N بتابعية زاوية الكشف  $\theta$ . وهذا ما نطلق عليه اسم التوزيع الزاوي للخط الطيفي 1173 keV. وهذا يمثل الانتقال  $4_1^+ \rightarrow 2_1^+$  إن المنحنيات رسمت فقط من أجل توجيه العين.



الشكل (4): يمثل تغير العد N بتابعية زاوية الكشف  $\theta$ . وهذا ما نطلق عليه اسم التوزيع الزاوي للسوية  $2^+$  التي طاقتها 1332 keV. وهذا يمثل الانتقال  $2_1^+ \rightarrow 0_{g.s}^+$  إن المنحنيات رسمت فقط من أجل توجيه العين.

السؤال الذي يُطرح الآن هو التالي: ماذا نستنتج من التوزيعات الزاوية السابقة؟

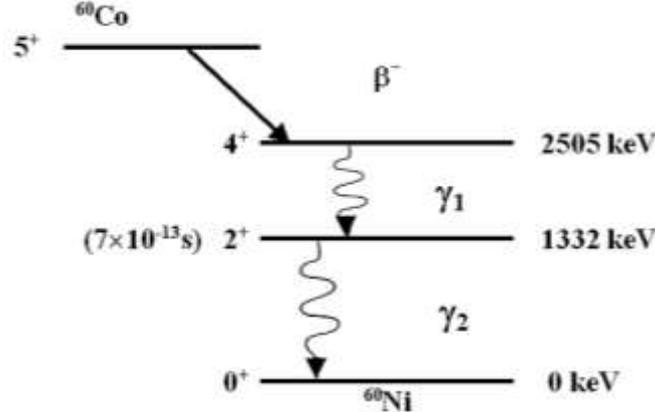
نستنتج أن كل انتقال له مميزات وصفات مختلفة عن الآخر، له تركيب خاص به. فالقيمة العظمى الأولى للانتقال  $4_1^+ \rightarrow 2_1^+$  تتواجد عند الزاوية  $\theta = 15^\circ$ ، بينما العظمى الأولى للانتقال  $2_1^+ \rightarrow 0_{g.s}^+$  تتواجد عند الزاوية  $\theta = 10^\circ$ . وعادة في هذا المجال، أو في هذا النوع من الدراسات، فإنه كلما زادت قيمة السبين النووي  $J^\pi$ ، بعبارة

أخرى، كلما ازدادت قيمة  $l$ ، فإن القيمة العظمى الأولى للتوزيع الزاوي ينزاح نحو اليسار، أي باتجاه القيم المتزايدة للزاوية [15]، وهذه النتائج تتوافق مع النتائج المتعارف عليها في هذا النوع من الدراسات.

### 1- دراسة ومناقشة السويتات المحرّضة:

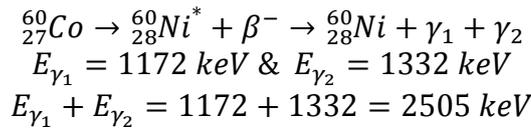
يُطرح الآن السؤال الآتي: ما هي آلية تحريض السويتات المحرّضة للنيكل  $^{60}_{28}\text{Ni}$ ؟ هل هي تحريض فردي أو تحريض جماعي، أو ماذا؟

يمثل الشكل (5) مخطط التفكك لنظير الكوبالت  $^{60}_{27}\text{Co}$  المشع.



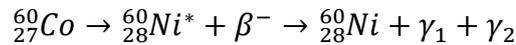
الشكل (5): مخطط التفكك لنظير الكوبالت  $^{60}_{27}\text{Co}$  المشع.  $E_{\gamma_1} = 1173 \text{ keV}$  و  $E_{\gamma_2} = 1332 \text{ keV}$ .

إذا أخذنا الطيف الطاقي للكوبالت-60 ( $^{60}\text{Co}$ ) نلاحظ أن هناك خط طيفي صغير يتموضع عند الطاقة (2505keV). إن مصدر هذا الخط الطيفي هو أن الاحتمال غير المعلوم للحصول على مفعولين كهروضوئيين، يرافقان فوتونين  $\gamma$  بطاقتين: (1173keV) و (1332keV) ينبعثان من النيكل-60 ( $^{60}\text{Ni}$ ) الذي يتخلى عن طاقته، بالوقت نفسه، ويعود إلى حالته الأساسية. يُرسل عند ذلك المهبط الضوئي إلكترونين بالوقت نفسه، يُضخمان بالوقت ذاته، ونرى ظهور خط طيفي طاقته تساوي مجموع الطاقتين:

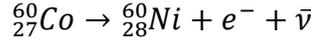


إن تفكك نظير الكوبالت-60 يتم بوساطة تفكك  $\beta^-$  (أي تحول نترون إلى بروتون)، في معظم الأحيان (أكثر من 99%)، إلى السوية المحرّضة (2505keV) للنيكل  $^{60}\text{Ni}$ . ويتفكك لاحقاً إلى الحالة الأساسية مُصدراً فوتون غاما طاقته (1173keV) متبوعاً، تقريباً بأن واحد، بفوتون غاما آخر طاقته (1332keV) نحو الحالة الأساسية (إن حياة السوية 1332keV تُقدر بـ  $7 \times 10^{-13} \text{ s}$ ، بحيث أن الفوتونين غاما يظهران وكأنهما مترامنان من الناحية التجريبية) [16].

تُعطى معادلة التفكك لنظير الكوبالت-60 على النحو الآتي:



تُحسب الطاقة الناتجة عن التفكك (أو الطاقة الكلية) على النحو الآتي:



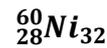
$$Q_{\beta^{-}} = (M_{\text{Co}} - M_{\text{Ni}})c^2 = (59.933813u - 59.930787u) \left( \frac{931.5\text{MeV}}{u} \right) = 2,818719 \text{ MeV} \\ \cong 2,819 \text{ MeV} \cong 2819 \text{ keV}$$

وبمقارنتها مع القيمة:

$$E_{\gamma_1} + E_{\gamma_2} = 1172 + 1332 = 2505 \text{ keV}$$

نلاحظ أن الفارق بينهما يساوي تقريباً  $(2819 - 2505 = 314 \text{ keV})$ ، وهذا الفرق هو نتيجة ضياع في الطاقة عند الخروج من المنبع ومن ثم عند الدخول في الكاشف. وهكذا نحصل على نفس القيم الموضحة على الشكل (5). بالعودة إلى النواة  ${}^{60}_{28}\text{Ni}$  الناتجة عن تفكك النظير المُشع للكوبالت  ${}^{60}_{27}\text{Co}$  نلاحظ أن هذه النواة هي زوجية البروتونات والنيوترونات. واستناداً إلى نموذج الطبقات، فإن توزيع البروتونات والنيوترونات على الطبقات النووية موضح في الشكل (6).

$1f_{5/2}$		●○○○○○		
$2p_{3/2}$		●●●●		●●●●
	28	28	28	28
$1f_{7/2}$	●●●●●●○	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●
	20	20	20	20
$1d_{3/2}$	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●
$2s_{1/2}$	●●	●●	●●	●●
$1d_{5/2}$	●●●●●●	●●●●●●	●●●●●●	●●●●●●
	8	8	8	8
$1p_{1/2}$	●●	●●	●●	●●
$1p_{3/2}$	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●
	2	2	2	2
$1s_{1/2}$	●●	●●	●●	●●
	بروتونات	نيوترونات	بروتونات	نيوترونات



الشكل (6): توزيع البروتونات والنيوترونات على الطبقات النووية لكل من  ${}^{60}_{27}\text{Co}_{33}$  و  ${}^{60}_{28}\text{Ni}_{32}$  وفق نموذج الطبقات.

● مكان مملوء ○ مكان فارغ

استناداً إلى ذلك، وإلى توزيع البروتونات والنيوترونات على الطبقات وفق نموذج الطبقات، فإن سببين ونوعية الحالة الأساسية (المستقرة غير المُحرّضة) للنوى المدروسة هي [17]:

من أجل  ${}^{60}_{28}\text{Ni}_{32}$  (زوجية - زوجية):

$$(J^{\pi}) = 0^{+}$$

وذلك لأنهما نوى زوجية البروتونات والنيوترونات

من أجل  ${}^{60}_{27}\text{Co}_{33}$  (فردية - فردية):

$$\pi = (-1)^{\ell_n + \ell_p} = (-1)^{f+f} = (-1)^{3+3} = + \\ \rightarrow (J^{\pi}) = 0^{+}, 1^{+}, 2^{+}, 3^{+}, 4^{+}, 5^{+}, 6^{+}$$

ووجد تجريبياً أن  $(J^{\pi}) = 5^{+}$  وهي قيمة تقع بين القيم المتوقعة نظرياً.

والسؤال الذي يُطرح الآن هو: كيف يمكن تحديد سببين ونوعية السويات المُحرّضة للنوى؟

**1-1- صفات ومميزات نوى النيكل  $Ni$ :**

إن دراسة النوى التي تنتمي إلى الطبقات (أو المدارات)  $fp$  أصبحت ذات أهمية عظيمة، وذلك لأنه بواسطة حسابات نموذج الطبقات يمكن الاستنتاج ميكروسكوبياً التفاضل بين التحريضات ذات المنشأ الفردي وتلك ذات المنشأ الجماعي في فراغ التشكيل  $fp$ .

