

دراسة تجريبية وتحليلية للطيف الطاقية ولمخططات التفكك لكل من النظيرين المشعنين الكوبالت ^{60}Co والصوديوم $^{22}_{11}\text{Na}$

د. جبور نوفل جبور⁽¹⁾

د. هيثم ابراهيم جبيلي⁽²⁾

سارة ابراهيم الجمال⁽³⁾

(تاريخ الإيداع 5 / 9 / 2018. قَبْلُ للنشر في 20 / 1 / 2018)

□ ملخص □

تم، في هذا العمل، استخدام تقنيات قياس أشعة غاما باستعمال كاشف من يوديد الصوديوم (NaI) المُشاب بالتاليوم (TL) لدراسة مخططات التفكك والطيف الطاقية للنظيرين المشعنين الكوبالت ^{60}Co والصوديوم $^{22}_{11}\text{Na}$ ، حيث تمّ في هذا العمل:

- الحصول على معايرة الكاشف $\text{NaI}(\text{TL})$ وقدرة فصله.
 - الحصول على الطيف الطاقية لكل من النظيرين المشعنين الكوبالت ^{60}Co والصوديوم $^{22}_{11}\text{Na}$.
 - الدراسة التجريبية والتحليلية لمخططات التفكك والطيف الطاقية للنظيرين المشعنين الكوبالت ^{60}Co والصوديوم $^{22}_{11}\text{Na}$.
 - مقارنة الخطوط الطاقية للطيف الطاقية مع السويات المُعرضة للنواتين $^{60}_{28}\text{Ni}$ و $^{22}_{10}\text{Ne}$ الناتجتين عن تفكك النظيرين المشعنين الكوبالت ^{60}Co والصوديوم $^{22}_{11}\text{Na}$.
- تُشير مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها مع النتائج المتوفرة في هذا المجال إلى تطابق جيد جداً.

الكلمات المفتاحية: أشعة غاما، كاشف يوديد الصوديوم (NaI)، منحني معايرة الطاقة، قدرة الفصل الطيفية، منبع مُشع، مخطط التفكك، طيف طاقي، نموذج الطبقات.

(1) أستاذ - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

(2) أستاذ - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

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

Experimental and Analytical Study of the Energy Spectrum and Decay Schemes of both Isotopes Cobalt $^{60}_{27}\text{Co}$ and Sodium $^{22}_{11}\text{Na}$

Dr. Jabbour Noufal Jabbour⁽¹⁾

Dr. Haisam Ibrahim Jbeli⁽²⁾

Sara Ibrahim Aljammal⁽³⁾

(Received 5 / 9 / 2018. Accepted 20 / 1 / 2018)

□ ABSTRACT □

In this work, we have used the basic techniques for measuring the gamma rays by using a sodium iodide (*NaI*) detector that is thallium activated (*Tl*) to study the decay schemes and the energy spectrum of cobalt $^{60}_{27}\text{Co}$ and sodium $^{22}_{11}\text{Na}$ isotopes.

We have obtained in this work:

- The detector calibration *NaI(Tl)* and the resolution of a spectrometer.
- The spectrum of cobalt $^{60}_{27}\text{Co}$ and sodium $^{22}_{11}\text{Na}$ isotopes.
- The experimental and analytical study of the decay schemes and the energy spectrum of both isotopes Cobalt $^{60}_{27}\text{Co}$ and Sodium $^{22}_{11}\text{Na}$
- The comparison of energy lines of the energy spectrum with excited states of the excited nucleus $^{60}_{28}\text{Ni}$ and $^{22}_{10}\text{Ne}$ produced from cobalt $^{60}_{27}\text{Co}$ and sodium $^{22}_{11}\text{Na}$.

Comparing the results obtained with the results available in this field, indicates a very good agreement.

Keys Words: Gamma rays, Sodium iodide (*NaI*) detector, Energy calibration curve, Resolution spectrometer, Source radioactive, Decay schemes, Energy spectrum, Shell model.

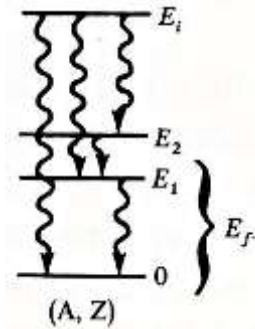
(1) Professor, Physics Department, Faculty of Science, Tishreen University, Lattakia, Syria.

(2) Professor, Physics Department, Faculty of Science, Tishreen University, Lattakia, Syria.

(3) Postgraduate Student, Radiation Physics, Department of Physics, Faculty of Science, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

تتكون النواة الذرية من بروتونات مشحونة كهربائياً، ونيوترونات معدومة الشحنة (حيادية)، وتُعتبر جملة كوانتية معقدة جداً حيث إنّه لم يتم السيطرة عليها، حتى بعد قرن ونيف من اكتشافها. إن أبعاد مكونات النواة صغيرة للغاية، جسيمات كوانتية، وهي متعددة حيث من الصعب جداً وصف هذه الجملة بوساطة تفاعلات فردية بين كل جسيم (نيوكليون)، وهي صغيرة جداً لكي توصف بطريقة إحصائية. تحتوي الطبيعة الكثير من النوى، منها المستقر (بحدود 270)، ومنها غير المستقر بحدود 50 نظير مشع طبيعياً. إن التفاعلات النووية التي تستخدم هذه النوى (أو النظائر)، تسمح بالحصول على معلومات طيفية لهذه النوى الذي يُقدر عددها بـ 2500 نواة. وما يزال العديد من النوى (يُقدر بـ 4000 نواة)، تدعى بالنوى الغريبة، لم يتم التأكد منها تجريبياً. إن وجود هذه النوى يُعرّف بالنسبة لاستقرار مجموعة النيوكليونات المكونة لهذه النوى. 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 γ متتالية، الشكل (1)، وكشف هذه الإشعاعات يسمح بالحصول على الطاقات الخاصة للنواة الوليدة، والتي يُراد دراستها.



الشكل (1): مثال لانتقالات متتالية لأشعة غاما γ تتم بشكل مباشر نحو الحالة الأساسية المتوضعة عند الطاقة صفر (اصطلاحاً).

ويمكن 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 بوساطة التفاعلات النووية. نذكر على سبيل المثال:

- تفاعلات التبعثر المرنة:

$$(p, p'), (\alpha, \alpha'), (Li, Li') \dots$$

• تفاعلات الانتقال:

$(d, p), (He, d), (\alpha, t), (p, t) \dots$

• التحريض الكولوني،

• تبخر الشوارد الثقيلة الناتجة عن الاندماج.

من الناحية التقنية، والتجريبية، لتحقيق ذلك يمكن:

• استخدام المسرعات لتوليد النوى المستقرة والنظائر المشعة،

• استخدام طرائق حديثة في الكشف عن (أشعة غاما، والجسيمات...)،

• تحسين طرائق التحليل (بوساطة الحواسيب Hardware، والبرامجيات Software)،

• زيادة قدرة الحواسيب على التحليل.

