

تخفيض إشعاع ضجيج الخلفية ومعايرة الطاقة لكاشف NaI(Tl)

د. جبور جبور*

د. جهاد ملحم**

حمدي عبدالسلام***

(تاريخ الإيداع 12 / 4 / 2020. قَبْلُ للنشر في 6 / 7 / 2021)

□ ملخص □

تم في هذا العمل التجريبي معايرة الأجهزة المستخدمة (كاشف، ومنابع للمعايرة)، واستنتاج شكل منحنى معايرة الطاقة للكاشف المستخدم، وقد تبين أنه يأخذ شكل خط مستقيم معادلته:

$$E = 16.4130 n - 8.8165$$

تم أيضاً دراسة تقنيات تخفيض إشعاع ضجيج الخلفية في مختبر الفيزياء النووية في كلية العلوم - قسم الفيزياء - جامعة تشرين (مكان إجراء هذا العمل) باستخدام طريقتي التدرج السليبي وهما:

1- الطريقة التقليدية.

2- طريقة التدرج المتدرج.

وأشارت النتائج التي تم الحصول عليها إلى:

1- إنخفاض معدل العد الاجمالي عند إحاطة الكاشف بالدرع الرصاصي (الطريقة التقليدية)، حيث انخفضت معدلات العد في جميع القنوات (جميع القمم الطاقية) تقريباً.

2- إزدياد معدلات العد في طريقة التدرج المتدرج في عدد من القمم الطاقية ذات الأهمية في مطيافية أشعة غاما ولا سيما في المجال (0 - 500) keV؛ تلك المنطقة التي يسود فيها تأثير التشتت الخلفي لأشعة غاما.

و تبين أيضاً أنّ طريقة التدرج المتدرج لا تصلح مع الدروع الرصاصية ذات السماكات المنخفضة، لأن المضاعفات الناتجة عنها أكبر من التخفيض الذي يحدث بسببها، و أما الطريقة التقليدية فتكون أفضل مع الدروع ذات السماكات الصغيرة ويمكن تحسين قيمة الحد الأدنى للنشاط الإشعاعي (MDA) وفقاً للمعادلة التي تصف هذا المقدار وذلك عن طريق زيادة زمن القياس T.

الكلمات المفتاحية: أشعة غاما، إشعاع الخلفية، تخفيض إشعاع الخلفية، كاشف يوديد الصوديوم NaI(Tl)، معايرة الطاقة، مطيافية أشعة غاما، التدرج السليبي لكواشف أشعة غاما.

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

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

*** طالب دراسات عليا (ماجستير) - اختصاص فيزياء إشعاعية - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Background Reduction and Energy Calibration of NaI(Tl) Detector

Dr. Jabbour Jabbour*
Dr. Jehad Mulhem**
Hamdi Abdulsalam***

(Received 12 / 4 / 2020. Accepted 6 / 7 / 2021)

□ ABSTRACT □

In this work, a NaI(Tl) detector has been calibrated, and the equation that describes the relationship between energy and the channels takes the form of a straight line given as:

$$E = 16.413 n - 8.8165$$

Techniques for reducing background radiation were studied in the Nuclear Physics Laboratory at Tishreen University, where this work performed, using two methods of shielding:

- 1- The traditional method.
- 2- The graded shield method.

The results obtained indicate that:

- 1- 1-The overall count rate decreased when surrounding the detector with the lead shield (traditional method), as the count rates decreased in almost all channels (all energy peaks) using the lead shield.
- 2- 2- In the graded shield method, count rates increased at several energy peaks of interest in gamma-ray spectroscopy, particularly in the (0-500) keV range; The region in which the gamma-ray backscattering effect predominates.

While the graded shield method is not suitable for the lead shields of low thicknesses because the complications resulting from it are more than the reduction due to it, the traditional method is better with small thickness shields, and the minimum radioactivity (MDA) value can be improved according to the its equation by increasing measurement time T.

Keywords: Gamma ray, background radiation, background radiation reduction, NaI(Tl) detector, energy calibration, gamma ray spectroscopy, passive shielding of the gamma-ray detectors.

* 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:

تُعد مطيافية أشعة غاما (Gamma-ray spectrometry) الطريقة الأكثر انتشاراً لتحديد النشاط الإشعاعي للنوى المشعة. وتتراوح تطبيقاتها من قياسات النشاطات العالية كما في المستحضرات الصيدلانية المشعة، إلى مستويات النشاط المنخفضة في العينات البيئية، والمستويات المنخفضة جداً التي تتم مصادفتها عند الكشف عن الأحداث النادرة، عندما يتم قياس مستويات النشاط المنخفض، يجب أن يتم استخدام أجهزة الكشف في نظام له خلفية منخفضة مع وضع العينات بالقرب من الكاشف ويتم قياسها في فترات زمنية طويلة، وفي بعض الحالات حتى مادة الكاشف نفسها يُمكن أن تصبح "عينة" وتضيف معدلات عد إلى الخلفية [1].

إن حدود الكشف (Detection limits) المنخفضة توفر قياسات أكثر موثوقية ودقة للنوى المشعة في العينات البيئية، وتولي مختبرات قياس طيف غاما اهتماماً خاصاً لتقليل الخلفية الإشعاعية للكاشفات، والتي، وفقاً لـ [2]، فإن زمن اكتساب معين وقياس هندسي محدد، مرتبطة بالمقدار MDA "minimum detectable activity" وهو الحد الأدنى للنشاط الإشعاعي الذي يُمكن الكشف عنه، على النحو التالي:

$$MDA = \frac{\sqrt{Background}}{Efficiency} \quad (1)$$

حيث أن Efficiency كفاءة أو مردود الكاشف المستخدم، ومما سبق نجد أن الضجيج هو التحدي الرئيسي ويجب تخفيضه قدر الإمكان لتحسين الحد الأدنى للنشاط الإشعاعي الذي يمكن الكشف عنه MDA [3].

يُمكن تعريف إشعاع ضجيج الخلفية في الفيزياء الإشعاعية على أنه ذلك الإشعاع المؤين (Ionizing radiation) الذي يحمل طاقة أكبر أو تساوي من (13,6 eV) هذا عند دراسة التعرض للإشعاع (Exposure)، أما عند دراسة مطيافية أشعة غاما فيُعرف الضجيج (noise) بأنه الإشارة غير مرغوب بها، والتي تتراكم على الإشارة الأصلية، وتخل بالمعلومات وهي من نفس طبيعة الإشارة الأصلية. ويمكن تقسيم الضجيج من حيث طبيعته إلى ضجيج ناتج عن العد الإحصائي، ضجيج الخلفية الكونية (موضوع بحثنا)، الضجيج المتداخل، والضجيج الإلكتروني [5,4].

إن الخلفية تتكون من خلفية مستمرة (Continuous background)؛ بفعل تشتت كمبتون أو من تفاعلات كبح الجسيمات المشحونة، وتتراكم على هذه الخلفية المستمرة قمم طاقية (Peaked background)، وهناك العديد من المصادر التي تتسبب بزيادة ضجيج الخلفية، وهذا يؤثر بشكل كبير على نتائج القياس. بالنسبة لبعض تطبيقات مطيافية أشعة غاما (γ)، يمكن أن يؤدي ذلك إلى الحصول على قيم خاطئة للنشاط الإشعاعي، أو حدود القرار (Decision limits)؛ وفي بعض الأحيان، قد يُساء تفسير النتائج - غير المتوقعة - وتفسيرها عن طريق الخطأ على أنها خرق لقانون التفتك [1]، والمصادر التي تسبب بزيادة الضجيج قد تنتج عن:

- (أ) الشوائب الإشعاعية في مواد الكاشف والتدريع [3].
- (ب) النشاط الإشعاعي البيئي (بما في ذلك الرادون)؛ الناتج عنه أشعة غاما من السلاسل المشعة الطبيعية، والنيوترونات الناتجة عن الانشطار الطبيعي، ومن تفاعل (α, n) [3].
- (ت) الأشعة الكونية بمساهماتها ذات الصلة مثل الميونات، والنيوترونات [3].
- (ث) تفاعل أشعة غاما مع المواد المحيطة بالكاشف [6].

وهذه المصادر تختلف إذا كان الكاشف موضوع تحت الأرض أو فوق الأرض، ويجب الإشارة إلى المكان الذي تجرى فيه اية دراسة إشعاعية لأنظمة العد المنخفض [6].