إن نواة النيكل  $^{60}_{28}\text{Ni}$  هي نواة زوجية البروتونات وزوجية النيوترونات. تحتوي على 28 بروتوناً و 32 نوتروناً. إن العدد 28 يُعتبر عدداً سحرياً (نواة سحرية البروتونات)، بينما ليست سحرية النيوترونات، ولكن المدار (أو الطبقة الجزيئية)  $2p_{3/2}$  هو مدار مملوء يحتوي أربع نيوترونات. بعبارة أخرى، فإن هذه النواة تتميز بوجودها بين الطبقتين المملوئتين  $N = 28$  و  $N = 40$ . لذلك من المهم معرفة سلوك هذه النواة التي تقع في هذه المنطقة: كيف تتعرض؟ كيف يمكن الحصول على سبينها النووي انطلاقاً من نموذج الطبقات؟ إضافة لذلك، فإن معرفة سلوك طاقات السوية المحرصة  $E(2^+_1)$  والانتقال  $B(E; 0^+_{g.s} \rightarrow 2^+_1)$  للنوى الزوجية-الزوجية للنيكل  $Ni$  يساهم بالمعرفة الإضافية لسلوك النوى التي تقع في هذه المنطقة ومنها النواة  $^{60}_{28}\text{Ni}$ .

**أولاً: دراسة سلوك طاقات السويات المحرصة  $E(2^+_1)$  للنوى الزوجية - الزوجية للنيكل  $Ni$ :**

إن طاقة السويتين  $2^+_1(1332 \text{ keV})$  و  $4^+_1(2505 \text{ keV})$  لنظير النيكل 60 تم استنتاجهما من الدراسة التجريبية الطيفية لتفكك الكوبالت 60. النتائج التي تم الحصول عليها موضحة في الشكل (5). إن النتائج التي تم الحصول عليها متوافقة مع النتائج المعتمدة في هذا المجال.

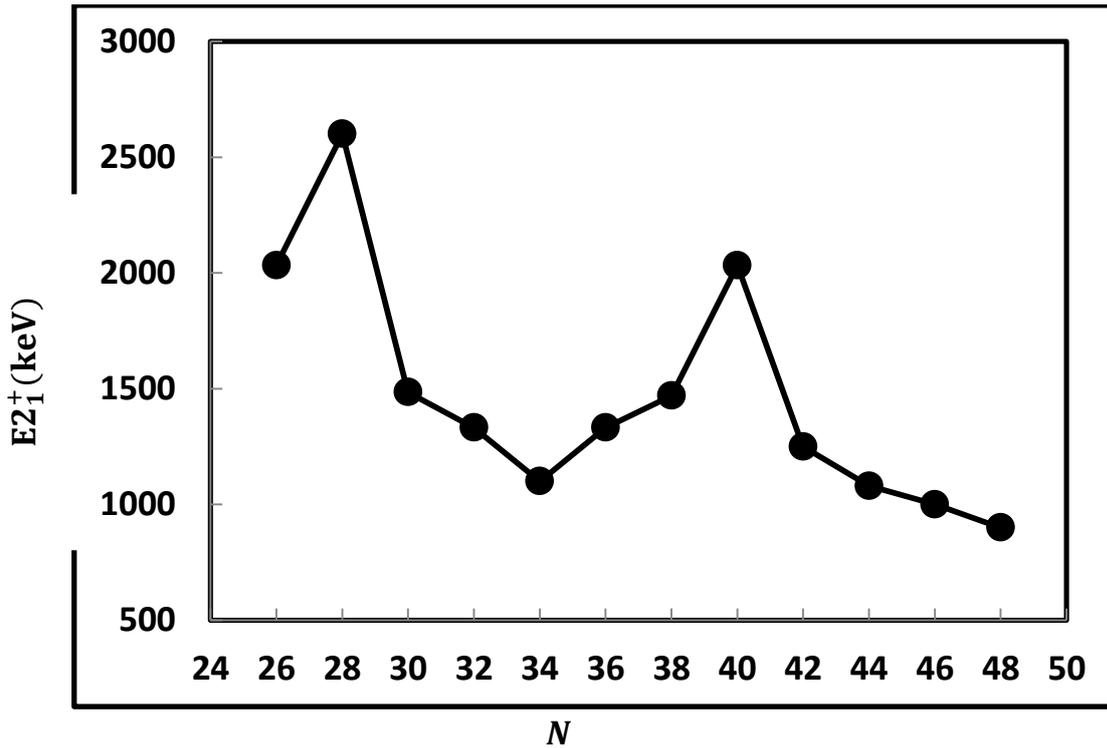
يوضح الجدول (1) طاقات السوية المحرصة للنوى الزوجية - الزوجية للنيكل، بينما الشكل (7) يبين تغير هذه الطاقات بتأثير عدد النيوترونات [18-27]، بينما الشكل (8) يبين تغير الطاقات التحريضية للسوية الأولى  $E(2^+_1)$  من أجل النوى الزوجية-الزوجية للنيكل  $Ni$  [21, 25, 27, 28].

الجدول (1): طاقات السويات المحرصة  $E(2^+_1)$  و  $E(4^+_1)$  [18-27]، النسبة  $E(4^+_1)/E(2^+_1)$

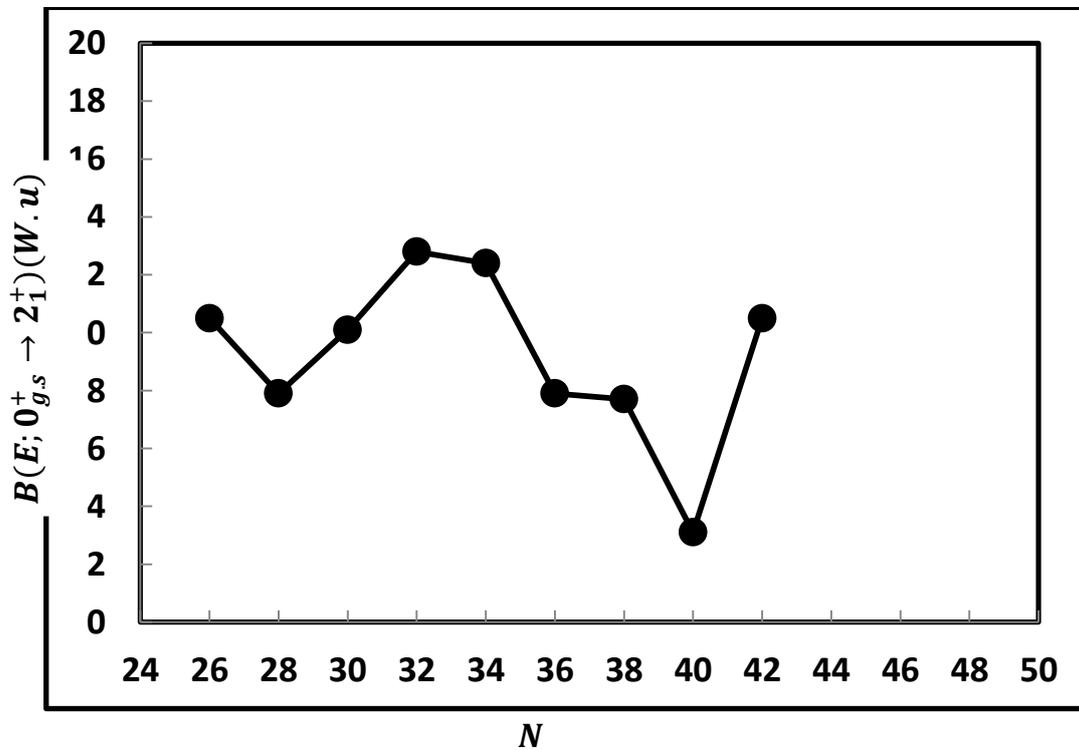
واحتمال الانتقال مقدراً بوحدة الفايكوف "Weisskopf unit - W.u"  $B(E; 0^+_{g.s} \rightarrow 2^+_1)(W.u)$  [21, 25, 27, 28].

للنوى الزوجية - الزوجية للنيكل.

Z	N	A	Noyau	$E(2^+_1)$ (keV)	$E(4^+_1)$ (keV)	$E(4^+_1)/E(2^+_1)$	$B(E; 0^+_{g.s} \rightarrow 2^+_1)$ (W.u)
28	26	54	Nickel (Ni)	2033			10,5
	28	56		2600			7,9
	30	58		1485	2458	1,66	10,1
	32	60		1332	2505	1,88	12,8
	34	62		1100	2334	2,12	12,4
	36	64		1345	2609	1,94	7,9
	38	66		1424	3184	2,24	7,7
	40	68		2034	3149	1,55	3,1
	42	70		1259	2228	1,77	10,5
	44	72		1080			
	46	74		1000			
	48	76		900			



الشكل (7): تغير الطاقات التحريضية للسوية الأولى  $E(2_1^+)$  من أجل النوى الزوجية-الزوجية للننكل  $Ni$  [18-27].