تجريبياً، إن النوى التي تمتلك أعداداً من الجسيمات (النيوكليونات) مثل:

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

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، فإن بعض الأعداد من البروتونات والنيوترونات، التي تُدعى «بالأعداد السحرية» 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 بَانَ 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 الأجزاء التالية:

(1) وصف ومعايرة الأجهزة المستخدمة في هذا العمل.

(2) دراسة تجريبية وتحليلية للطيف الطاقى الناتج عن تفكك كل من نظير الكوبالت ^{60}Co ونظير الصوديوم ^{22}Na .

(3) مقارنة ومطابقة الخطوط الطيفية مع مخططات التفكك لكل من النظيرين المذكورين سابقاً.

أهمية البحث وأهدافه:

إن الهدف الرئيس لهذا البحث هو الدراسة التجريبية للطيف الطاقى لكل من النظيرين المشعين الكوبالت ^{60}Co والصوديوم ^{22}Na ، ومن ثم مقارنة ومطابقة الخطوط الطيفية الطاقية مع السويات المحرصة للنوى الناتجة عن التفكك للنظيرين السابقين.

طرائق البحث ومواده:

إن الأجهزة والأدوات المستخدمة في هذا البحث هي:

1- المنابع المشعة المستخدمة موضحة في الجدول (1).

2- كاشف وميضي.

3- محلل متعدد الأقفنية.

4- حاسوب مُجهز ببرنامج (يُدعى CASSY) لمعالجة القياسات.

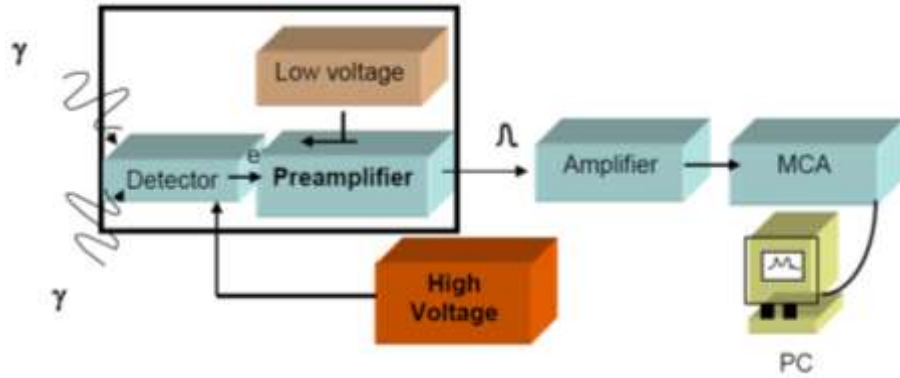
ملاحظة: جميع هذه الأجهزة [1] موجودة في مخبر الفيزياء النووية (قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة تشرين)، حيث تم إنجاز هذا البحث.

يوضح الشكل (1) مخططاً مبسطاً للدائرة المستخدمة في القياسات.

تم اختيار جهد قدره (V = 640 Volts) وريح قدره (1) في معظم القياسات، وذلك من أجل إظهار الخط الطيفي الثالث لكل من الصوديوم والكوبالت، وفي خلاف ذلك تتم الإشارة إلى القيم المستخدمة.

جدول (1) : يُبين مواصفات المصادر المشعة المستخدمة في هذا العمل.

النشاط الإشعاعي عند تاريخ القياس 20/9/2013 مقدرًا بالـ kBq	عمر النصف مقدرًا بالسنوات	تاريخ التصنيع	الرقم المرجعي	النشاط الإشعاعي مقدرًا بالـ Bq عند تاريخ التصنيع	اسم المنبع
73,31	432,0 y	20/7/2007	PH 569 Nds.002/99	74×10^3	الأمريسيوم Am-241
34,46	5,272 y	20/7/2007	PU 472 PU 472 Nds.002/99	74×10^3	الكوبالت Co-60
15,73	2,602 y	20/7/2007	PH 364 PW 605 Nds.002/99	74×10^3	الصوديوم Na-22
291,38	30,17 y	20/7/2007	PG 529 PG 530 Nds.002/99	333×10^3	Mixed Nuclide (Cs+Sr+Am)
$3,24 \times 10^6$	30,17 y	20/7/2007	OX 841 Code:CDRB3 796	$3,7 \times 10^6$	السيزيوم Cs-137



الشكل (1): مخطط صندوقي مبسط للدائرة المستخدمة في القياسات.

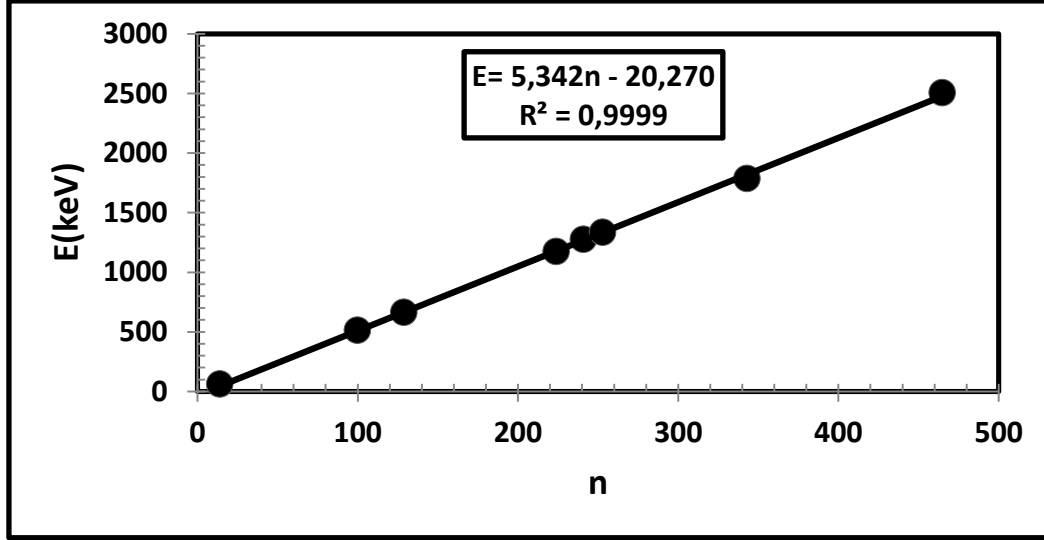
كاشف - Detector، جهد عالي - High Voltage، مضخم أولي - Preamplifier،
 جهد منخفض - Low Voltage، مضخم - Amplifier، محلل متعدد الأقفية - Multichannel Analyzer (MCA)،
 حاسوب شخصي - Personal Computer (PC)

إن معايرة الكاشف تعني معرفة العلاقة بين رقم القناة في المحلل المتعدد الأقفية المستخدم في التجربة وطاقة الخط الطيفي للمنبع المدروس. وكما هو معروف، فإن المحلل MCA يتكون بشكل رئيس من ذاكرة ذات مواقع تخزين مقدارها يساوي عدد قنوات الـ (MCA) (في حالتنا عدد القنوات 512 قناة)، حيث هذه القنوات مرقمة من (0-512)، ويتم تخزين الحوادث (النبضات) في هذه القنوات حسب طاقة كل حادثة، فالحوادث التي لها نفس الطاقة تُخزن في نفس القناة... وهكذا. والبرنامج المُستخدم في معالجة المعطيات، الذي يُدعى (CASSYLab) يسمح بالتمثيل البياني لعدد الحوادث (النبضات) بتابعة رقم القناة. وهذا بدوره يسمح باستنتاج رقم القناة المرافقة لطاقة المنبع المعلوم المُستخدم. وبهذه الطريقة يُمكننا رسم مستقيم المعايرة، ومن ثم استنتاج طاقة منبع مجهول [2-7].