إن تخفيض إشعاع الخلفية عملية صعبة، دقيقة ومهمة في نفس الوقت، وتنقسم طرق تخفيض الضجيج بشكل رئيسي إلى قسمين رئيسين:

- 1) الطرائق النشطة (Active background methods) وهي تلك التي لا تعتمد على الإجراءات التي تعمل على امتصاص أشعة غاما (γ) غير المرغوب بها، بل تعمل على استخدام تقنيات أخرى لإزالة أو للحد من آثار هذه الأشعة [7].
- 2) الطرائق السلبية (Passive background methods) وهي تلك التي تعتمد على امتصاص أشعة غاما (γ) غير المرغوب بها وذلك عن طريق وضع مادة ماصة بين الكاشف ومصدر الخلفية، وتتدرج ضمنها الطريقة التقليدية وطريقة التدرج المتدرج [7].

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في استخدام أهم طرائق التدرج السلبي المعروفة والمستخدمة لتقليل الاثار الناتجة عن الضجيج الخلفي (الإشعاع الخلفي) في مطيافية أشعة غاما (γ)، وهي:

- 1- الطريقة التقليدية.
 - 2- طريقة التدرج المتدرج.
- تم استخدام هاتين الطريقتين، في هذا العمل، واختبارهما، والمقارنة بينهما، ثم محاولة التوصل إلى خلاصة أو نتيجة تسمح بالقول أو الإشارة إلى أن استخدام إحدى الطريقتين هو أفضل من الطريقة الأخرى في مجال معين، وهذا هو الهدف الأساس لهذا العمل الذي تغطي عليه السمة التجريبية.
- يهدف هذا البحث إلى دراسة طريقة التدرج المتدرج على درع رصاصي سماكته منخفضة تقدر بحوالي 1.5 cm بعيداً عن الدراسات المرجعية التي استخدمت سماكات كبيرة مثل 6 cm، 10 cm.

طرائق البحث ومواده:

1- الطريقة التقليدية المستخدمة في تدرج الكاشف:

يتم في هذه الطريقة بشكل عام تسجيل طيف ضجيج الخلفية بعد احاطة الكاشف بمادة وحيدة ذات عدد ذري كبير Z . من أكثر المواد المستخدمة في تدرج الكاشف هي الرصاص الذي له عدد ذري كبير $Z = 82$. إن البنية البلورية المكعبة المتراسة مع العدد الذري الكبير للرصاص تجعل كثافته عالية حيث تساوي 11.34 g/cm^3 وهي أكبر من كثافة المعادن الشائعة مثل الحديد 7.87 g/cm^3 والنحاس 8.93 g/cm^3 . يوجد بعض المعادن النادرة لها كثافة أكبر من الرصاص: مثلاً التنغستن والذهب لهما الكثافة 19.3 g/cm^3 ، والأوزميوم (Osmium) هو أكثر المعادن المعروفة كثافة حيث تبلغ كثافته تقريباً ضعف كثافة الرصاص 22.59 g/cm^3 [8].

تم اختيار الرصاص في تدرج الكاشف للأسباب المذكورة أعلاه، وهو ناعم ومرن وله نقطة انصهار منخفضة نسبياً؛ مما يعني أنه من السهل تشكيله. بالنسبة للمعادن التي تملك كثافة أكبر من الرصاص والذهب والتنغستن، و لم يتم

اختيارهما بسبب التكلفة العالية، أما بخصوص الأوزميوم فصحيح أنه يملك كثافة ضعف كثافة الرصاص ولكنه هش، وبالتالي تم اختيار الرصاص ليستخدم في تدريع الكاشف المستخدم في القياسات [8].
 يتكون الرصاص الطبيعي من أربعة نظائر مستقرة بأعداد كتلية كبيرة هي: $^{204}_{82}\text{Pb}$ و $^{206}_{82}\text{Pb}$ و $^{207}_{82}\text{Pb}$ و $^{208}_{82}\text{Pb}$ ونسب ضئيلة من خمسة نظائر مشعة مُعظمها لها أعمار نصف قصيرة [4]. إن الرصاص له عدد سحري من البروتونات 82 وهو السبب الذي جعل نموذج الطبقات النووية يتوقع بأنها نواة مستقرة، ونظير الرصاص $^{208}_{82}\text{Pb}$ يحتوي على 126 نيوتروناً وهو رقم سحري آخر وهذا قد يُفسر سبب الاستقرار الكبير لهذه النواة [8]. نظرياً يُمكن أن تخضع نظائر الرصاص المستقرة الأربعة إلى تفكك ألفا (α) وتتحول إلى نظائر الزئبق مع إطلاق طاقة ولكن لم يتم ملاحظة ذلك على أي منها وأعمار أنصافها المتوقعة تتراوح بين 10^{35} إلى 10^{189} سنة [9].
 يتم وصف امتصاص شعاع احادي الطاقة من الفوتونات التي تعبر طبقة واحدة من المادة الماصة التي سمكها x بواسطة قانون لامبرت بير (Lambert-Beer) الذي يعطى بالعلاقة:

$$I = I_0 e^{-\mu_T \sigma x} = I_0 e^{-\alpha x} \quad (2)$$

حيث x هي سماكة المادة الماصة، و μ_T هو معامل الامتصاص الكلي الكتلي ويقاس بوحدة (cm^2/g) و α هو معامل الامتصاص الخطي (cm^{-1}) ، σ هي كثافة المادة الماصة وتقاس بوحدة g/cm^3 ، و I_0 هي شدة أشعة غاما التي نغرض أن جميعها لها طاقة واحدة (أحادية الطاقة) قبل عبورها المادة الماصة، و I هي شدتها بعد عبور الوسط الماص، أما بالنسبة لتأثير سماكة المادة الماصة x (الرصاص في حالتنا) فإنه بزيادتها فإن شدة الفوتونات أحادية الطاقة القادمة من خارج التدريع ستتناقص [6].

إن زيادة سماكة الدرع الرصاصي حسب المعادلة (2) ستؤدي الى منع عدد أكبر من أشعة غاما من الوصول الى الكاشف، ولكن بالمقابل سيؤدي ذلك الى زيادة نسبة الشوائب المشعة في الدرع وذلك لأن مادة الرصاص لها نشاط إشعاعي جوهري وتساهم في معدل العد، ويرجع ذلك الى وجود $^{210}_{82}\text{Pb}$ والنوى الناتجة عنها مثل $^{210}_{82}\text{Bi}$ و $^{210}_{82}\text{Po}$ في خام الرصاص الطبيعي [11,10,6].

في حين أن عمليات المعالجة الكيميائية (chemical-refining processes) ستزيل معظم عناصر الشوائب، إلا أنها لن تستطيع إزالة $^{210}_{82}\text{Pb}$ - النواة البنت لليورانيوم ^{238}U - والتي تكون موجودة في خام الرصاص بكميات ضئيلة (Trace abundance) حيث تتبعث منها أشعة غاما بطاقة 46.54 keV ؛ وهي ليست مشكلة كبيرة في حد ذاتها ولكن نواتها البنت $^{210}_{82}\text{Bi}$ ؛ التي نصف عمرها 5.013 دقيقة، ستكون في حالة توازن دائم معها. تبعث نواة $^{210}_{82}\text{Bi}$ جسيم بيتا β^- بطاقة قصوى تبلغ 1161 keV مما يؤدي الى انتاج أشعة كبح (bremsstrahlung) مستمرة وممتدة حتى هذه القيمة من الطاقة [11,10,6].

2- طريقة التدريع المتدرج:

من الناحية العملية لتقليل مساهمات جسيمات بيتا (β) من المادة المستخدمة في التدريع والأشعة السينية X المميزة للرصاص أو المنبع، والأحداث المتعلقة به مثل تشتت كمبتون لفوتونات أشعة غاما (γ) يتم استخدام طريقة التدريع المتدرج (The graded shield method) حيث يتم فيها استخدام مادة أو مواد ذات عدد ذري منخفض Z كبطانة داخلية لدرع له عدد ذري أعلى؛ الدرع الرصاصي في حالتنا، هذه المواد تتفاعل مع الأشعة السينية المميزة للرصاص، جسيمات بيتا (β) وإشعاع الخلفية من البيئة والأشعة الكونية [11]، وتعمل على توهين هذه المضاعفات غير المرغوب فيها مما يؤدي إلى تقليل معدلات العد في بعض القنوات.