الشكل (8): تغير الانتقال  $B(E; 0_{g.s}^+ \rightarrow 2_1^+) \text{ (W.u.)}$  من أجل النوى الزوجية-الزوجية للننكل  $Ni$  [21, 25, 27, 28].

تاريخياً، إن نواة النيكل  $^{68}_{28}\text{Ni}_{40}$  التي تحتوي على 28 بروتون و 40 نيوترون وبحسب نموذج الطبقات الكروية، نقول عنها إنها نواة مضاعفة السحرية، أي سحرية البروتونات والنيوترونات. يفصل هذا النظر عن النظر المضاعف السحرية  $^{78}_{28}\text{Ni}_{50}$  الطبقة الجزئية (أو المدار) للنيوترونات  $1g_{9/2}$ ، وهو أول مدار ما بعد الفراغ  $fp$ . إن دراسة الطبقة  $N = 40$  نال أهمية كبيرة تجريبياً ونظرياً. إذا أن الفجوة  $N = 40$  ضعيفة وأن  $N = 28$  و  $N = 50$  عبارة عن عددين سحريين، فإن طاقة السوية  $E(2^+)$  للنوى الزوجية - الزوجية بين هاتين الطبقتين المغلقتين يجب أن يأخذ قيمة صغرى في منتصف الطبقة، هذا يعني من أجل  $N = 40 - 38$ ، وأن احتمال الانتقال بين السوية  $2^+$  والسوية الأساسية  $0^+_{g.s.}$  ( $g.s. - ground stat$ ) أي  $B(E; 0^+_{g.s.} \rightarrow 2^+)(W.u)$  يجب أن يكون أعظماً. مع ذلك، كما يمكن رؤيته في الشكل (7)، فإن طاقة السوية الأولى  $2^+$  لـ  $^{68}_{28}\text{Ni}_{40}$ ، أي عند  $(N = 40)$  تساوي  $[27-18] (E2^+ = 2033 keV)$  تصل إلى قيمة عظمى، بينما احتمال الانتقال  $B(E; 0^+_{g.s.} \rightarrow 2^+)(W.u)$  يصل إلى قيمة صغرى، الشكل (8)، وهي أصغر بـ (2,5) مرة من احتمال الانتقال لـ  $^{56}_{28}\text{Ni}_{28}$  الذي يُقدر بـ  $B(E; 0^+_{g.s.} \rightarrow 2^+) = 7,9 (W.u)$ .

إن هذه الخصائص تُعتبر إشارات ودلائل تجريبية تشير إلى أن النواة  $^{68}_{28}\text{Ni}_{40}$  هي نواة مضاعفة العدد السحري، أي أن الطبقة  $N = 40$  تُعتبر طبقة مملوءة، أي مغلقة بشكل جيد.

إن الدليل الأول على الصفة السحرية لـ  $^{68}_{28}\text{Ni}_{40}$  كان اكتشاف السوية الأولى المحرصة عند الطاقة  $(1770 keV)$  والتي فُسرت على أنها السوية  $0^+_{27, 29}$  (أطروحة نيكل 68). إذاً هناك قلب بين السوية  $2^+$  والسوية  $0^+$  حيث تم ملاحظة ذلك في حالة النوى مضاعفة السحرية الكالسيوم  $^{40}_{20}\text{Ca}_{20}$  والأكسجين  $^{16}_8\text{O}_8$ . إضافة لذلك، سمحت هذه التجربة، بوضوح، بوجود حالة إيزوميرية  $5^-$  (نوى لها نفس عدد الجسيمات  $A$  ونفس عدد البروتونات  $Z$ )، تغذي السوية الأولى  $2^+$ ، والتي سببها تحريض نيوترون في الطبقة النيوترونية  $1g_{9/2}$ . إن الباحثين يُلخصون ذلك بالقول إن النواة  $^{68}_{28}\text{Ni}_{40}$  تمثل نفس تركيب النواة الكروية الشكل  $^{90}_{40}\text{Zr}_{50}$ ، أي أن النواة  $^{68}_{28}\text{Ni}_{40}$  هي نفسها نواة كروية.

مع ذلك، إن قياسات الكتلة، التي تُعرف بأنها برهان أكثر حساسية، وأكثر مباشرة تضع بوضوح الطبقات المغلقة، لا تشير بشكل واضح وجلي إلى أن  $N = 40$  هي عبارة عن فجوة نيوترونية [30]. هناك العديد من تنبؤات أو توقعات نموذج الطبقات دفعت الفيزيائيين التجريبيين للبحث عن إيزوميرات في تلك المنطقة من الكتلة. فقد اكتشف Grzywacz وزملائه [31] في عام 1998، أن العديد من الإيزوميرات حول  $^{68}_{28}\text{Ni}_{40}$ ، وهذا بدوره دعم وعزز الفكرة القائلة بأن  $^{68}_{28}\text{Ni}_{40}$  يمكن أن تكون مضاعفة سحرياً. مع ذلك، في عام 1999، برهن Hannawald وزملائه [32] من خلال دراستهم لتفكك  $\beta$  على أن الإيزوتونات (نوى لها نفس عدد النيوترونات  $N$ ) المجاورة لـ  $^{68}_{28}\text{Ni}_{40}$  تمتلك مدة حياة كبيرة، وهذا بحد ذاته إشارة لزيادة مفهوم الصفة الجماعية. وأيضاً برهن Mueller وزملائه [33] من خلال تقاعلات لتفكك  $\beta$  التي أنجزوها أن الفجوة  $N = 40$  تتلاشى عند الابتعاد عن  $^{68}_{28}\text{Ni}_{40}$ .

يمكن تفسير هذا التناقض الظاهري باختلاف النوعية لمدارات الطبقة  $fp$  (نوعية سالبة) وطبقة النيوترونات  $1g_{9/2}$  (نوعية موجبة) [34]. بما أن التحريضات رباعية الأقطاب الكهربائية تحفظ النوعية، فهي ممنوعة بين الطبقات  $fp$  و  $1g_{9/2}$  حول  $N = 40$  [21، 35]. في حالة  $^{68}_{28}\text{Ni}_{40}$ ، فإن الحالة  $2^+$  لا يمكن أن تُبنى إلا انطلاقاً من تحريض زوج من النيوترونات في الطبقة  $1g_{9/2}$ ، بعكس النظائر الزوجية - الزوجية والتي فيها تجمع بسيط للعزوم الزاوية يُعتبر كافي. إن ضعف الفجوة  $N = 40$  يجعل من الممكن هذا التحريض لزوج من النيوترونات بالرغم من أن

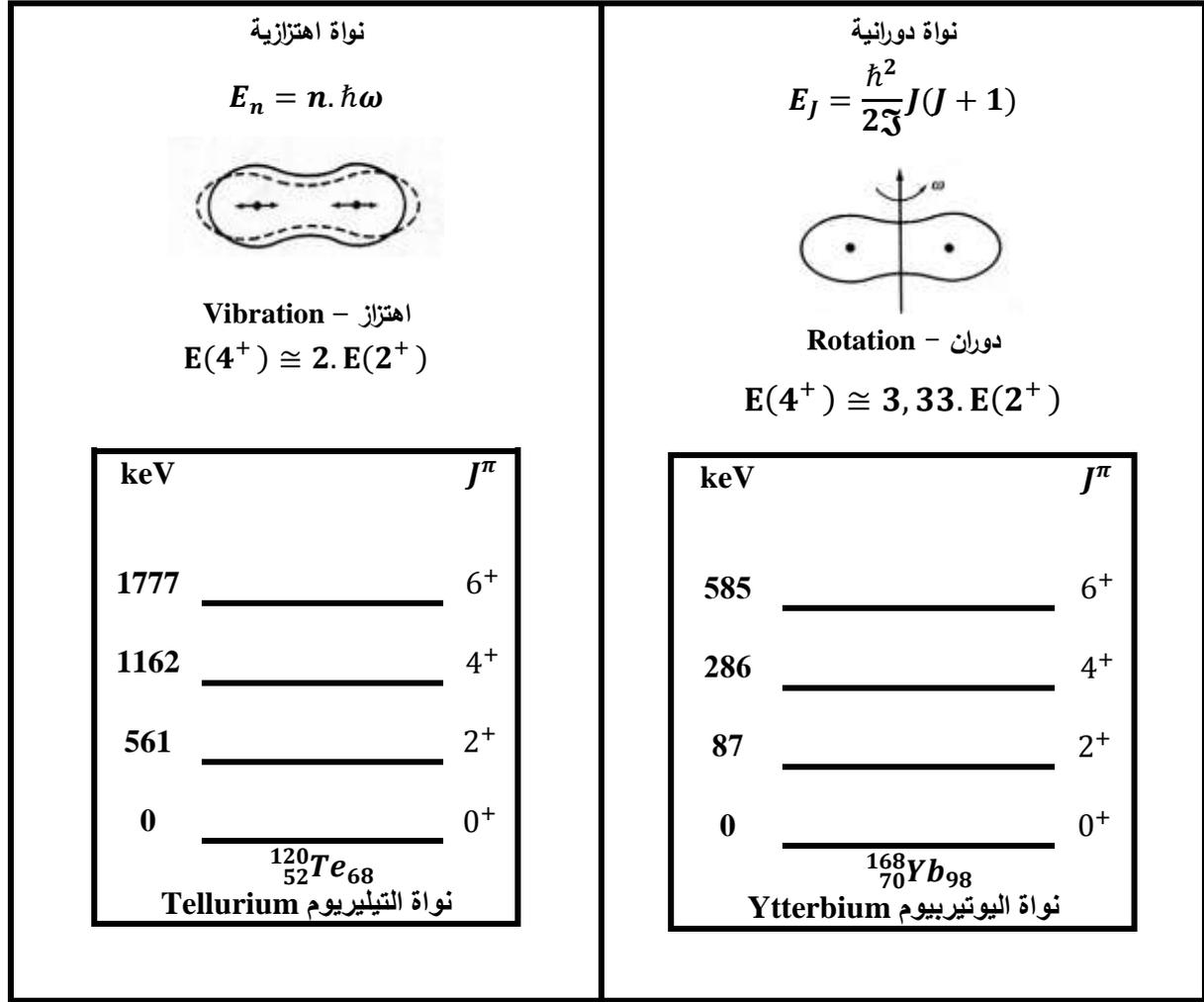
النيوترونات غير مشحونة، هذا يعني أنها لا تؤثر على احتمال الانتقال الكهربائي  $B(E2)$ ، وهذا يقود إلى استقطاب للقلب، وانطلاقاً من ذلك يتم تحريض البروتونات ما فوق الفجوة  $N = 28$  والذي يساهم في  $B(E2)$ . بدون هذا المفعول للنيوترونات في  ${}^{68}_{28}\text{Ni}_{40}$ ، قيمة  $B(E2)$  يكون لها قيمة أضعف [36]. إن القيمة التجريبية لـ  $B(E2)$  للحالة  $2_1^+$  ليست مؤشر عن صفة المضافعة السحرية لـ  ${}^{68}_{28}\text{Ni}_{40}$  لكن تأخذ تلك الصفة من مصدر آخر، من آلية أكثر تعقيداً. ثانياً: دراسة سلوك النسبة  $E(4_1^+)/E(2_1^+)$  للنوى الزوجية الزوجية للنيكيل Ni ومفهوم التشوه: مفهوم الحركة الجماعية:

يمكن أن يُفهم التركيب الأساسي لنواة بفضل تحديد ومعرفة مميزات الحالات النووية بتابعية طاقة التحريض. تُطلق على سوية ذات الطاقة الأقل لنواة ما بالسوية الأساسية. تُقسم السويات المُحرّضة لنواة، بشكل أساسي، إلى سويات فردية (بنيوكلينون أو ثقب) وسويات جماعية (يتم فيها تحريض مجموعة من النيوكليونات) [1، 8، 15]. إن النوى ذات الاستقرار الكبير، أو ما فوق الاستقرار، تمتلك عدد سحري من النيوترونات والبروتونات تؤثر بشكل مباشر على طاقة سوياتها الأولى المُحرّضة [1، 8، 15]. هذا يعني أنه يجب إعطاء طاقة كبيرة لتحريض نواة تمتلك طبقة نووية مغلقة.

يمكن من أجل نواة لأكروية (أي بعيدة عن الطبقات المغلقة أو المملوءة)، تشكيل حالة  $2^+$  جماعية (بجعل النواة تدور على سبيل المثال). مثل تلك الحالات تكون طاقتها ضعيفة جداً ومن السهل إشغالها. إن طاقة السوية الأولى المُحرّضة  $E(2_1^+)$  تُعتبر ذات أهمية كبيرة، وذلك لأنها تُعطي معلومات عن عزم عطالة النواة التي ترتبط بشكل مباشر بشكلها التركيبي. في حالة نواة زوجية-زوجية تقوم بحركة دورانية جماعية يمكن ملاحظتها في النوى المشوهة (دوران حول محور تناظري)، انظر الشكل (9)، فإن التسلسل الطاقى لهذه الحالات يُعطى بالعلاقة التالية:

$$E_J = \frac{\hbar^2}{2\mathcal{I}} J(J + 1)$$

حيث  $\mathcal{I}$  عزم عطالة النواة، و  $J$  العزم الزاوي. ونشير إلى أن العزوم الزاوية للسويات الدورانية تأخذ قيم زوجية:  $J^\pi = 0^+, 2^+, 4^+, 6^+, \dots$  انظر الشكل (9).



الشكل (9): مثالين لتسلسل سويات الطاقة الناتجة عن الحركة الدورانية والاهتزازية لنواتي اليوتيريوم والتيلوريوم. تشير الأرقام من جهة اليمين إلى السبين والنوعية للسوية، والأرقام من جهة اليسار إلى طاقة السوية مقدرة بالـ keV.

وهكذا فإن التغير النظامي لطاقة السوية  $E(2^+_1)$  يمكن أن يُعتبر مؤشر للانتقال من نموذج الجسيم الفردي إلى النموذج الجماعي والعكس بالعكس. إن العلاقة بين  $E(2^+_1)$  ودرجة الجماعية في نواة يُمكن أن تُعطى بتابعية عامل التشوه الذي نرمز له هنا بـ  $\beta$ ، بالعلاقة التجريبية المقترحة من قبل Stelson و Grodzins [37]:

$$E(2^+_1) = \frac{1125}{A^{7/3} \cdot \beta^2} \text{ MeV} \rightarrow \beta = \sqrt{\frac{1125}{A^{7/3} \cdot E(2^+_1)}}$$

حيث الطاقة  $E(2^+_1)$  تُقدر بالـ (MeV). إن تغير شكل النواة يُحسب أو يتعلّق بدرجة الجماعية في تلك النواة. وبشكل موازي للسوية  $J^\pi = 2^+_1$ ، فإن ملاحظة السوية  $J^\pi = 4^+_1$  يسمح بالحصول على معلومات مكملة تتعلّق بنشوء النوى. هناك عامل تجريبي وهو النسبة بين الطاقات التحريضية لـ  $E(2^+_1)$  و  $E(4^+_1)$ :

$$R = \frac{E(4^+_1)}{E(2^+_1)}$$

يمكن استخدامه لتمييز درجة الجماعية في النوى. إن تناقص هذه النسبة يشير إلى تناقص أو إضعاف المفاعيل الجماعية. في الواقع، في حالة النموذج الدوراني البسيط، نتوقع أن يكون لدينا:

$$\frac{E(4_1^+)}{E(2_1^+)} = \frac{4(4+1)}{2(2+1)} \rightarrow E(4_1^+) \cong \left(\frac{10}{3}\right) E(2_1^+) \cong 3,33. E(2_1^+)$$

في حين من أجل النموذج الاهتزازي يكون لدينا  $E(4_1^+) \cong 2. E(2_1^+)$ .

نشير إلى أن الحالة الأساسية للنوى الزوجية-الزوجية تتميز وبشكل منتظم بسبين معدوم ونوعية موجبة،  $J^\pi = 0^+$ . إن السوية الأولى المحرصة الأخفض طاقة لمعظم هذه النوى هي ذات طبيعة جماعية  $J^\pi = 2^+$  ويمكن أن تكون اهتزازية أو دورانية بحسب الشكل المتوازن للنواة المعبرة. نشير هنا إلى أنه يمكن ملاحظة الحركة الدورانية الجماعية في النوى المشوهة (دوران حول محور تناظري).

أما بالنسبة للحركة الاهتزازية، في حالة النوى السحرية، وبشكل عام في حالة النوى الكروية المصادفة وفي جوار هذه النوى، لم يُلاحظ عصابات طاقة دورانية مماثلة لما رأيناه سابقاً للحركة الدورانية. بل يُلاحظ ظهور، فوق السوية المحرصة  $2^+$ ، ثلاثية منطبقة ( $2^+, 4^+, 6^+$ ) حيث لمركز ثقل هذه الثلاثية طاقة تساوي تقريباً ضعف طاقة السوية  $2^+$ ، انظر الشكل (10). فإن التسلسل الطاقوي للحالات الاهتزازية يُعطى بالعلاقة التالية:

$$E_n = n. \hbar\omega$$

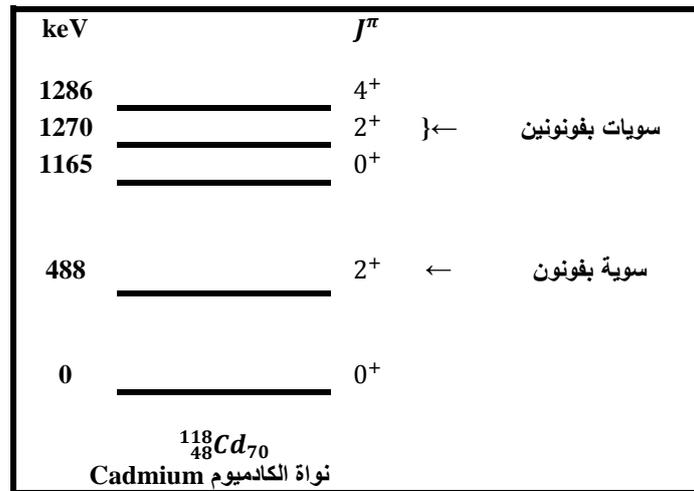
حيث  $n$  يرمز لعدد الفونونات. إن الفونون الكوادريبولير (رباعي القطب) "quadripolar" يحمل عزم زاوي مقداره 2 ويمتلك نوعية موجبة.