يُبين الجدول (2) طاقة الخطوط الطيفية للمنبع المشعة المستخدمة في معايرة الكاشف. نرسم تغيرات الطاقة بتابعة رقم القناة $E = f(n)$ ، انظر الشكل (2)، ومن ثم نستنتج مستقيم المعايرة.

جدول (2): يُبين طاقة الخطوط الطيفية للمنبع المشعة المستخدمة في هذا العمل مع رقم القناة الموافق.

المنبع المشع	الطاقة E(keV)	رقم القناة n
Am-241	60	14
Na-22	511	100
	1274	241
	1785 = 511+1274	343
Mixed Nuclide Cs-137	662	129
Co-60	1173	224
	1332	253
	2505=1173+1332	465



الشكل (2): يُمثل مستقيم معايرة الطاقة للكاشف، عامل الترابط $R^2 = 0,9999$.

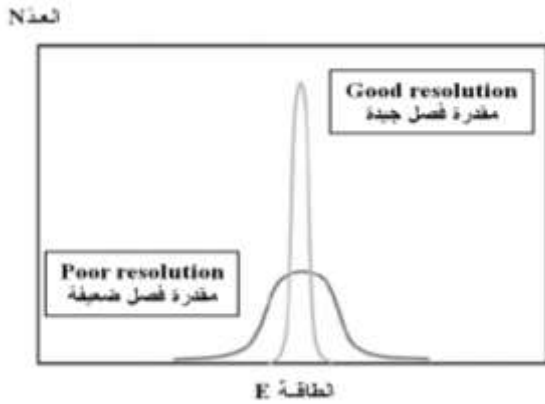
تمت دراسة مقدرة الفصل (تحليل الخطوط الطيفية) بتابعية البعد (d) بين المنبع المُشع والكاشف، والتي تُعطى بالعلاقة الآتية (بتابعية الطاقة E):

$$R = \frac{FWHM}{E_0} \times 100 = \frac{E_2 - E_1}{E_0} \times 100 = \frac{\Delta E}{E_0} \times 100$$

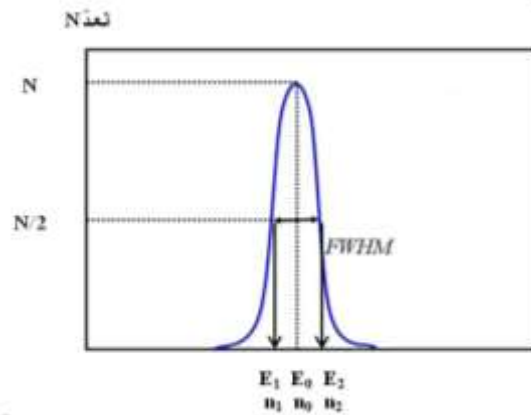
أو بالعلاقة (بتابعية رقم القناة n):

$$R = \frac{FWHM}{n_0} \times 100 = \frac{n_2 - n_1}{n_0} \times 100 = \frac{\Delta n}{n_0} \times 100$$

إذ أن $FWHM$ يُمثل عرض الخط الطيفي في منتصفه (Full Width at Half Maximum – FWHM)، انظر الشكل (3)، بينما يوضح الشكل (4) مقدرة الفصل. والنتائج التي تم الحصول عليها موضحة في الجدول (3). يبيّن الشكل (5) تغيرات مقدرة الفصل (R) بتابعية طاقة الخطوط الطيفية للمنابع المستخدمة، إذ أن (R) أفضل مع ازدياد طاقة الخطوط الطيفية، أي أنه كلما تناقصت القيمة العددية لـ (R)، كلما ارتفعت قدرة الكاشف على فصل الخطوط الطيفية. نشير هنا إلى أن مقدرة الفصل لا تتعلق بالبعد (d) بين المنبع المُشع والكاشف.



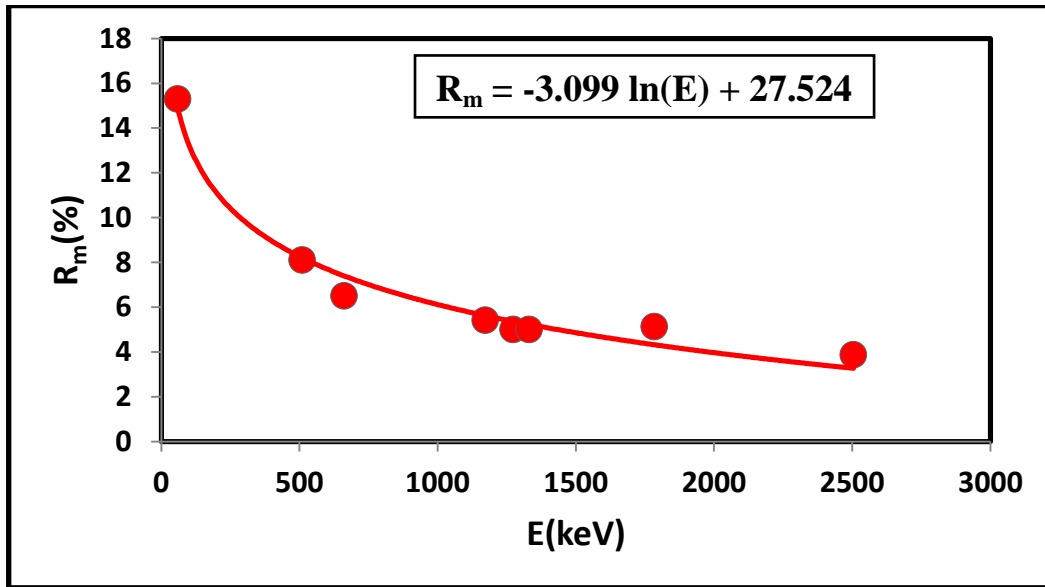
الشكل (4): يبيّن مقدرة الفصل.



الشكل (3): يُمثل عرض الخط الطيفي في منتصفه. (Full Width at Half Maximum – FWHM)

جدول (3): يُبين تغير مقدرة الفصل بتابعة طاقة الخطوط الطيفية للمصادر المشعة المستخدمة في هذا العمل.