هذه الطبقات الجديدة يجب أن لا تحتوي على أية مواد من شأنها أن تضيف مساهمات جديدة الى الخلفية الإشعاعية، وهذه الطبقات الجديدة تتفاعل مع الأشعة السينية المميزة أو أشعة الكبح الناتجة عن نواة ^{210}Bi وقانون لامبرت بير (Lambert-Beer) - الموضح في المعادلة (2) - يستخدم أيضاً لوصف هذا التفاعل الذي يؤدي في نهاية المطاف الى التخلص من المضاعفات الناتجة عن استخدام الدرغ الرصاصي [12,6].

تم اختيار المواد التي سيتم استخدامها كبطانة داخلية للدرغ الرصاصي اعتماداً على الدراسات السابقة المتوفرة في هذه المجال واعتماداً على توفر هذه المواد بتكلفة معقولة، والمادة المستخدمة في هذا العمل هي: النحاس Cu، وهو معدن له العدد الذري $Z = 29$ والنحاس الطبيعي يتكون من نظيرين مستقرين هما: ^{63}Cu بنسبة تقدر بـ 69.17% و ^{65}Cu بنسبة تقدر بـ 30.83% [10].

في البداية قمنا بتأمين هذه المادة وتمت إعادة تشكيلها؛ لكي تُستخدم كبطانات داخلية للدرغ الرصاصي، حاولنا أن تكون هذه السبائك نقية قدر الإمكان من أجل الحد من إضافة أية شوائب جديدة للتدرج الداخلي للكاشف. إن سبيكة النحاس ASTM B194 المستخدمة في هذا العمل تتكون من النحاس بنسبة 97.75%، والبيريليوم 2% [13].

أما بخصوص الأشعة السينية X التي قد تصدرها هذه المواد فطاقاتها أقل من مجال كشف الطاقة للكاشف المستخدم؛ أي أقل من 15 keV، حيث أن قيم $K_{\alpha 1}$ و $K_{\alpha 2}$ و $K_{\beta 1}$ للنحاس أقل من 9 keV، أما بخصوص البيريليوم فالقيم السابقة تكون أقل من 2 keV، وهذا يعني بأن الكاشف لن يقوم بتسجيل أية مضاعفات جديدة ناتجة عن الأشعة السينية المميزة لهذه المواد، وعلى العكس من ذلك تبلغ قيم $K_{\alpha 1}$ و $K_{\alpha 2}$ و $K_{\beta 1}$ للرصاص 74.9694 keV، 72.804 keV و 84.936 keV على التوالي [14].

على الرغم من أن النحاس يحتوي على نظائر مستقرة بنسبة 100%، إلا أن هذا الافتراض ليس صحيحاً وذلك لأن النيوترونات السريعة أو الحرارية قد تسبب إثارة أو تنشيط المواد عن طريق أحد هذه التفاعلات (n, α) ، (n, γ) ، (n, p)

و $(n, 2n)$ ، وهذا يؤدي الى تكوين نظائر غير مستقرة أو مستقرة بأعمار أنصاف مختلفة، ويوضح الجدول (1) التفاعلات المحتملة التي قد تحدث أو حدثت لسبيكة النحاس المستخدمة في الدراسة [16,15,3].

الجدول (1): يوضح تفاعلات التنشيط المحتملة التي حدثت أو قد تحدث لشرايح النحاس بسبب النيوترونات.

Nuclide النوكليد [10]	Reaction التفاعل [16]	Produced nuclide النظير الناتج [16]	$T_{1/2}$ Half life عمر النصف [17]	Emitted radiation الإشعاع المنبعث [17]	I_g % احتمالية الإصدار [17]
^{63}Cu	$(n, 2n)$	^{62}Cu	9.74 m	$1172.9 \text{ keV } \gamma$	0.34
^{63}Cu	(n, γ)	^{64}Cu	12.70 h	$1345.9 \text{ keV } \gamma$	0.47
				$653.1 \text{ keV } \beta^-$	17.40
^{65}Cu	$(n, 2n)$			$1675.1 \text{ keV } \beta^-$	43.10
^{63}Cu	(n, p)	^{63}Ni	100.1 y	$66.94 \text{ keV } \beta^-$	100
^{63}Cu	(n, α)	^{60}Co	5.27 y	$1173.23 \text{ keV } \gamma$	99.97
				$1332.50 \text{ keV } \gamma$	99.98

				318.13keV β^-	99.92
^{65}Cu	(n, γ)	^{66}Cu	5.120 m	1039.53 keV γ	9
				1602.76 keV β^-	9.01
				2642 keV β^-	90.77

بالنسبة للجدول السابق فقد تم الحصول عليه من البيانات النووية المتوفرة [17]، ويجب الإشارة إلى أنه بخصوص الإشعاع المنبعث (Emitted radiation) فقد أدرجنا فقط التفاعلات التي لها احتمال إصدار مرتفع I_g ، أيضا الخانات المظلمة باللون الفضي في الجدول السابقة تعبر عن المواد الناتجة التي لها أعمار نصف طويلة، وبالتالي فإن هذه المواد تميل إلى أن تكون متواجدة في المواد المستخدمة في هذا البحث نتيجة لعمر نصفها الكبير.

4- مواد وأجهزة البحث:

الأجهزة والأدوات المستخدمة في هذا البحث هي:

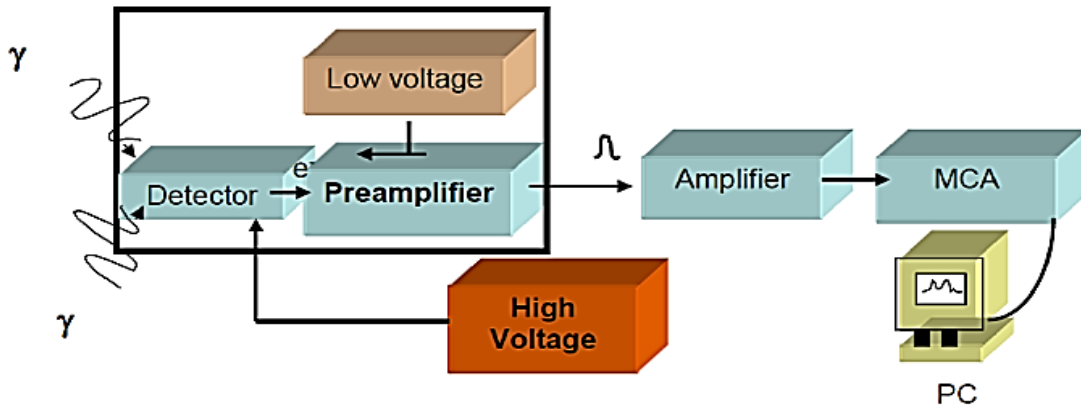
(1) الكاشف الوميضي NaI(Tl)، أبعاده $25\text{cm} \times 6\text{cm}$ ، مجال كشفه لطاقات أشعة غاما $2\text{ MeV} - 15\text{keV}$ ، وقدرة فصله أقل من 7.5% عند القمة الطاقية 0.662 MeV ، والشكل (1) يوضح مخططاً مبسطاً للدائرة المستخدمة في القياسات [5].

(2) المصادر المستخدمة في معايرة الكاشف، وهي الأمريسيوم ^{241}Am ، الكوبالت ^{60}Co ، الصوديوم ^{22}Na والسيزيوم ^{137}Cs .

(3) منبع جهد عالي 1.5 kV ، ومحلل متعدد الأقفية MCA.

(4) حاسوب مجهز ببرنامج يُدعى (CASSY Lab) يُستخدم لمعالجة القياسات.

(5) درع واقى مصنوع من مادة الرصاص له الأبعاد التالية الارتفاع يساوي 15.5 cm ، القطر الداخلي 17.5 cm ، والسماكة هي 1.5 cm . أسطوانتين مفتوحتين من الطرفين من النحاس Cu أبعاد الأسطوانة الأولى: أقطارها الداخلية 12 cm ، وارتفاعاتها 12 cm ، وسماكتها 3 mm ، مع غطاء قابل للإزالة من النحاس أبعاده 12 cm وسماكتها 3 mm ، أما الثانية فسماكتها مختلفة حيث أن سماكتها وسماكة غطائها 1.5 mm .



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

كاشف - Detector، جهد عالي - High Voltage، مضخم أولي - Preamplifier،

جهد منخفض - Low Voltage، مضخم رئيسي - Amplifier، محلل متعدد الأقفية -

Multi-Channel Analyzer (MCA)، حاسوب شخصي - Personal Computer [5].