إن عزم ونوعية السوية الأولى المحرصة يساوي  $J^\pi = 2^+$ ، بينما السوية الثانية المحرصة فتمتلك سبين ونوعية تساوي  $J^\pi = 0^+, 2^+, 4^+$  عملياً ليست دوماً هذه السويات منطبقة على بعضها، انظر الشكل (10). إن النسبة:

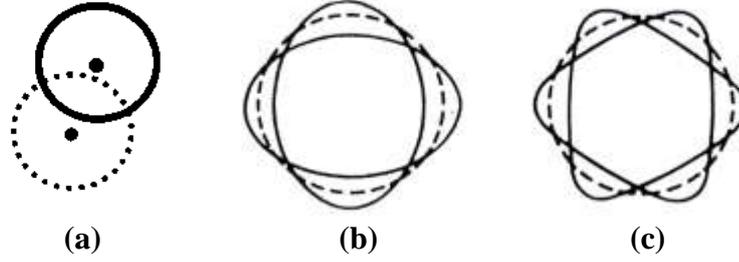
$$\frac{E(4_1^+)}{E(2_1^+)} \cong 2$$

إن الفونون الأوكتوبولير (ثمانى القطب) "octupolar" يمتلك سبين يساوي 3 ونوعية سالبة. إن السويات الأولى الأوكتوبولير تتموضع غالباً بالقرب من الثلاثية التي تمتلك فونونين كوادريبولير.

إن السويات الاهتزازية المحرصة تتشكل عندما تهتز النواة حول الشكل الكروي المتوازن. إن شكل التحريضات يمكن أن يُمثل بواسطة اهتزازات متعددة الأقطاب، انظر الشكل (11). إن الاهتزازات الرباعية القطبية تمثل الاهتزاز النووي الأخفض. إن كوانتات الطاقة الاهتزازية تُسمى بـ "الفونونات".



الشكل (10) : يبين تسلسل السويات في نواة تُصنف على أنها نواة اهتزازية.



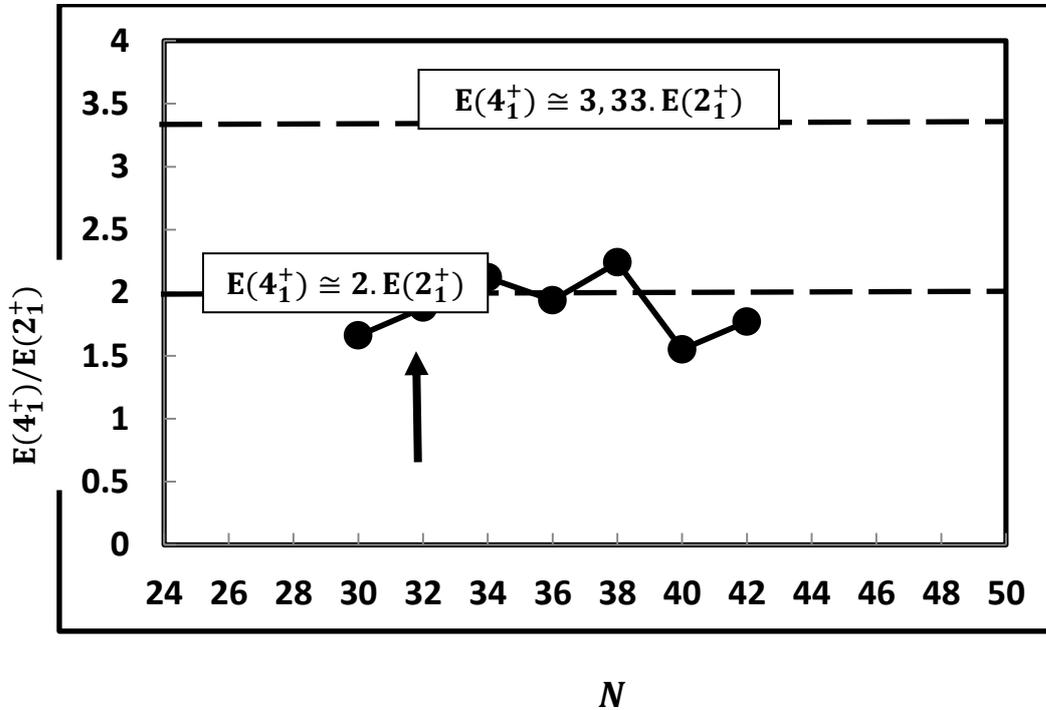
الشكل (11) : يبين أنواع الاهتزازات :

(a) اهتزازات ثنائية الأقطاب ، (b) اهتزازات رباعية الأقطاب، (c) اهتزازات ثمانية الأقطاب.

إن الطاقة التحريضية للسوية الأولى المحرصة  $E(2_1^+)$  تعكس مقدار الفراغ الطاقي الذي يفصلها عن السوية الأساسية، وكلما كان هذا التباعد الطاقي كبيراً، كلما كلف النواة طاقة أكبر لتحريك زوج من النيوكليونات للطبقات الأعلى من أجل توليد عزم زاوي كلي  $J = 2$ .

يمثل الشكل (12) تغير النسبة  $E(4_1^+)/E(2_1^+)$  بتابعة عدد النيوترونات لنظائر النيكل Ni. من أجل النظير 60، فإن هذه النسبة تساوي (1,88). نلاحظ من الشكل أن سلوك نظائر النيكل هو سلوك اهتزازي، ونظير النيكل-60 يُعد من النظائر القريبة جداً للقيام بحركة اهتزازية، حيث  $E(4_1^+)/E(2_1^+) = 1,88$ .

سوف ندرس في الفقرة القادمة سلوك الانتقال وعامل التشوه لنظائر النيكل ومن ثم سوف نرى هل هذه المقادير تُعطي دليل أو مؤشر على سلوك تلك النظائر للنيكل، وهل يمكن التنبؤ عن شكل النواة، أو عن مقدار التشوه؟

الشكل (12) : يبين تغير النسبة  $E(4_1^+)/E(2_1^+)$  بتابعة عدد النيوترونات N.

ثالثاً: دراسة سلوك الإنتقال  $B(E0_{g.s}^+ \rightarrow 2_1^+)$  وعامل التشوه  $\beta$  للنوى الزوجية - الزوجية للنيكل  $Ni$ :

من أجل انتقال بين حالة بدائية  $J_i = 0$  نحو حالة نهائية  $J_f = L$  مع انتقال عزم زاوي  $L$ .

يُعرف احتمال الانتقال وفقاً لمفهوم التحريض الجماعي بالعلاقة التالية [38، 39، 40، 41]:

$$B(EL; 0 \rightarrow L) = \left(\frac{3}{4\pi}\right)^2 (ZeR^L\beta_L)^2$$

حيث  $Z$  و  $R$  شحنة ونصف قطر النواة المعتبرة، و  $\beta$  عامل التشوه لكثافة المادة النووية.

ولتحديد  $B(EL; 0 \rightarrow L)$  يجب أن نحدد أولاً العامل  $\beta$  ونصف القطر  $R$ . بالمقابل، إن معرفة قيمة الانتقال

$B(EL; 0 \rightarrow L)$  يسمح بحساب عامل التشوه بشرط أن نعرف  $R$ .

كما نلاحظ فإن قيمة  $\beta$  تتعلق بقيمة  $R$ ؛ وقيمة  $R$  يمكن أن تُحدد بطريقتين:

**الطريقة الأولى:** التوزع المنتظم ("D.U" uniform distribution) حيث في هذه الطريقة نعتبر أن توزيعات الكتلة

والشحنة هي توزيعات منتظمة في الحالة الأساسية للنواة. في هذه الحالة نأخذ  $R = R_{e.m} = 1,2.A^{1/3}$ ، قيمة

أُستنتجت انطلاقاً من الانتقال الكهرومغناطيسي ("e.m" transition electromagnetic) [38، 42].

**الطريقة الثانية:** طريقة توزع فيرمي ("D.F" Fermi distribution) حيث في هذه الطريقة يتم فرض أن توزيع الكتلة

لها نفس شكل توزع الشحنة [38، 42]، وهذا التوزع غير منتظم. باستخدام توزع فيرمي فإن نصف القطر يمكن أن

يُكتب بتابعية الكتلة  $A$  على الشكل التالي [38، 42]:

$$R = R_F = C_0A^{1/3} - C_1A^{-1/3}$$

حيث:  $C_0 = 1,115 \text{ fm}$  و  $C_1 = 0,53 \text{ fm}$ .