الطاقة E(keV)	$R_m = \bar{R} \pm \Delta\bar{R}$ %	R (d = 2cm)	R (d = 5cm)	R (d = 9,3cm)	R (d = 10cm)
60	15,28±0,15	15%	15,38%	15,38%	15,38%
511	8,09±0,32	7,45%	8,33%	8,25%	8,33%
1274	4,99±0,19	4,87%	5,19%	4,72%	5,17%
1785	5,12±0,43	4,41%	4,97%	5,85%	5,26%
662	6,50±0,05	6,61%	6,50%	6,45%	6,45%
1173	5,40±0,36	5,74%	4,69%	5,58%	5,61%
1332	4,99±0,24	5,08%	4,98%	4,53%	5,37%
2505	3,86±0,79	3,67%	4,94%	4,41%	2,43%



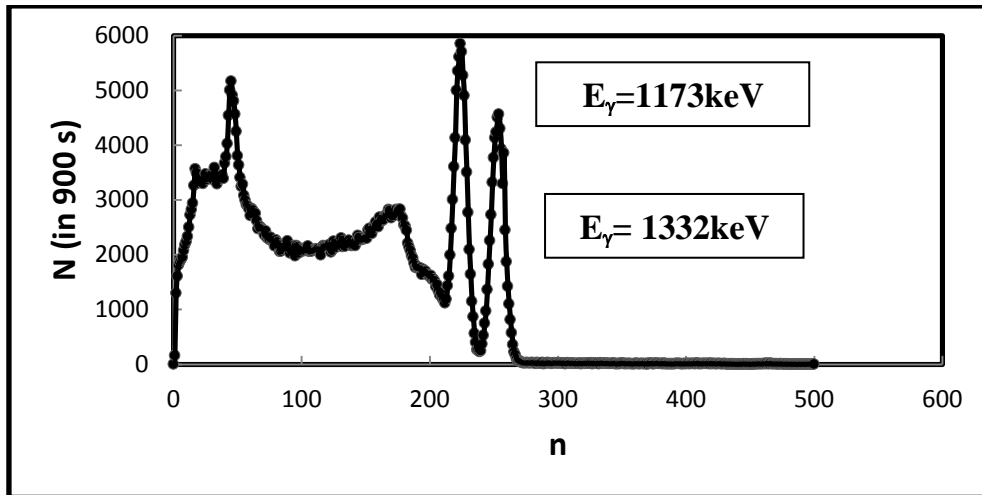
الشكل (5): يُبين تغير مقدرة الفصل بتابعة طاقة الخطوط الطيفية للمصادر المشعة المستخدمة.

بعد أن تمّ تعيين قيمة الجهد (640V) والريح (1) في هذا العمل (من أجل إظهار الخط الطيفي الثالث لكل من الصوديوم والكوبالت، وفي خلاف ذلك تتم الإشارة إلى القيم المُستخدمة)، ومعايرة الكاشف، أي إيجاد العلاقة بين طاقة الخط الطيفي ورقم القناة، يُمكننا الآن القيام بالقياسات التجريبية المتعلقة بالطيف الطاقي المتعلقة بالمنبعين المشعين الكوبالت والصوديوم.

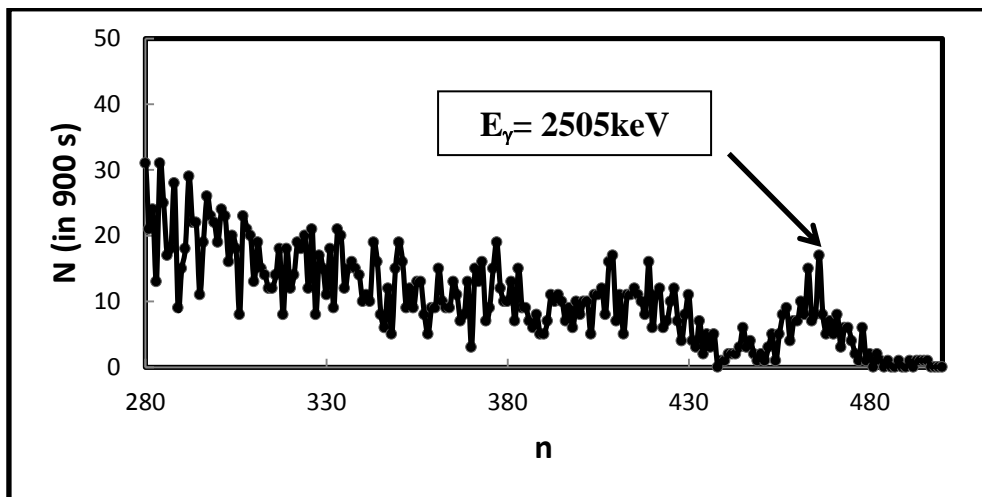
النتائج والمناقشة

1- دراسة النظير المشع ^{60}Co :

يمثل الشكل (6) الطيف الطاقي لنظير الكوبالت - ^{60}Co . معدّل العدّ N بتابعة رقم القناة n. (منبع معياري)، $E\gamma =$ (1173keV, 1332keV, 2505keV)، بُعد المنبع عن الكاشف (5cm).



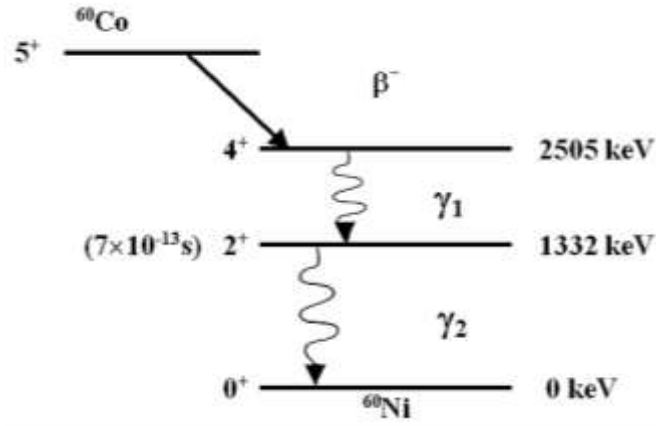
الشكل (6-أ): يوضح الخطان الطيفيان (1173keV) و (1332keV). تم تسجيل العد خلال 900 ثانية.



الشكل (6-ب): يوضح الخط الطيفي (2505keV). تم تسجيل العد خلال 900 ثانية.

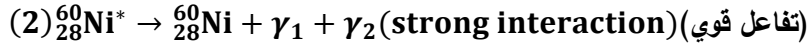
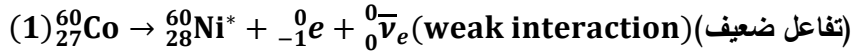
الشكل (6): يمثل الطيف الطاقي لنظير الكوبالت - $^{60}_{27}\text{Co}$. معدل العد N بتابعة رقم القناة n . (منبع معياري)، $E_\gamma = (1173\text{keV}, 1332\text{keV}, 2505\text{keV})$ ، بعد المنبع عن الكاشف (5cm).

يُبيِّن الشكل (7) مخطط التفكك لنظير الكوبالت ^{60}Co . إن الخطوط الطيفية المترافقة مع هذا المخطط موضحة في الشكل (6).



الشكل (7): مخطط التفكك لنظير الكوبالت ^{60}Co المشع.