ملاحظة: جميع هذه الأجهزة والأدوات موجوده في مخبر الفيزياء النووية (قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة تشرين)، مكان إنجاز هذا البحث، باستثناء الثلاث الأسطوانات حيث تم تصميمها من مواد مختلفة كبطانة داخلية للدرع الرصاصي.

5- معايرة الكاشف NaI(Tl):

قبل الشروع في عملية تسجيل طيف ضجيج الخلفية لا بد من تحديد المجال الطيفي الذي سيسجله الكاشف، وأيضاً لا بد من معايرة الكاشف ويُقصد بمعايرة الكاشف ما يلي:

(1) معرفة الجهد الذي يُطبق على الكاشف، والريح، ومدى تأثيرهما في تموضع الخط الطيفي لمنبع مُشع لا على التعيين؛ أي انزياحه يمناً ويساراً [5].

(2) رسم مستقيم المعايرة، واستنتاج العلاقة الرياضية التي تربط بين طاقة الخط الطيفي ورقم القناة [5].

(3) معرفة قدرة فصل الكاشف [5].

(أ) تحديد المجال الطيفي للكاشف:

وهنا نقصد ما هو المجال الطيفي الذي سيسجله لنا الكاشف، هناك عاملين يحددان المجال المدروس العامل الأول وهو المجال المُحدد من الشركة المُصنعة للكاشف، على سبيل المثال الكاشف المُستخدم مجال كشفه المُحدد من الشركة المُصنعة هو (3 MeV – 15keV)، والعامل الثاني هو عدد القنوات التي سيتم تسجيل الطيف فيها أي المحلل متعدد الأفتنية (Multi-Channel Analyzer) [6].

نظراً لأن قدرة الفصل للكاشف الوميضي NaI(Tl) ضعيفة مقارنة بكواشف أشباه الموصلات فإنه لا يضع متطلبات خاصة على MCA، فأحجام الطيف ستكون أصغر بكثير في الكاشف الوميضي، وعلى الرغم من ذلك فإن تحديد المجال الطيفي بواسطة MCA ليس إجراءً سلبياً، إن المعادلة التالية توضح أن عدد القنوات مع قدرة فصل الكاشف تتحسبان بالحد الأمثل للطيف (Optimum spectrum size) أو (Energy rate of interest) [6, 18]:

$$\text{Energy rate of interest (keV)} = \Gamma \times \frac{\text{Numbers of channels}}{h} \quad (3)$$

حيث أن عدد القنوات يتم تحديده من البرنامج المُستخدم في القياسات، و h عدد القنوات عند أو فوق (FWHM-Full Width at Half Maximum) وقيمته تتراوح غالباً بين 3 و5، أما بالنسبة لـ Γ هو FWHM للكاشف المُستخدم ويمكن حساب هذا المقدار عن طريق حاصل ضرب قدرة الفصل بالقيمة الطاقية فمثلاً نفرض أن قدرة الفصل هي 7% عند القيمة الطاقية 661.6 keV، و $h = 4$ وبرنامج القياسات على الحاسب يسمح لنا باختيار عدد القنوات التي سيُسجل عليها الطيف مثلاً إذا اخترنا 128 قناة وبتطبيق المعادلة السابقة سنحصل على [6]:

$$\text{Energy rate of interest (keV)} = 661.6 \text{ keV} \times 0.07 \times \frac{128}{4} = 1481.984 \text{ keV}$$

أي أن الكاشف سيقوم بتسجيل الطاقات الأكبر من 15 keV وحتى 1481.984 keV.

ويجب الإشارة الى أن مجال واسع وكبير من الطيف يعني معدل عد أقل في كل قناة، وبالتالي يُصبح التوزيع المنفصل للطيف توزيع مستمر عند بعض الطاقات، أيضاً مجال الكاشف المُستخدم في هذا العمل هو (3 MeV – 15 keV) [6, 12, 18]. يوفر برنامج القياسات (CASSY Lab) لنا أربعة خيارات أما التسجيل على

256 قناة أو 512 قناة أو 1024 قناة، أو 2048 قناة، في هذا العمل سنقوم بتسجيل الطيف على أولاً باستخدام 256 قناة، وبأخذ بعض الحسابات؛ أي قيمة h و FWHM عند القمة 1332 keV لطيف الكوبالت - أحد المنابع المستخدمة في المعايرة- ومن المعادلة (3) نجد أن:

$$\text{Energy rate of interest (keV)} = 1332 \text{ keV} \times 0.049 \times \frac{256}{4} = 4177 \text{ keV}$$

هذا يعني أن مجال الكشف سيكون تقريباً (4177keV – 15keV) في حالة استخدام 256 قناة لتسجيل الأطياف. أما بخصوص الجهد والريح تمت دراستها في أعمال سابقة [19] في مختبر جامعة وتمت التوصية باختيار جهد قدره 600 V، وريح قدره (1) في جميع القياسات؛ وذلك لأنها تتسم بالوضوح المطلوب لإجراء القياسات التجريبية، كما تم مراعاة استخدام جهد يسمح بالحفاظ على جودة وعمر الكاشف المستخدم [5]. أما قدرة فصل الكاشف تمت دراستها بتابعية البعد (d) بين المنبع المشع والكاشف، وكانت مقدرة الفصل 6.47 % عند القمة الطاقية 662 keV للـ Cs-137، وتم استنتاج أنها تتناقص مع ازدياد طاقة الخطوط الطيفية.

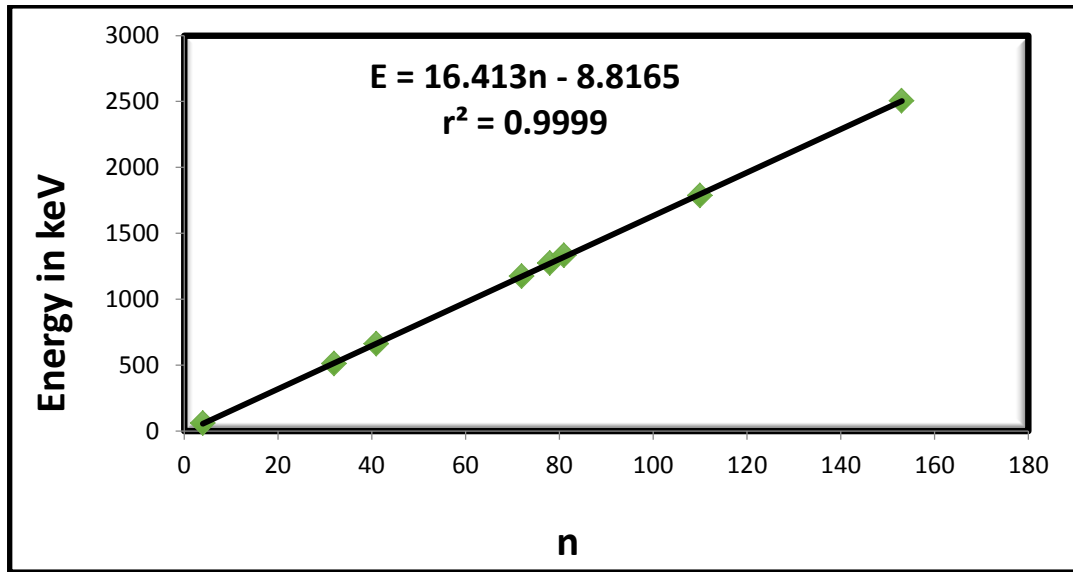
(ب) رسم مستقيم المعايرة:

إن معايرة الطاقة الكاشف تسمح لطيف أشعة غاما (γ) أن يُعبر عنه بالطاقة بدلا من رقم القناة، وعن كمية النشاط الإشعاعي، بدلاً من عدد النبضات (الحوادث). إن البرنامج المستخدم في معالجة المعطيات يسمح بالتمثيل البياني لعدد الحوادث (النبضات) بتابعية رقم القناة. وهذا بدوره يسمح باستنتاج رقم القناة المرافقة لطاقة المنبع المعلوم المستخدم في المعايرة. وبهذه الطريقة يمكننا رسم مستقيم المعايرة، ثم استنتاج طاقات المنابع المجهولة في الخلفية الإشعاعية [5,6,19]، ويبين الجدول (2) طاقة الخطوط الطيفية للمنابع المشعة المستخدمة في معايرة الكاشف، ويوضح الشكل (2) مستقيم المعايرة.