نشير إلى أنه يتم غالباً إدخال احتمال الانتقال من أجل نيكليون واحد [38]:

$$B(EL; 0 \rightarrow L)_{s.p.u} = \left(\frac{2L+1}{4\pi}\right) \left(\frac{3}{3+L}\right)^2 (eR^L)^2$$

حيث  $R = R_{e.m} = 1,2.A^{1/3}$ ، و ("s.p.u" single-partial-units). ونرمز للنسبة بين المقدارين السابقين بـ:

$$G(EL; 0 \rightarrow L) = \frac{B(EL; 0 \rightarrow L)}{B(EL; 0 \rightarrow L)_{s.p.u}} (W.u)$$

حيث يُقدر المقدار  $G(EL; 0 \rightarrow L)$  بوحدة تُطلق عليها اسم وحدة فايسكوف ("W.u" Weisskopf unit) نسبة

للعالم فايسكوف. ويُطلق على هذه النسبة باسم "احتمالات الانتقال المختزلة".

إن احتمالات الانتقال المختزلة تُعتبر مؤشر أو دليل على الاصرار والثبات لوجود طبقة مغلقة وصلابة هذه

الطبقة مقابل تحريضات رباعية الأقطاب [43، 44]. إن قياس عامل الجماعية (أو المظهر الجماعي) لنواة يُعتبر

طريقة أخرى لاختبار سحرية النوى، وهو مكمل لقياس طاقات السويات  $E(2_1^+)$  [43، 44]. إن ضعف المظهر

الجماعي لنواة سيكون متميزاً بضعف احتمال الانتقال الرباعي القطب  $B(E2; 0^+ \rightarrow 2^+)$ .

إن بعض الخصائص الأساسية للسويات ذات الطبيعة الجماعية يمكن أن توصف تجريبياً بعلاقات بسيطة.

على سبيل المثال، العلاقة النظامية بين طاقة السوية الأولى المحرصة  $E(2_1^+)$  واحتمال الانتقال  $B(E; 0_{g.s}^+ \rightarrow 2_1^+)$

دُرست بشكل جيد.

إن التغيير النظامي لطاقة السوية  $E(2_1^+)$  يمكن أن يُعتبر مؤشر للانتقال من نموذج الجسيم الفردي إلى النموذج الجماعي والعكس بالعكس. إن العلاقة بين  $E(2_1^+)$  ودرجة الجماعية في نواة يُمكن أن تُعطى بتابعية عامل التشوه الذي نرمز له هنا بـ  $\beta$ ، بالعلاقة التجريبية المقترحة من قبل [37، 43، 44]:

$$E(2_1^+) = \frac{1125}{A^{7/3} \cdot \beta^2} \text{ MeV} \rightarrow \beta = \sqrt{\frac{1125}{A^{7/3} \cdot E(2_1^+)}}$$

وباستخدام العلاقة التالية:

$$B(EL; 0 \rightarrow L) = \left(\frac{3}{4\pi}\right)^2 (ZeR^L \beta_L)^2$$

نجد أن:

$$\beta_L = \frac{1}{ZeR^L} \sqrt{\frac{B(EL; 0 \rightarrow L)}{\left(\frac{3}{4\pi}\right)^2}}$$

وهذه العلاقة تشير إلى أن الاحتمال  $B(EL; 0 \rightarrow L)$  يتناسب عكسياً مع  $E(2_1^+)$  [45]. إذاً فإن هذا الاحتمال سيكون ضعيفاً جداً من أجل النوى السحرية، ومن الصعب تحريض هذه النوى، والتوصل إلى القيم المرتفعة أو الكبيرة من أجل النوى المشوهة ذات الطبيعة الجماعية المرتفعة [43].

وما علاقة كل ذلك بشكل النواة؟

إن تحديد شكل النواة يقتضي قياس عزم رباعي القطب الكهربائي: إن قيمته تقود إلى القيمة المطلقة لعامل التشوه، بينما إشارته ضرورية لكي نميز الشكل، هل هو شكل متطاوّل أو شكل مسطح؟ انظر العلاقة التالية [15] والشكل (13).

$$Q_2 = \pm \frac{32\pi}{35} \sqrt{[B(E; 0_{g.s}^+ \rightarrow 2_1^+)]}$$



(a)



(b)



(c)

الشكل (13): (a) نواة كروية ليس لها عزم رباعي أقطاب كهربائي، (b) نواة إهليجية متطاولة لها عزم رباعي أقطاب كهربائي موجب، (c) نواة إهليجية مسطحة لها عزم رباعي أقطاب كهربائي سالب.

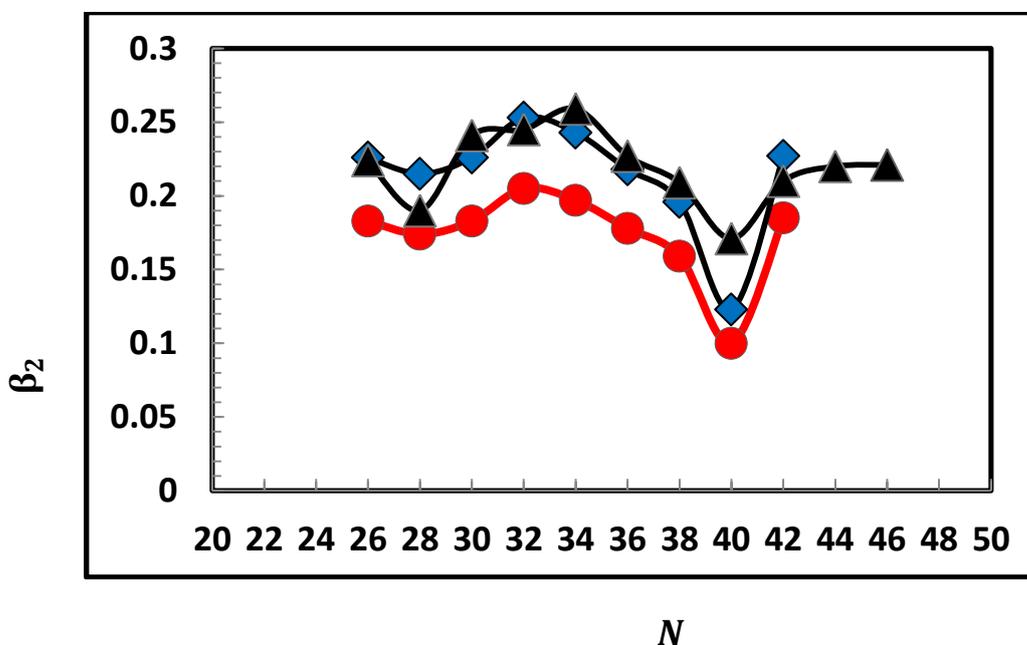
يمكن أن نُقدر عامل التشوه النووي انطلاقاً من  $B(EL; 0 \rightarrow L)$ ، وذلك باستخدام العلاقة:

$$\beta_2 = \frac{1}{ZeR^2} \sqrt{\frac{B(E; 0_{g.s}^+ \rightarrow 2_1^+)}{\left(\frac{3}{4\pi}\right)^2}}$$

وذلك من أجل  $L = 2$ . وخالصة القول، إن  $B(E; 0_{g.s}^+ \rightarrow 2_1^+)$  يتناسب مع مربع عامل التشوه  $\beta_2^2$ ، وهذا يعني أن قياس  $B(E; 0_{g.s}^+ \rightarrow 2_1^+)$  لا يعطي أي معلومة على إشارة التشوه [46].  
 تُعطي في الجدول (2) مختلف قيم  $\beta_2$  التي تم الحصول عليها، ومن ثم مقارنتها مع بعضها بعضاً. بينما يوضح الشكل (14) تغير عامل التشوه  $\beta_2$  بتابعية عدد النيوترونات لمختلف نظائر النيكل.

جدول (2): قيم عامل التشوه  $\beta_2$  التي تم الحصول عليها لنظائر النيكل ( $Ni$ ).  $C_0 = 1,115 fm$  و  $C_1 = 0,53 fm$

Nickel ( $Ni$ )		$B(E; 0_{g.s}^+ \rightarrow 2_1^+)$		$R = R_{em} = 1,2 \cdot A^{1/3}$	$R = R_F = C_0 A^{1/3} - C_1 A^{-1/3}$	$\beta_2 = \sqrt{\frac{1125}{A^{7/3} \cdot E(2_1^+)}}$	$\beta_2 = \frac{1}{ZeR^2} \sqrt{\frac{B(E; 0_{g.s}^+ \rightarrow 2_1^+)}{\left(\frac{3}{4\pi}\right)^2}}$	
A	N	(W.u)	( $e^2 \cdot fm^4$ )				$R = R_{em}$	$R = R_F$
54	26	10,5	639	4,54	4,07	0,224	0,183	0,226
56	28	7,9	600	4,59	4,13	0,190	0,174	0,215
58	30	10,1	700	4,65	4,18	0,241	0,183	0,226
60	32	12,8	920	4,70	4,23	0,245	0,205	0,253
62	34	12,4	880	4,75	4,28	0,259	0,197	0,243
64	36	7,9	750	4,80	4,34	0,227	0,178	0,218
66	38	7,7	625	4,85	4,37	0,209	0,159	0,196
68	40	3,1	260	4,90	4,42	0,171	0,100	0,123
70	42	10,5	920	4,95	4,47	0,210	0,185	0,227
72	44					0,220		
74	46					0,221		
76	48							



الشكل (14): تغير عامل التشوه بتابعية عدد النيوترونات من أجل النوى الزوجية-الزوجية للنيكل  $Ni$ .