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



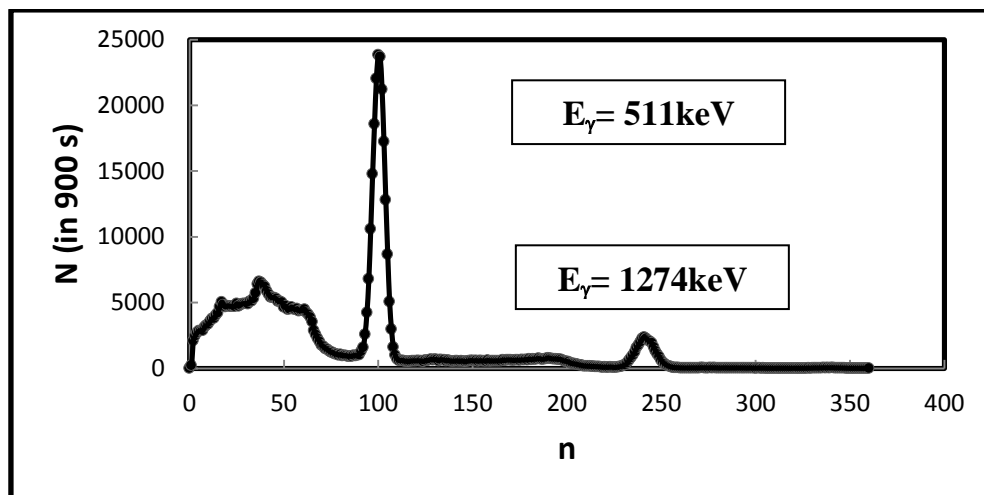
$$E_{\gamma_1} = 1172 \text{ keV} \quad \& \quad E_{\gamma_2} = 1332 \text{ keV}$$

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

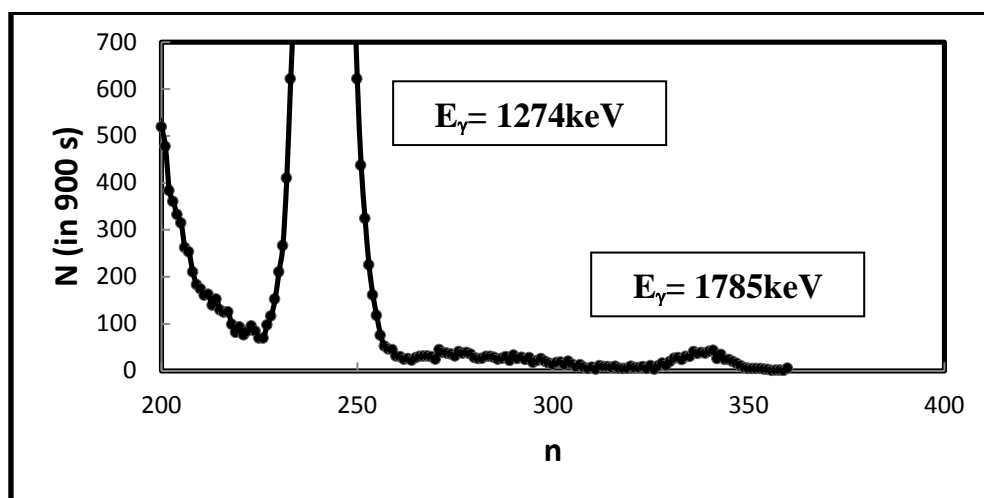
حيث $^0_{0}\bar{\nu}_e$ يمثل مضاد نيتريينو إلكتروني، $^0_{-1}\text{e}$ يمثل إلكترون، و $^{60}_{28}\text{Ni}^*$ يمثل نواة نيكل مُحَرَضَة. إن تفكك نظير الكوبالت-60 يتم بواسطة تفكك $^-$ (أي تحول نيوترون إلى بروتون)، في معظم الأحيان (أكثر من 99.9%، أي أن نسبة التفرع 99.9% [8]، إلى السوية المحرَضَة (2505keV) للنيكل $^{60}\text{Ni}^*$. ويتفكك لاحقاً إلى الحالة الأساسية مُصدرًا فوتون غاما طاقته (1173keV) متبوعاً، تقريباً بأن واحد، بفوتون غاما آخر طاقته (1332keV) نحو الحالة الأساسية (إن حياة السوية 1332keV تُقدَّر بـ $7 \times 10^{-13}\text{s}$ ، بحيث أن الفوتونين غاما يظهران وكأنهما مترامنان من الناحية التجريبية) [9]. تم البرهان على أن هاتين الحادثتين (الإصدارين) هما في حالة تزامن [9].

2- دراسة النظير المشع ^{22}Na :

يمثل الشكل (8) الطيف الطاقي لنظير الصوديوم ^{22}Na . معدّل العدّ N بتابعية رقم القناة n. (منبع معياري)، $E_{\gamma} = (511 \text{ keV}, 1274 \text{ keV}, 1785 \text{ keV})$ ، بعد المنبع عن الكاشف (5cm).



الشكل (8- a): يوضح الخطان الطيفيان (511keV) و (1274keV). تم تسجيل العد خلال 900 ثانية.

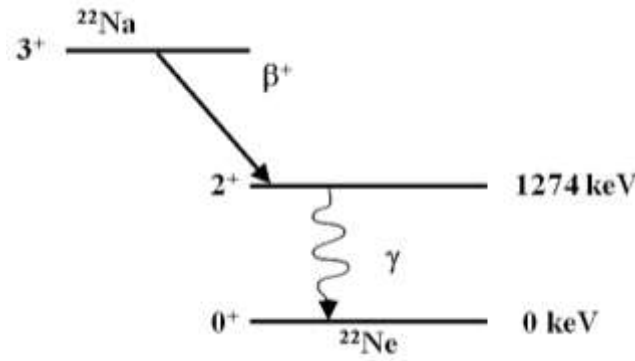


الشكل (8- b): يوضح الخط الطيفي (1785keV). تم تسجيل العد خلال 900 ثانية.

الشكل (8): يمثل الطيف الطاقى لنظير الصوديوم (^{22}Na). معدل العد N بتابعة رقم القناة n . (منبع معياري)،

$E_\gamma = (511\text{keV}, 1274\text{keV}, 1785\text{keV})$ ، بعد المنبع عن الكاشف (5cm).

إذا أخذنا الطيف الطاقى للصوديوم ^{22}Na نلاحظ أن هناك ثلاثة خطوط طيفية: (511keV)، و (1273keV)، و (511+1172=1785keV). إن الخط الطيفي (511keV) ينتج عن تفكك الـ ^{22}Na إلى نواة النيون المُحرّضة $^{22}\text{Ne}^{2+}$ ، بينما الخط الطيفي (1274keV) ينتج عن تفكك النواة المُحرّضة $^{22}\text{Ne}^{2+}$ إلى ^{22}Ne المستقر، أي من السوية المُحرّضة 2^+ إلى السوية الأساسية 0^+ . إذ أن الخط الطيفي (1785keV) هو مجموع الخطين الطيفيين، أي مجموع الخطوتين السابقتين بخطوة واحدة (بحادثة واحدة). يُبين الشكل (9) مخطط التفكك لنظير الصوديوم ^{22}Na . إن الخطوط الطيفية المترافقة مع هذا المخطط موضحة في الشكل (8).