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

جهد التغذية المستخدم (600 V)، الريح = 1، وعدد الأقفية 256.

المنبع المشع	الطاقة $E(keV)$	رقم القناة n
Am-241	59.54	4
Na-22	511	32
	1274	78
	1785=1274+511	110
Mixed Nuclide Cs-137	661.66	41
Co-60	1173	72
	1332	81
	2505=1332+1173	153



الشكل (2): يمثل مستقيم معايرة الطاقة للكاشف (تغير الطاقة E بتابعة رقم القناة n)، عامل الترابط $r^2 = 0.9999$.

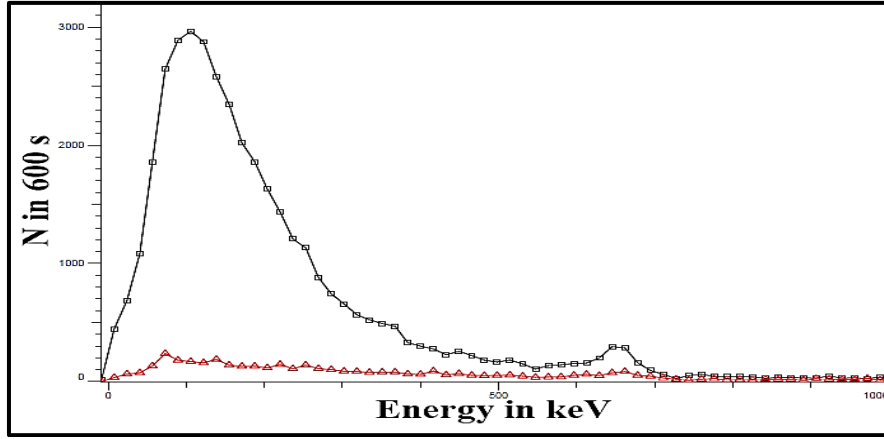
وتعطى معادلة مستقيم المعايرة بالعلاقة الآتية:

$$E = 16.413 n - 8.8165 \quad (4)$$

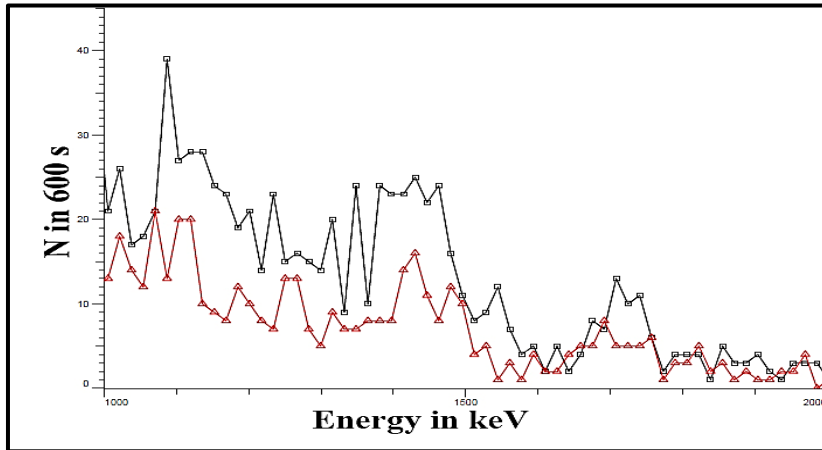
النتائج والمناقشة:

أ- طيف ضجيج الخلفية تجريبياً باستخدام الطريقة التقليدية:

في البداية تم تسجيل طيف ضجيج الخلفية بدون استخدام أي تدريع حول الكاشف، في الشروط التالية: الجهد $V (600)$ ، والريح (1)، الكاشف موضوع في منتصف المخبر وزمن تسجيل الأطياف هو 600 ثانية، وعدد الأقفية المستخدمة لتسجيل الأطياف هو 256 قناة، وبعد الحصول على طيف الضجيج بدون استخدام أي تدريع، تم وضع الدرع الرصاصي حول الكاشف، وتمت تغطية الكاشف بالكامل بالدرع الرصاصي الذي كانت سماكته هي 1.5 cm، وسماكة الغطاء أيضاً كانت 1.5 cm، كنا قد ذكرنا سابقاً أن مجال كشف الطاقة للكاشف هو $3\text{MeV} - 15\text{keV}$ ، ولكن نظراً لأن الكاشف المستخدم NaI(Tl) له قدرة فصل منخفضة تبلغ 6.47% عند القمة الطاقية 662 keV للـ ^{137}Cs ، وتتناقص قدرة الفصل بزيادة الطاقة لذلك فقد فضلنا أن تكون دراستنا محصورة في المجال الطاقى $2\text{MeV} - 15\text{keV}$ ، علماً أن جميع أطياف الضجيج التي سنحصل عليها في هذا العمل لها نفس الشروط السابقة، وفي خلاف ذلك سيتم الإشارة إلى القيم المستخدمة.



الشكل (3): الطيف باللون الأسود (المربعات) يوضح طيف ضجيج الخلفية التجريبي في حالة عدم وجود أي تدريع حول الكاشف، بينما الطيف باللون الأحمر (المثلثات) يوضح طيف ضجيج الخلفية التجريبي عند إحاطة الكاشف بالدرع الرصاصي، وذلك في المجال (0 – 1000)keV.



الشكل (4): الطيف باللون الأسود (المربعات) يوضح طيف ضجيج الخلفية التجريبي في حالة عدم وجود أي تدريع حول الكاشف، بينما الطيف باللون الأحمر (المثلثات) يوضح طيف ضجيج الخلفية التجريبي عند إحاطة الكاشف بالدرع الرصاصي، وذلك في المجال (1000 – 2000)keV.

تجريبياً كما هو واضح من الشكلين (3)،(4) نلاحظ أن الدرع الرصاصي خفض معدل العد في جميع القنوات تقريباً في المجال (0 – 2000)keV وبالتالي فإن إحاطة الكاشف بمادة ماصة ذات عدد ذري كبير Z تقلل/تمنع أشعة غاما الناشئة خارج الدرع من الوصول الى الكاشف.

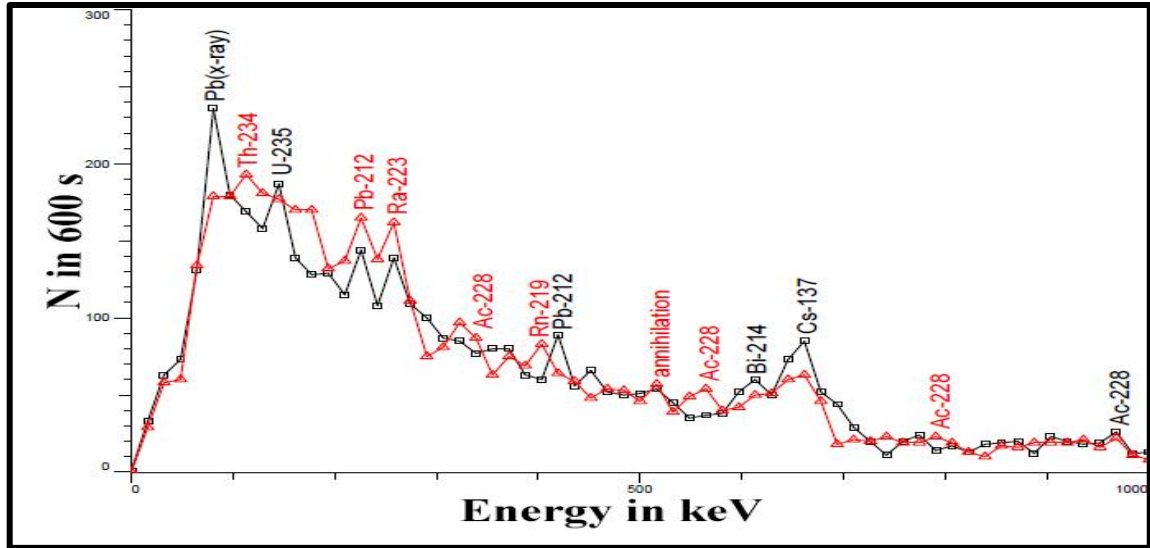
بالنسبة لجسيمات الفا (α) خارج التدريع فمن السهل إيقافها نظراً لأن كتلتها كبيرة نسبياً وشحنتها تحد من مجال اختراقها في معظم الأوساط، وبالتالي فمن غير المرجح أن تخترق هذه الجسيمات الدرع الرصاصي وتصل الى الكاشف. أما بالنسبة لجسيمات بيتا (β) فهي أيضاً تملك مجالاً محدوداً في معظم الأوساط، لأنها جسيمات مشحونة وطاقتها تتبدد أثناء عبورها اي وسط عن طريق التأين ونتاج أشعة الكبح، يُمكن ان يكون مسار التأين طويلاً ومتعرجاً بسبب صغر الإلكترونات ولكنه محدود بالرغم من ذلك حيث لا يزيد متوسط المجال لجسيمات بيتا (β) عن بضعة