1-2- التركيب النووي للنوى حول عدد النيوترونات  $N = 40$ :

إن انغلاق (امتلاء) الطبقة الجزئية للنيوترونات  $N = 40$  والطبقة  $N = 20$  هما نتيجة لاستخدام نموذج الطبقات. إذا كان انغلاق الطبقة  $N = 20$  مهم عند مستوى خط الاستقرار، فإن أهمية انغلاق الطبقة الجزئية  $N = 40$  يتقلص بظهور المدار  $g_{9/2}$  (الطبقة) في وسط المدارات  $fp$ . إن المدار  $g_{9/2}$  هو نتيجة التأثير المتبادل لـ "سبين-مدار" على المدار  $g$ ، وانخفاضه بالنسبة للمدارات  $sd$  التي تسمح للفجوة  $N = 50$  أن تتشكل. إن نوعية المدار  $g_{9/2}$  موجبة، وهذا المدار يتواجد في وسط المدارات  $fp$  التي نوعيتها سالبة، وكأنه مدار دخيل. إن وجود انغلاق هذه الطبقة الجزئية يُعتبر مشروط بتأثير حد الـ "سبين-مدار".

إن دراسة سلاسل النظائر لـ ( $Ni, Fe, Ti$ ) بالتحريض الكولوني وبواسطة تفكك بيتا  $\beta$  سمحا بالإضاءة على بعض الخصائص المميزة لهذا المدار (الذي يُطلق عليه اسم مدار تكافئي)  $g_{9/2}$ .

سمح التحريض الكولوني بمعرفة صلابة نواة قيم التحريضات الرباعية الأقطاب  $E2$ . إن ضعف قيمة  $B(E; 0^+_{g.s} \rightarrow 2^+_1)$  هو مؤشر على أن النواة هي نواة سحرية.

نبحث، بشكل خاص، عن معرفة ما هو شكل النواة  $^{60}_{28}\text{Ni}_{32}$ . هناك دراسات عدة تتعلق بالنواة  $^{68}_{28}\text{Ni}_{40}$  وتعتبر أن هذه النواة تسلك سلوك نواة مضاعفة السحرية (سحرية البروتونات والنيوترونات)، انطلاقاً من انغلاق طبقة البروتونات  $Z = 28$ ، وانغلاق طبقة النيوترونات  $N = 40$ ، وتغير النوعية من طبقة لأخرى.

إن النواة  $^{68}_{28}\text{Ni}_{40}$  تحتوي على 10 نيوترونات أكثر من النظير  $^{58}_{28}\text{Ni}_{30}$  الأكثر توافراً في الطبيعة. وهكذا يشكل حالة مهمة لدراسة السحرية النسبية، لهذه النواة، البعيدة عن خط الاستقرار. إن كل بحث أو دراسة حول هذا النظير يسمح بالحكم على الاصرار بوجود وثبات لهذا المفعول للطبقة.

انطلاقاً من النسبة بين عدد الفوتونات المكشوفة والصادرة عن عودة السوية  $2^+_1$  المحرصة إلى حالتها الأساسية وعدد النوى الكلي الناتجة يمكن تحديد قيمة  $B(E; 0^+_{g.s} \rightarrow 2^+_1)$ . إن النتائج التي تم الحصول عليها موضحة في الشكل (8)، وتشير إلى أن احتمال التحريض الرباعي الأقطاب لهذه النواة  $^{68}_{28}\text{Ni}_{40}$  هو أقل تقريباً بثلاث مرات من النواة المضاعفة السحرية  $^{58}_{28}\text{Ni}_{30}$  [21]. هذه الصلابة الظاهرية سببها مفعول تغير النوعية بين مدارات القلب ومدارات التكافؤ لـ  $^{68}_{28}\text{Ni}_{32}$  الذي يقتضي تناقص شديد لتحريض رباعي الأقطاب الكهربائي، وهذا يقود بدوره إلى المحافظة على تناظر النوعية.

كان قد تم البرهان على أن هذه النواة تمتلك سلوك مائع فائق الميوعة، حيث لها الميول أو النزعة للعمل على هجرة (نقل أو انتقال) أزواج من الجسيمات (النيوكليونات) المتزوجة للمدارات  $fp$  نحو المدار  $g$  ذات العزم المداري الكبير [21، 34، 47].

إن النواة  $^{72}_{30}\text{Zn}_{42}$  تحتوي من ناحية المبدأ فقط على نيوترونين في المدار  $g_{9/2}$ . إن تحديد  $B(E; 0^+_{g.s} \rightarrow 2^+_1)$  لتلك النواة [48] يُظهر أن صلابة الطبقة  $N = 40$  لا يقاوم في سلسلة نظائر الزنك  $Zn$ . إن هذا المفعول سببه التأثير المركب للبروتونات (المتواجدة في وسط المدارات  $fp$ ، فوق الفجوة  $Z = 28$ ) ولميوعة النيوترونات (التي تشغل المدار  $g_{9/2}$  التي هي أكثر من اثنين) التي تجعل هذه النواة أكثر جماعية، أي أنها تحرض بشكل جماعي، أي ذات طبيعة جماعية. ونرى هذا التأثير على الشكل (8) الذي لا يؤدي إلى إضعاف جزئي لـ  $B(E; 0^+_{g.s} \rightarrow 2^+_1)$  حول  $N = 40$  في سلسلة نظائر الزنك  $Zn$ ، لكن هناك بالأحرى اتجاه لزيادته.

إن دراسة هذه الظواهر يستمر مع دراسة النوى  ${}^{70}_{28}\text{Ni}_{42}$  و  ${}^{74}_{30}\text{Zn}_{44}$  [43]. نرى إن قيمة  $B(E; 0_{g.s}^+ \rightarrow 2_1^+)$  تستمر بالزيادة في سلسلة نظائر Zn أثناء ملء مدار النيوترونات  $g_{9/2}$ . ومن المدهش أيضاً أن زيادة  $B(E; 0_{g.s}^+ \rightarrow 2_1^+)$  يستمر من أجل النيكل  ${}^{70}_{28}\text{Ni}_{42}$ . يبدو أنه من أجل هذه النواة، فإن ملء مدار النيوترونات  $g_{9/2}$  يقود إلى قوة استقطاب للقلب البروتوني  $Z = 28$ . وهكذا، فإن عملية تحريض النيوترونات، جسيمات غير مشحونة وعادة غير حساسة لتحريض رباعي القطب الكهربائي، يُظهر بشكل عملي أيضاً فعالية تحريض البروتونات. وهذا، ربما يعود للتأثير المتبادل بروتون-نيوترون ( $pf_{7/2} - ng_{9/2}$ ) قوي جداً لكي يؤدي إلى قفزات للبروتونات عبر الفجوة  $N = 40$  عندما تكون النيوترونات مُحرضة.

### الاستنتاجات والتوصيات:

إن هذا العمل استند على تطبيقات نموذج الطبقات للنوى التي تمتلك عدة نيوكليونات تكافئية حول الطبقات المغلقة أو المملوءة، وخاصة الجملة بنيوكليونين، التي تلعب دوراً مهماً في التوقعات النظرية لهذا النموذج، وخاصة التأثير المتبادل بين نيوكليون ونيوكليون.

اهتمنا في هذا العمل بالنوى الغنية بالنيوترونات سحرية البروتونات وتقريباً سحرية النيوترونات مثل نظائر النيكل. إن مختلف الدراسات التجريبية التي نفذت في هذا المجال، وخاصة من أجل نظير النيكل  ${}^{68}_{28}\text{Ni}_{40}$  بينت خصوصية لهذا النواة وأظهرت على أنها تمتلك صفة السحرية عند  $N = 40$  وخاصة: القيمة الضعيفة لـ  $B(E; 0_{g.s}^+ \rightarrow 2_1^+)$  والقيمة الكبيرة لطاقة السوية  $E(2_1^+)$ .

قمنا بتعميم دراسة النوى في تلك المنطقة لأنه من الضروري تشكيل فكرة شاملة، ومن ثم متابعة تغير الأعداد السحرية البعيدة عن خط الاستقرار.

إن المدار أو الطبقة  $1g_{9/2}$ ، المتواجد بين  $N = 40$  و  $N = 50$  هو عبارة عن مدار طفيلي وامتلاءه يؤثر على تركيب النواة.

إن النواة  ${}^{68}_{28}\text{Ni}_{40}$  التي تعتبر سحرية البروتونات ونصف سحرية النيوترونات لا يمكن أن تكون قلب مثالي لحسابات نموذج الطبقات. وهذا يعود، في الواقع، إلى أن منطقة النيكل ونظائره تشكل منطقة مشوهة؛ وإذا فإن كمون التأثير المتبادل يجب أن يحتوي على حد تصحيحي يمثل هذا التشوه.