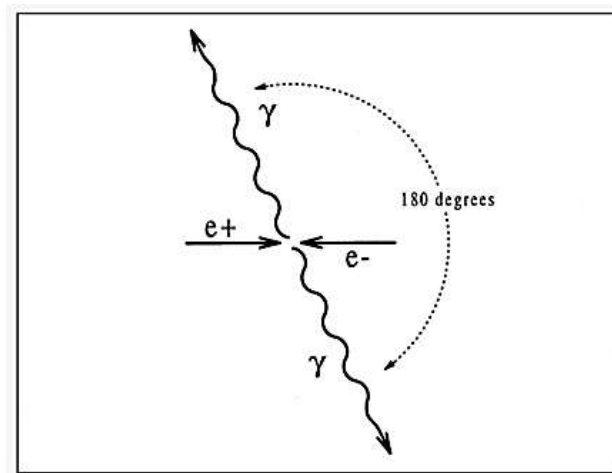


الشكل (9): مخطط التفكك لنظير الصوديوم ^{22}Na المشع.

يمكن أن نمثل تفكك النظير المشع $^{22}_{11}\text{Na}$ بالتفاعلات الثلاث الآتية:

- (1) $^{22}_{11}\text{Na} \rightarrow ^{22}_{10}\text{Ne}^* + ^0_1\text{e} + ^0_0\nu_e$ (تفاعل ضعيف) (weak interaction)
 - (2) $^{22}_{10}\text{Ne}^* \rightarrow ^{22}_{10}\text{Ne} + \gamma$ (تفاعل قوي) (strong interaction)
 - (3) $^0_1\text{e}(\text{positron}) + ^0_{-1}\text{e}(\text{electron}) \rightarrow \gamma + \gamma$ (weak interaction)
- $E_{\gamma_1} = 511 \text{ keV}$ & $E_{\gamma_2} = 1274 \text{ keV}$
 $E_{\gamma_1} + E_{\gamma_2} = 511 + 1274 = 1785 \text{ keV}$

نشير إلى أنه في التفاعل رقم (3) كتلة $(\gamma + \gamma)$ تساوي مجموع الكتلتين السكونيتين (البدايتين) لكل من الإلكترون $^0_{-1}\text{e}$ والبوزيترون ^0_1e حيث كتلة كل منهما تساوي (511 keV)، وهذا يُحقق قانون انحفاظ الطاقة المُعطى بالعلاقة $E = mc^2$ ، حيث c تمثل سرعة الضوء. إضافة إلى ذلك، فإن عزم كمية الحركة محفوظ أيضاً، وهذا يقود إلى أن اتجاهي أشعتي غاما الصادرتين متعاكسين، أي أن الزاوية بينهما تساوي 180° درجة، انظر الشكل (10).



الشكل (10): مخطط يوضح آلية تلاشي إلكترون - بوزيترون.

3- دراسة ومناقشة السويات المُحرّضة:

يُطرح الآن السؤال الآتي: ما هي آلية تحريض السويات المُحرّضة لكل من النيون $^{22}_{10}\text{Ne}$ والنيكل $^{60}_{28}\text{Ni}$ ؟ هل هي تحريض فردي أو تحريض جماعي، أو ماذا؟

نعلم أن النماذج النووية هي تمثيلات (أو عروضات) مبسطة لتجمع النيوكليونات وتفاعلاتها مع بعضها البعض في النوى الذرية، وغاية هذه النماذج الأخذ بعين الاعتبار بخصائص ومميزات هذه النوى، التي لا نعرف حسابها بشكل مفصل إنطلاقاً من مفهوم القوى النووية. يوجد العديد من النماذج النووية حيث كل منها يشرح بعض الخصائص والمميزات، أي بعبارة أخرى إن كل نموذج ذات إمكانيات محددة.

تم تطوير النماذج النووية، في مجال التفاعلات النووية (سويات طاقة محرصة بشكل قوي) وأيضاً في المجال الطيفي (السويات الأولى المحرصة)، وفق فكرتين متناقضتين:

الفكرة الأولى: اعتبرنا في النماذج التي تنتمي إلى هذه الفكرة أن كل نيوكليون لا يخضع إلا لكمون وسطي، وأن حركته مستقلة عن حركة النيوكليونات الأخرى (أي التأثيرات المتبادلة المباشرة بينه وبين النيوكليونات الأخرى مهمة): إن احتمال تبعثر أو انتشار نيوكليونين في النواة هو ضعيف، أو أن المسار الحر الوسطي لكل نيوكليون على انفراد يكون كبيراً. يُطلق على النماذج التي تنتمي إلى هذه الفكرة "نماذج الجسيمات المستقلة". نذكر من هذه النماذج نموذج غاز فيرمي، والنموذج الطبقي.

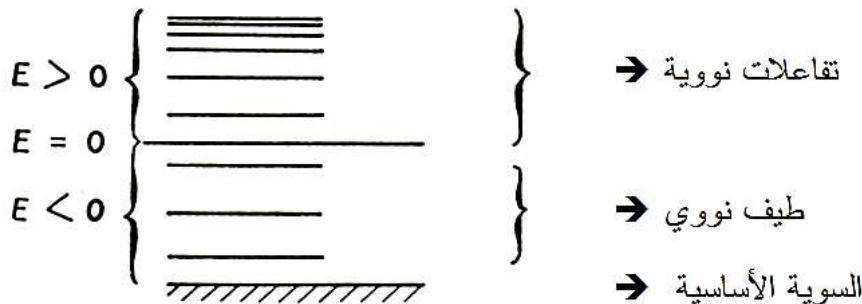
الفكرة الثانية: اعتبرنا في النماذج التي تنتمي إلى هذه الفكرة أن كل نيوكليون يتفاعل بشكل قوي مع كل من النيوكليونات الأخرى، بشكل خاص مع النيوكليونات الأكثر قرباً منه بسبب المدى القصير للقوى النووية التي تعمل بينهما. إن المسار الحر الوسطي للنيوكليون قصير جداً بالمقارنة مع نصف القطر النووي. يُطلق على النماذج التي تنتمي إلى هذه الفكرة "نماذج التأثيرات المتبادلة القوية أو الشديدة". نذكر من هذه النماذج نموذج القطرة السائلة، ونموذج النواة المركبة.

بالإضافة إلى النماذج التي تنتمي إلى الفكرتين السابقتين، حيث لا يستطيع أي منهما أن يمثل الحقيقة بكاملها، توجد نماذج توفيقية أو وسيطية كالنموذج الجماعي والنموذج الضوئي.