أمتار في الهواء، وبالتالي فإن الهواء يخفف بشكل كبير من جسيمات بيتا (β) الموجودة خارج التدريع، وتعتبر خصائص التدريع للأوساط الأخرى أفضل من الهواء لأن مجال جسيمات بيتا (β) لا يتجاوز بضعة ملليمترات من الأوساط الكثيفة [20]، وبالتالي فمن المرجح أن الدرع الرصاصي المستخدم يحجب معظم جسيمات بيتا (β) الموجودة خارج التدريع ويمنعها من الوصول إلى الكاشف هذا من جهة، من جهة أخرى تصدر نواة ^{210}Bi ؛ النواة البنت للرصاص ^{210}Pb جسيم بيتا β^- بطاقة قصوى تبلغ 1161 keV مما يؤدي إلى إنتاج أشعة كبح (bremsstrahlung) داخل التدريع مستمرة وممتدة حتى هذه القيمة من الطاقة [11,10,6]،

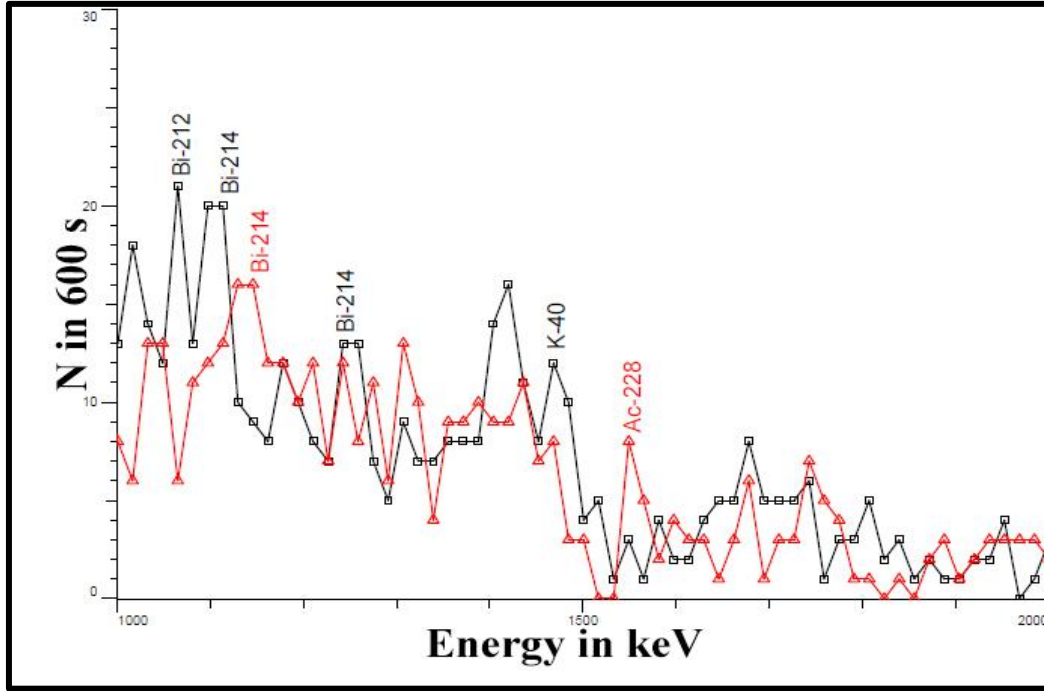
أما بالنسبة لفوتونات أشعة غاما الموجودة خارج التدريع فيتم توهينها ويستخدم قانون لامبرت لوصف هذا التفاعل، حيث أن تفاعل أشعة غاما مع الأوساط الكثيفة هي عملية تتضمن بشكل أساسي ثلاث آليات لتوهين أشعة غاما: المفعول الكهروضوئي، مفعول كمبتون، وإنتاج الأزواج، إذن الطريقة التقليدية في التدريع تعتمد على سماكة الوسط الماص، لأنه بزيادتها تزداد احتمالات حدوث المفاعيل التي أشرنا إليها وبالنتيجة يتم توهين أشعة غاما [7,6].

ب- طيف ضجيج الخلفية تجريبياً عند استخدام طريقة التدريع المتدرج:

انظر الشكلين (5) و (6):



الشكل (5): الطيف باللون الأسود (المربعات) يمثل ضجيج الخلفية عند استخدام الدرع الرصاصي فقط، والطيف باللون الأحمر (المثلثات) يوضح الضجيج عند احاطة الكاشف بالدرع الرصاصي + بطانة داخلية من النحاس في المجال الطائي $(1000 - 0)\text{keV}$.



الشكل (6): الطيف باللون الأسود (المربعات) يمثل ضجيج الخلفية عند استخدام الدرع الرصاصي فقط، والطيف باللون الأحمر (المثلثات) يوضح الضجيج عند احاطة الكاشف بالدرع الرصاصي + بطانة داخلية من النحاس في المجال الطافي (1000 – 2000)keV.

في المجال المدروس (0 – 2000)keV نلاحظ من أشكال الأطياف التجريبية السابقة أن طيف ضجيج الخلفية وعلى عكس ما هو متوقع زاد في بعض القنوات وانخفض عند البعض الآخر عن استخدام النحاس بسماكة قدرها 3mm كبطانة داخلية للدرع الرصاصي (طريقة التدرج المُتدرج) ويوضح الجدول (3) النظائر المُحتمل تواجدها في الخلفية الإشعاعية والموضحة على الأشكال السابقة، طريقة المعايرة تمت باستخدام برنامج القياسات وبدأت بالنقطة 16.1keV، وهي تتوافق مع معادلة مستقيم المعايرة التي حصلنا عليها (المعادلة 4) إذا جعلنا مستقيم المعايرة يمر من المبدأ.

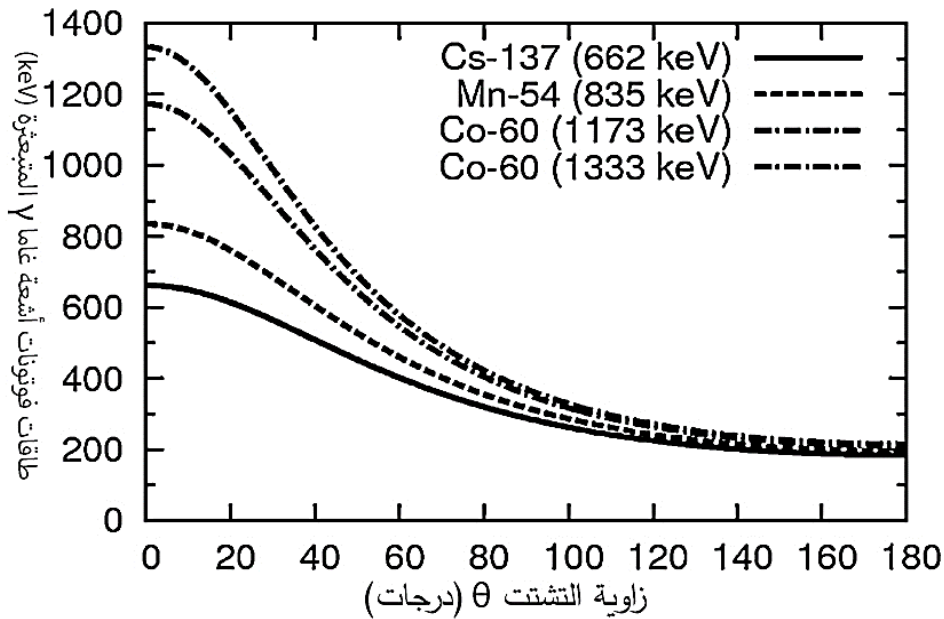
جدول (3): يوضح القيم العملية للطاقة $E(p)$ التي حصلنا عليها و $E(t)$ هي القيم النظرية لطاقات أشعة غاما التي تتواجد غالباً في طيف الضجيج الخلفي.