إن النتائج التي تم الحصول عليها في دراستنا تدعم وتؤيد نتائج الدراسات السابقة في منطقة النيكل، وخاصة بخصوص الشكل المشوه (البعيد عن الشكل الكروي) لهذه النوى، وأذكر بالتحديد النظير 60 للنيكل، أي  ${}^{60}_{28}\text{Ni}_{32}$ ، التغير المنتظم لطاقة السوية  $E(2_1^+)$ ، تغير قيمة  $B(E; 0_{g.s}^+ \rightarrow 2_1^+)$ ، وعامل التشوه.

إن الدراسة المكثفة لنوى منطقة النيكل يقتضي تطوير كبير للتقنيات التجريبية، واستخدام التأثيرات المتبادلة الفعلية المحددة للفراغ بين الطبقات (المدارات)  $pf_{7/2}$ ، واستخدام البرامج المتقدمة في هذا المجال.

### References:

- [1] Luc Valentin, *Physique subatomique: Noyaux et Particules*. Enseignement des sciences. Hermann, Paris, 1975.
- [2] A. Maesschalck. *The changing mean field in exotic nuclei: a shell-model point of view*. Phd thesis, Universiteit Gent, Faculteit Wetenschappen 2006, 4.
- [3] M. G. Mayer. *Nuclear configurations in the spin-orbit coupling model. i. empirical evidence*. Phys. Rev. 78, 16, 1950, 4.

- [4] R. F. Casten. *Nuclear structure from a simple perspective*. Oxford University Press ,2000, 6, 15.
- [5] T. Otsuka et al, Phys. Rev. Lett. 105 ,2010, no. 032501.
- [6] M. G. Mayer, Phys. Rev. 75 ,1949, 1969.
- [7] O. Haxel, J. Hans, D. Jensen, and H. E. Suess, Phys. Rev. 75 ,1949, 1766.
- [8] M. A. Preston, Physics of the Nucleus. Addison-Wesley publishing company, Inc., 1962.
- [9] *Atomic and Nuclear Physics, Radioactivity, Detection of Radioactivity*, Printed in the Federal Republic of Germany by Leybold Didactic GmbH, 2007, experiment p6.5.6.1, 1-4.
- [10] J. P. Davidson, *Collective Models of the Nucleus*, Academic Press, New York and London, 1986.
- [11] J. Jabbour, H. Jbeli and S .Aljammal, *Experimental and Analytical Study of the Energy Spectrum and Decay Schemes of both Isotopes Cobalt  $^{60}Co$  and Sodium  $^{22}Na$* . Tishreen University Journal, Vol (41), No (1) 2019.
- [12] J. Jabbour, J. Mulhem and S. Yassin, *Experimental Study of the Conservation Law in Compton Effect*. Accepted for publication in Tishreen University Journal, 2012.
- [13] J. Jabbour, H. Jbeli and J. Mulhem, *Measuring the radioactivity resulted from ( $^{137}Cs$ ) and from ( $^{40}K$ ) isotopes of milk samples from different sources in the city of Lattakia*. Accepted for publication in Tishreen University Journal, 2013.
- [14] J. Jabbour, H. Jbeli and S .Aljmmal, *Analytical and experimental study of the mechanisms of account and measure the radioactivity of the radioactive sources*. Accepted for publication in Tishreen University Journal, 2014.
- [15] Daphne F. Jackson, *Nuclear Reactions*, Mathuen & Co LTD, U.S.A., 1970.
- [16] ORTEC Application Note. An 34, *Experiments in Nuclear Sciences*, 2013, Published by ORTEC, Experiment 3, Gamma-Ray Spectroscopy Using *NaI(Tl)*, 1-20. [www.ortec-online.com](http://www.ortec-online.com).
- [17] J. Jabbour, H. Jbeli and S .Aljmmal, *Experimental and Analytical Study of the Energy Spectrum and Decay Schemes of both Isotopes Cobalt  $^{60}Co$  and Sodium  $^{22}Na$* . Tishreen University Journal, Vol (41), No (1) 2019.
- [18] Aurore Dijon. *Evolution de la collectivité autour du  $^{68}Ni$  : rôle des états intrus*. Physique Nucléaire expérimentale [nucl-ex]. Université de Caen, France, 2012. 118.
- [19] D. Pauwels et al. *Shape isomerism at  $N = 40$ : Discovery of a proton intruder state in  $^{67}Co$* . Phys. Rev. C 78, 041307, 2008, 16, 19, 111, 117, 124, 126.
- [20] R. Broda et al.  *$N = 40$  neutron subshell closure in the  $^{68}Ni$  nucleus*. Phys. Rev. Lett. 74, 868, 1995, 13, 75.
- [21] O. Sorlin et al.  *$^{68}Ni_{40}$ : Magicity versus superfluidity*. Phys. Rev. Lett. 88, 092501, 2002, 13, 14, 119, 127, 131.
- [22] C. Mazzocchi. *Low energy structure of even-even in isotopes close to  $^{78}Ni_{50}$* . Physics Letters B 622, 45-54, 2005, 13, 153.
- [23] O. Perru et al. *Enhanced core polization in  $^{70}Ni_{42}$  and  $^{74}Zn_{44}$* . Phys. Rev. Lett. 96, 232501, 2006, 13, 153.
- [24] N. Bree et al. *Coulomb excitation of  $^{68}Ni_{40}$  at "safe" energies*. Phys. Rev. C 78, 041301 ,2008, 13, 153.
- [25] R. Broda et al, Phys. Rev. Lett. 74, 6, 868-871, 1995.
- [26] ENSDF, « National Data Center», <http://www.nnd.bnl.gov/nnd/ensdf/>.
- [27] M. Bernas et al., Phys. Lett. B113, 279 ,1982.
- [28] A. Lisetskiy et al., Phys. Rev. C 70, 044314 ,2004.

- [29] M. Girod, P. Dessagne, M. Langvin, F. Pougheon and P. Roussel. *Spectroscopy of neutron-rich isotopes : Experimental results and microscopic interpretation*. Phys. Rev. C 37, 2600 ,1988. Lisetskiy et al., Phys. Rev. C 70, 044314 , 2004, 13, 14, 72, 74, 84, 116, 135, 157.
- [30] C. Guenault et al. *High-prediction mass measurements of nickel, copper, and gallium isotopes and purported shell closure at  $N = 40$* . Phys. Rev. C 75, 044303, 2007, 13.
- [31] R. Grzywacz et al. *New island of  $\mu s$  isomers in neutron-rich nuclei around the  $Z = 28$  and  $N = 40$  shell closers*. Phys. Rev. Lett. 81, 766, 1998, 13, 14, 22, 70, 71, 78, 80, 84.
- [32] M. Hannawald et al. *Decay of neutron-rich Mn nuclides and deformation of heavy Fe isotopes*. Phys. Rev. Lett. 82, 1391, 1999, 13.
- [33] W. F. Mueller et al.  *$\beta$  decay of  $^{66}\text{Co}$ ,  $^{68}\text{Co}$  and  $^{70}\text{Co}$* . Phys. Rev. C 61, 054308, 2000, 14, 15, 76, 111, 112, 159.
- [34] H. Grawe et al. *Nuclear structure in the vicinity of shell closures far from stability*. AIP Conf. Proc., 561, 287, 2000, 14.
- [35] K. Kaneko, M. Hasegawa, T. Mizusaki and Y. Sun. *Magicity and occurrence of a band with enhanced  $B(E2)$  in neutron-rich nuclei  $^{68}\text{Ni}$  and  $^{90}\text{Zr}$* . Phys. Rev. C 61, 024321, 2006, 14, 15.
- [36] K. Langanke, J. Terasaki, F. Nowacki, D. J. Dean and W. Nazarewicz. *How magic is the magic  $^{68}\text{Ni}$  nucleus?* Phys. Rev. C 67, 044314 2003, 14.
- [37] P. H. Stelson and L. Grodzins. Nuclear Data A1, No. 1, 1966.
- [38] F. D. Becchetti, Jr. et G. W. Greenlees, Phys. Rev. 182 1969, 1190.
- [39] T. H. Curtis, H. F. Lutz et W. Bartolini, Phys. Rev. C1 1970, 1418.
- [40] N. Alpert, J. Alster, E. J. Martens et W. Pickles, Phys. Rev. C4 (1971) 1230.
- [41] P. E. Hodgson, dans « *Nuclear Reactions and Nuclear Structure* », Clarendon press-Oxford (1971).
- [42] J. Jabbour. « *Etude de l'aspect collective autour de  $N = 40$  par diffusion inélastique de protons et d'ions lithium sur les noyaux pair-pairs de zinc et de germanium* », Thèse pour obtenir le grade de docteur d'état es science, Nantes, France, 1986.
- [43] O. Perru, «Thèse de Doctorat, Université de Paris XI, Orsay 2004.
- [44] B. E. Tomlin, Doctorat Thesis, Michigan State University 2006.
- [45] R. O. Hughes et al., Phys. Rev. C66, 054313 2002.
- [46] E. Clement, «Thèse de Doctorat, Université de Paris XI, Orsay 2005.
- [47] W. F. Mueller et al., Phys. Rev. Lett. 83, 3613 1999.
- [48] S. Leenhardt et al., Eur. Phys. J A 14, 1 2002.