وكما أشرنا أعلاه، فإن النماذج النووية يمكن أن تحاول شرح:

(a) سويات الطاقة المصادفة في الدراسة الطيفية النووية: إذا أرفقنا هذه الطاقات لنيوكليون، حيث تكون هذه الطاقات جمعياً سالبة، يكون هذا النيوكليون مرتبطاً. يرتبط النيوكليون، في الحالة الأساسية، بطاقة تساوي الطاقة اللازم لإعطائها للنيوكليون من أجل نزعه من النواة [تدعى بطاقة الفصل، حيث قيمتها الوسطى تساوي تقريباً (8 MeV) من أجل مجموعة النوى]. إذن، تصبح الغاية من النماذج شرح الأوضاع والمميزات للسويات الطاقية الأولى التي تلي مباشرة السوية الأساسية.

(b) في مجال التفاعلات النووية: إن هذه الطاقات تكون موجبة من أجل النيوكليون الفضيعة، بالنسبة للنواة الهدف حيث يدخل فيها، الشكل (11).



الشكل (11).

بالعودة إلى النواتين $^{22}_{10}\text{Ne}$ و $^{60}_{28}\text{Ni}$ الناتجتين عن تفكك كل من النظيرين المشعنين $^{22}_{11}\text{Na}$ و $^{60}_{27}\text{Co}$ على التوالي نلاحظ أن هذه النوى هي زوجية البروتونات والنيوترونات. واستناداً إلى نموذج الطبقات، فإن توزع البروتونات والنيوترونات على الطبقات النووية موضح في الشكل (12).

$1f_{5/2}$		●○○○○○		
$2p_{3/2}$		●●●●		●●●●
	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

$^{60}_{27}\text{Co}_{33}$

$^{60}_{28}\text{Ni}_{32}$

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

$^{22}_{11}\text{Na}_{11}$

$^{22}_{10}\text{Ne}_{12}$

الشكل (12): توزع البروتونات والنيوترونات على الطبقات النووية لكل من $^{22}_{11}\text{Na}_{11}$ ، $^{22}_{10}\text{Ne}_{12}$ ، $^{60}_{27}\text{Co}_{33}$ و $^{60}_{28}\text{Ni}_{32}$ وفق نموذج الطبقات.

● مكان مملوء ○ مكان فارغ

كيف يتم تحديد سبين ونوعية (J^π) نواة ما وفق نموذج الطبقات؟

نقبل بأن كل عدد زوجي من النوكليونات المتشابهة أو المتماثلة على نفس الطبقة الجزئية (أي لهما نفس العدد الكوانتي المداري $\vec{\ell}$ أو العزم الحركي المداري، والعدد الكوانتي الكلي $\vec{j} = \vec{\ell} + \vec{s}$ ، أو العزم الحركي الكلي، حيث \vec{s} العزم السبيني) يسعى للتجمع بشكل أزواج وإعطاء عزم زاوي كلي يساوي الصفر في الحالة الأساسية ونوعية زوجية. إذا كان عدد ما من النوكليونات المتماثلة زوجي في طبقة جزئية، يكون لدينا $J = 0$ ، وإذا كان فردي، فيكون لدينا $J = j$. بعبارة أخرى فإن العدد الفردي من النوكليونات المتماثلة على نفس الطبقة الجزئية (أي لهما نفس العددين الكوانتين $\vec{\ell}$ و \vec{j}) تتحد مع بعضها لتعطي نوعية فردية إذا كانت $\vec{\ell}$ فردي، ونوعية زوجية إذا كانت $\vec{\ell}$ زوجي، كما يعطي عزمًا زاويًا كلياً $J \neq j$ غير معدوم مساوياً لعزم نيوكلينون فردي في الحالة j .

بشكل عام، يمكن أن نلخص ما سبق على النحو التالي :

قاعدة (1): يرافق الحالات الأساسية للنوى الزوجية - الزوجية (N زوجي و Z زوجي) عزم زاوي كلي معدوم $J = 0$ ونوعية موجبة.

قاعدة (2): تحدد مميزات الحالة الأساسية للنوى الزوجية - الفردية (N زوجي و Z فردي) بالبروتونات الفردية، وبشكل معاكس، من أجل (N فردي و Z زوجي) بالنيوترونات الفردية.

قاعدة (3): في نواة ذات عدد كتلي A فردي، تتجمع (تقترن) النوكليونات الفردية مع بعضها البعض (تتجمع عزومها الزاوية) لتعطي عزم زاوي كلي $J = j$ ونوعية $\pi = (-1)^\ell$.

قاعدة (4): في النوى التي تحوي عدداً فردياً من البروتونات والنيوترونات في وقت واحد (فردية - فردية) ينتج عزمها الزاوي الكلي بطريقة الجمع الشعاعي لعزمي البروتون الفردي والنيوترون الفردي، أي أن :

$$\vec{J} = \vec{j}_n + \vec{j}_p$$

حيث أن j تأخذ قيمة صحيحة محصورة في المجال:

$$|j_n - j_p| \leq j \leq |j_n + j_p|$$

وتعطي نوعية هذا النوع من النوى بالعلاقة التالية :

$$\pi = (-1)^{\ell_n + \ell_p}$$

حيث ℓ_n و ℓ_p يمثلان العزم المداري للنيوترون والبروتون على الترتيب.

استناداً إلى ذلك، وإلى توزيع البروتونات والنيوترونات على الطبقات وفق نموذج الطبقات، فإن سبين ونوعية الحالة الأساسية (المستقرة غير المحرصة) للنوى المدروسة هي:

من أجل ${}^{60}\text{Ni}_{32}$ و ${}^{22}_{10}\text{Ne}_{12}$ (زوجية - زوجية):

$J^\pi = 0^+$ وذلك لأنهما نوى زوجية البروتونات والنيوترونات

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

$$|j_n - j_p| \leq j \leq |j_n + j_p| \rightarrow |3 - 3| \leq j \leq |3 + 3| \rightarrow j = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

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

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

من أجل ${}^{22}\text{Na}_{11}$ (فردية - فردية):

$$|j_n - j_p| \leq j \leq |j_n + j_p| \rightarrow |2 - 2| \leq j \leq |2 + 2| \rightarrow j = 0, 1, 2, 3, 4$$

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

ووجد تجريبياً أن $J^\pi = 3^+$ وهي قيمة تقع بين القيم المتوقعة نظرياً.

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

هناك العديد من الطرق التي تسمح بمراقبة الحالات المحرّضة للنوى. على سبيل المثال، نستخدم كثيراً المصادر المشعة الصناعية حيث التفكك يقود إلى سويات محرّضة للنواة الوليدة. وفي أغلب الأحيان، فإن النواة الوليدة تتخلى عن طاقتها المحرّضة بشكل سريع عن طريق إصدار إشعاعات غاما γ متتالية، وكشف هذه الإشعاعات يسمح بالحصول على الطاقات الخاصة للنواة الوليدة، والتي يُراد دراستها. ويمكن أيضاً استنتاج المميزات والصفات الكوانتية لهذه السويات المحرّضة المكشوفة، مثل السبين النووي والنوعية. إذاً، يكون لدينا ما يُدعى بمخطط السويات المحرّضة للنواة الناتجة عن التفكك. ويمكن أيضاً دراسة السويات المحرّضة بواسطة التفاعلات النووية: تفاعلات التبعثر المرن، تفاعلات الانتقال، التحريض الكولوني، تبخر الشوارد الثقيلة الناتجة عن الاندماج.