$(\Delta E/E)\%$	احتمال الإصدار $P_\gamma(\%)$	السلسلة	النوكليد	E (t) [3]	E(p)
5	-	-	X-ray Pb(K_β)	84.94	80.70
4.56	13.7	U	^{234}Th	92.38	96.80
4.31	5.58		^{234}Th	92.80	
0.99	10.96	Ac	^{235}U	143.76	145.20
3.86	3.59	U	^{226}Ra	186.21	193.70
4.12	57.20	Ac	^{235}U	185.72	
5.63	43.30	Th	^{212}Pb	238.63	225.90
4.36	13.70	Ac	^{223}Ra	269.46	258.20
0.17	2.79	Th	^{228}Ac	338.32	338.90
0.86	37.60	U	^{214}Pb	351.93	355
1.10	12.91	Ac	^{211}Bi	351.06	
0.41	6.75	Ac	^{219}Rn	401.81	403.50
1.03	0.14	Th	^{212}Pb	415.27	419.60
1.04	annihilation peak			511	516.40
0.40	0.87	Th	^{228}Ac	562.50	564.80
0.37	84.50	Th	^{208}Tl	583.19	581
0.63	46.10	U	^{214}Bi	609.31	613.20
نقطة معايرة	85.10	-	^{137}Cs	661.70	661.70
0.07	4.94	U	^{214}Bi	774.06	774.60
0.52	4.25	Th	^{228}Ac	794.95	790.80
0.61	12.42	Th	^{208}Tl	860.56	855.30
0.07	15.80	Th	^{228}Ac	968.97	968.30
1.27	0.56	Th	^{212}Bi	1078.62	1065.10
0.60	15.10	U	^{214}Bi	1120.29	1113.50
0.82	1.63	U	^{214}Bi	1155.19	1145.80
0.36	5.79	U	^{214}Bi	1238.11	1242.60
0.53	11.00	-	^{40}K	1460.83	1468.60
0.50	0.18	Th	^{228}Ac	1557.10	1549.30
0.42	3.22	Th	^{228}Ac	1588.19	1581.50
0.05	1.15	U	^{214}Bi	1661.28	1662.20

بمقارنة الدراسات السابقة [21,3] في هذا المجال مع نتائج هذه الدراسة نستنتج أن طريقة التدرج المتدرج (The graded shield method) تكون فعالة وتساهم في تقليل إشعاع ضجيج الخلفية فقط عندما تكون سماكة الدرع الرصاصي كبيرة، أما في حالة الدروع الصغيرة كما في حالتنا (حيث كانت سماكة الدرع الرصاصي هي 1.5 cm) فإن هذه الطريقة في التدرج تؤدي إلى زيادة إشعاع ضجيج وذلك لأن المضاعفات الإشعاعية الناتجة عن طبقات التدرج الداخلية تؤدي إلى زيادة معدلات العد في القنوات، وهذه الطريقة في التدرج تكون ناجحة فقط عندما تكون الفوائد منها أكبر من الخسائر.

بمعنى أنه عندما تكون سماكة الدرع الرصاصي كبيرة مثل 6 cm أو 10 cm فهذا يعني زيادة الشوائب المشعة في الدرع الرصاصي؛ أي زيادة نسبة الرصاص ^{210}Pb والنوى الناتجة عنها مثل ^{210}Bi و ^{210}Po في الخام الطبيعي، مما يؤدي إلى زيادة نسبة جسيمات بيتا (β) التي تنتج عن نوى البزموت ^{210}Bi ، والتي بدورها تؤدي إلى زيادة نسبة إشعة الكبح (bremsstrahlung) المتكونة داخل الدرع الرصاصي والتي تصل إلى الكاشف المستخدم، وبالتالي عند استخدام طريقة التدرج باستخدام معدن مثل النحاس فإنه يقوم بتوهين هذه الأشعة الناتجة عن الدرع الرصاصي، وحتى مع المضاعفات الإشعاعية الناتجة عن استخدام النحاس فإن التخفيض سيكون واضحاً لأنه على مبدأ أن الفوائد من استخدام طبقة النحاس الداخلية تكون أكبر من الخسائر. أما في حالة استخدام طريقة التدرج المتدرج مع الدروع ذات السماكات المنخفضة فإن المضاعفات الإشعاعية الناتجة عن الدرع الرصاصي تكون أقل وسيتم التقليل منها لكن سيتم إضافة مضاعفات إشعاعية جديدة ناتجة عن البطانة الداخلية للدرع الرصاصي، هذه المضاعفات تؤدي إلى زيادة معدلات العد في بعض القنوات، وبالتالي تحصل زيادة لإشعاع ضجيج الخلفية عند استخدام هذه الطريقة مع الدروع ذات السماكات المنخفضة وفيما يلي سنذكر باختصار أهم المضاعفات الإشعاعية الناتجة عن استخدام طريقة التدرج المتدرج:

(1) إن وضع مواد ذات عدد ذري منخفض Z بالقرب من الكاشف يؤدي إلى ارتفاع ملحوظ في قمم التشتت الخلفي، حيث أن المواد المستعملة في تبطين التدرج الداخلي تصدر أشعة غاما والتي تصل إلى الكاشف وتتفاعل مع ذراته عن طريق المفعول الكهروضوئي، تشتت كمبتون أو توليد الأزواج، ويوضح الشكل (7) مثال على بعض طاقات أشعة غاما (γ) التي تتفاعل مع الكاشف بدلالة زاوية التشتت θ [22,6]. نلاحظ من الشكل (7) أنه مهما كانت طاقة أشعة غاما الأولية فإنه عندما تكون زاوية التشتت أكبر من 120° فإن الإشعاع المتشتت يكون ضمن المجال الواسع من (300 – 200) keV، والنتيجة هي أن الإشعاع المتشتت يظهر كقمم خلفية في الطيف وبالتأكيد هذه القمم غير مرغوب بها، كل ما يمكن فعله تجاه هذه القمم هو اختيار سمك بطانة التدرج بحيث يكون تخفيض الخلفية الناتجة عن الأشعة السينية ونظير الرصاص ^{210}Pb أكبر من تلك الخلفية الناتجة بسبب التشتت الخلفي الناتج عن استخدام هذه المواد في التدرج [22,6]، عند حساب معدلات العد الاجمالية - لاحقاً في هذا العمل - سوف نلاحظ زيادة معدلات العد في المجال (0 – 500) keV عند استخدام طريقة التدرج المتدرج.



الشكل (7): دراسة تغير طاقات بعض منابع أشعة غاما (γ) التي تتفاعل مع الكاشف بدلالة زاوية التشتت θ [22].

(2) المضاعفات الإشعاعية الناتجة عن النوى المشعة الطبيعية (NORM): وهي تتواجد في كل مكان في البيئة ويمكن العثور عليها في التربة والرمل والمعادن، وتواجدها في الخامات الطبيعية هو نتيجة لنفس الظروف الجيوكيميائية التي أدت إلى تركيز المعادن الأساسية في هذه الخامات؛ مثل اليورانيوم في البوكسيت وخام الفوسفات. يمكن أن تؤدي عملية استخراج المعدن من الخام إلى تركيز المواد المشعة الطبيعية فيه خاصة إذا كان الخام غنياً، أي أنه يحتوي على جزء كبير من معدن معين، وتسمى هذه العملية بالإثراء (Beneficiation). على سبيل المثال إن البوكسيت غني بالألمونيوم، وعملية استخراج الألمونيوم ينتج عنها بقايا من اليورانيوم والراديو التي تتركز فيه ولها نشاط إشعاعي يقدر بـ $10 - 20$ pCi/gram [23]، ومما سبق يُمكن أن نعرف الشوائب الإشعاعية بأنها هي تلك المواد المشعة الطبيعية التي تتواجد في مادة أو معدن معين نتيجة لنفس الظروف الجيوكيميائية التي أدت إلى تكون هذا المعدن في قشرة الأرض وغطائها، وتختلف نسبتها بحسب نوع العينة ونوع المعدن. إن تأثير وجود هذه المواد المشعة الطبيعية سيؤدي إلى زيادة معدلات العد في بعض القمم الطاقية في منطقة العناصر المشعة الطبيعية والتي تنتهي عند القمة الطاقية 2614.35 keV لنظير ^{208}Tl (أحد عناصر سلسلة ^{232}Th)، ويؤدي أيضاً إلى ارتفاع ملحوظ في قمم التشتت الخلفي وكمبتون وغيرها لأن البطانات الداخلية للتدريع ستصرف كأنها منابع مشعة، وتؤدي إلى زيادة معدلات العد في القنوات، لكن عند استخدام هذه البطانات مع الدروع الرصاصية الكبيرة ستؤدي إلى انخفاض معدلات العد، كما هو الحال في الدراسات [21,3]، لأن التخفيض الناتج عن استخدامها سيكون أكبر من المضاعفات الناتجة عنها.