من الناحية التقنية، والتجريبية، لتحقيق ذلك يمكن:

- استخدام المسرعات لتوليد النوى المستقرة والنظائر المشعة،
- استخدام طرائق حديثة في الكشف عن (أشعة غاما، والجسيمات...)،
- تحسين طرائق التحليل (بوساطة الحواسيب Hardware، والبرامجيات Software)،
- زيادة قدرة الحواسيب على التحليل.

لهذه الغاية سنستخدم مخططات تفكك النظائر المشعة، ومن ثم الطيف الطاقية لدراسة السويات المُحرّضة، إضافة إلى دراسة التوزعات الزاوية لهذه السويات. وسنحاول انطلاقاً من التوزعات الزاوية استنتاج بعض الصفات النووية لهذه السويات، وهذا سيكون مشروعنا البحثي المُتمم لهذا البحث.

الاستنتاجات والتوصيات

استناداً إلى هذا العمل، تمّت معايرة الأجهزة المستخدمة (كاشف)، ثم استنتاج شكل مستقيم معايرة الطاقة لهذا الكاشف، فوجد أن هذا المنحني يأخذ شكل خط مستقيم معادلته:

$$E = 5,342n - 20,270$$

تمت دراسة مقدرة الفصل بتابعية البعد بين المنبع المُشع والكاشف، والنتائج التي تم الحصول عليها تبين أن مقدرة الفصل تتناقص مع ازدياد طاقة الخطوط الطيفية.

تمّ أيضاً الحصول على الطيف الطاقية لكل من النظيرين المشعين الكوبالت ^{60}Co والصوديوم ^{22}Na . ومن ثمّ تمت الدراسة التجريبية والتحليلية لمخططات التفكك والطيف الطاقية للنظيرين المشعين الكوبالت ^{60}Co والصوديوم ^{22}Na ، ومقارنتهما ببعضهما بعضاً.

تُشير مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها مع النتائج المتوفرة في هذا المجال إلى تطابق جيد جداً.

يُعدّ هذا العمل أساساً في فهم آلية تفكك المصادر المشعة، تسجيل ودراسة الطيف الطاقية، ومن ثم دراسة وتحليل السويات الطاقية للنوى الناتجة عن التفكك.

ونصح بالقيام بمثل هذه الأعمال من أجل مصادر مشعة جديدة. وسنحاول انطلاقاً من التوزعات الزاوية استنتاج بعض الصفات النووية للسويات المحرّضة للنوى الوليدة، أو الناتجة عن التفكك، وهذا سيكون مشروعنا البحثي المُتمم لهذا البحث.

المراجع

- [1] *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.
- [2] J. Jabbour, H. Jbeli and J. Mulhem, *Study of Experimental Characteristics of a NaI(Tl) Detector For Investigation in Radioactivity Measurements Of a Weakly radioactive samples*. Tishreen University Journal, Vol (34), No (1) 2012, pp. 9-24.
- [3] J. Jabbour, J. Mulhem and S. Yassin, *Experimental Study of the Conservation Law in Compton Effect*. Accepted for publication in Tishreen University Journal, 2012.
- [4] J. Jabbour, H. Jbeli and J. Mulhem, *Measuring the radioactivity resulted from (137Cs) and from (40K) isotopes of water samples from different sources in the city of Lattakia*. Accepted for publication in Tishreen University Journal, 2012.
- [5] J. Jabbour, J. Mulhem and S. Yassin, *Experimental Study of the Conservation Law in Compton Effect*. Accepted for publication in Tishreen University Journal, 2012.
- [6] J. Jabbour, H. Jbeli and J. Mulhem, *Measuring the radioactivity resulted from (137Cs) and from (40K) isotopes of milk samples from different sources in the city of Lattakia*. Accepted for publication in Tishreen University Journal, 2013.
- [7] 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.
- [8] L. Peralta, *Measuring the Activity of a Radioactive Source in the Classroom*, European Journal of Physics, 25(2004) 211-219.
- [9] 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.
- [10] Luc Valentin, *Physique subatomique: Noyaux et Particules*. Enseignement des sciences. Hermann, Paris, 1975.
- [11] A. Maesschalck. *The changing mean field in exotic nuclei: a shell-model point of view*. Phd thesis, Universiteit Gent, Faculteit Wetenschappen (2006), 4.
- [12] M. G. Mayer. *Nuclear configurations in the spin-orbit coupling model. i. empirical evidence*. Phys. Rev. 78, 16 (1950), 4.
- [13] R. F. Casten. *Nuclear structure from a simple perspective*. Oxford University Press (2000), 6, 15.

- [14] G. Neyens, M. Kowalska, D. Yordanov, K. Blaum, P. Himpe, P. lievens, S. Mallion, R. Neugart, N. Vermeulen, Y. Utsuno and T. Otsuka. *Measurement of the spin and magnetic moment of ^{31}Mg : Evidence for a strongly deformed intruder ground state*. Phys. Rev. Lett. 94, 022501 (2005), 7.
- [15] T. Motobayashi, Y. Ikeda, K. Ieki, M. Inoue, T. Kikuchi, M. Kurokawa, S. Moriya, S. Ogawa, H. Murakami, S. Shimoura, Y. Yanagisawa, T. Nakamura, Y. Watanabe, M. Ishihara, T. Teranishi, H. Okuno and R. Casten. *Large deformation of the very neutron-rich nucleus ^{32}Mg from intermediate-energy coulomb excitation*. Physics Letters B 346, 9 (1995), 7.
- [16] R. W. Ibboston, T. Glasmacher, B. A. Brown, L. Chen, M. J. Chromik, P. D. Cottle, M. Fauerbach, K. W. Kemper, D. J. Morrissey, H. Scheit and M. Thoennessen. *Quadrupole collectivity in $^{32,34,36,38}\text{Si}$ and the $N = 20$ shell closure*. Phys. Rev. Lett. 80, 2081 (1998), 7.
- [17] B. V. Pritchenko, T. Glasmacher, B. A. Brown, P. D. Cottle, R. W. Ibbotson, K. W. Kemper, L. A. Riley and H. Scheit. *First observation of an excited state in the neutron-rich nucleus ^{31}Na* . Phys. Rev. C 63, 011305 (2000), 7.
- [18] K. Utsuno, T. Otsuka, T. Mizusaki and M. Honna. *Extreme location of f drip line and disappearance of the $N = 20$ magic structure*. Phys. Rev. C 64, 011301 (2001), 7.
- [19] K. Heyde, P. V. Isacker, M. Waroquier, J. Wood and R. Meyer. *Coexistence in odd-mass nuclei*. Physics Reports 102, 291 (1983), 7, 15.
- [20] E. K. Warburton, J. A. Becker and B. A. Brown. *Mass systematics for $A = 29-44$ nuclei: The deformed $A \sim 32$ region*. Phys. Rev. C 41, 1147 (1990), 7.
- [21] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/nuclear>