(3) المضاعفات الإشعاعية الناتجة عن التنشيط النيوتروني مع البطانات الداخلية للتدريع حيث يُمكن أن يتم تنشيط النحاس كما يوضح الجدول (1) مع العلم أن شدة أشعة الكبح I الناتجة بسبب التنشيط النيوتروني في هذه المواد ستكون مهمة تقريباً وذلك لأنها مواد عدد ذري منخفض Z استناداً إلى المعادلة التالية:

$$I \propto \Lambda^2 \sim \left(\frac{ZZe^2}{M} \right)^2 \sim \frac{Z^2 Z^2}{M^2} \quad (5)$$

حيث ze شحنة الجسيم الذي يتحرك في مادة معينة كتلتها M وعددها الذري Z ، و Λ هو تسارع الجسيم المشحون [18]. أما بخصوص قمع التنشيط الطاقية لأشعة غاما (γ) في النحاس حسب الجدول (1) فلم نتمكن من الكشف عنها نظراً لأن قدرة فصل الكاشف المستخدم في هذا العمل ضعيفة حيث تبلغ 4.91 % عند القمة الطاقية 1332 keV، ويُمكن أيضاً لهذه القمم أن تخضع لتشتت خلفي عندما تتفاعل مع ذرات الكاشف مؤدية بذلك الى زيادة الخلفية في المجال (200 – 300) keV كما ذكرنا سابقاً.

بعد الحصول على هذا النتيجة فُمنّا بمحاولة أخرى لتخفيض ضجيج الخلفية باستخدام طريقة التدرج المتدرج حيث قمنا بتقليل سماكة النحاس من 3mm الى 1.5 mm، باستخدام شرائح من المواد المذكورة وتم لفها ميكانيكياً لتشكيل بطانات جديدة وتم تسجيل الأطياف على 512 قناة، وعلى 1024 قناة، وبقيت النتيجة على ما هي عليه حيث انخفضت معدلات العد في بعض القمم الطاقية وزادت في بعض القمم الطاقية الأخرى، ولم نحصل على مجال منتظم من التخفيض باستخدامها حتى نقول إن معدلات العد انخفضت في المجال المذكور. الآن سنقوم بدراسة معدلات العد الإجمالية في نظام الكشف وذلك في جميع الحالات السابقة.

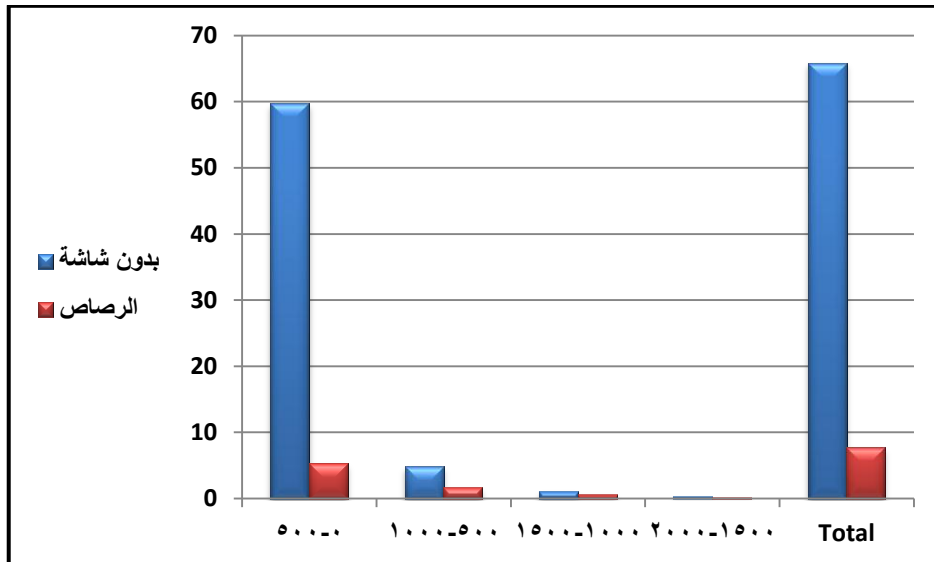
ج- معدلات العد في نظام الكشف المُستخدم:

يوضح الجدول التالي معدلات العد الإجمالي في الثانية الواحدة (count per second) اي cps كل 500 keV في جميع التكوينات من الدروع المستخدمة في هذا العمل، ويوضح الشكلان (8) و (9) مقارنة بين معدلات العد الاجمالية في الثانية الواحدة (cps) في طريقة التدرج التقليدية وطريقة التدرج المتدرج. نلاحظ من الجدول (4) ومن الشكلين (8) و (9) أن معدل العد الإجمالي يكون أكبر ما يُمكن عندما لا تكون هناك أية مواد تدرج حول الكاشف، ويتناقص معدل العد الإجمالي عندما تتم إحاطة الكاشف بمادة ذات عدد ذري كبير (الرصاص في حالتنا)، إن اضافة طبقات تدرج داخلية من النحاس أدى إلى خفض معدل العد الإجمالي في نظام الكشف والى معدلات عد إجمالية منخفضة باستثناء المنطقة (0 – 500) keV؛ وهي المنطقة التي يسود فيها التشتت الخلفي لأشعة غاما (γ) كما ذكرنا سابقاً.

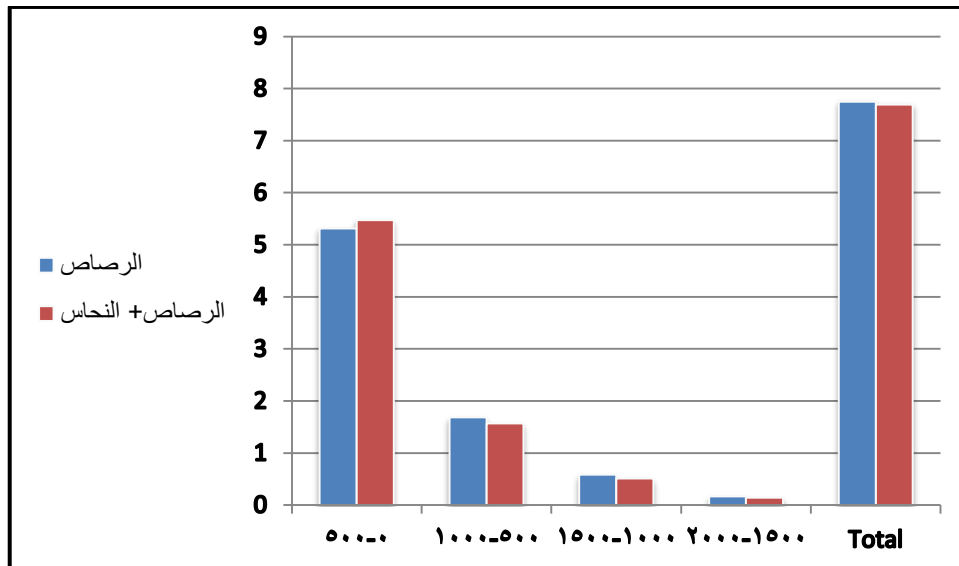
الجدول (4): يمثل معدلات العد الاجمالية في المجالات الطاقية الموضحة أدناه في الثانية الواحدة (cps) مع الانحراف المعياري لمعدلات العد في المجالات الطاقية الموضحة أدناه، I هو معدل العد الإجمالي، I_{out}/I_{in} هو معامل التخفيض الاجمالي، سماكة الدرع الرصاصي ثابتة في جميع الحالات 1.5 cm.

سماكات كل بطانة من البطانات الداخلية هي 3mm، عدد قنوات التسجيل 256 قناة.			
Lead + copper	Lead	no screen	Energy (keV)
5.472 ± 0.090	5.312 ± 0.085	59.661 ± 1.577	(0-500)
1.570 ± 0.028	1.685 ± 0.032	4.833 ± 0.128	(500-1000)
0.510 ± 0.005	0.585 ± 0.007	1.067 ± 0.010	(1000-1500)
0.143 ± 0.003	0.165 ± 0.003	0.262 ± 0.005	(1500-2000)
7.695 ± 0.083	7.747 ± 0.079	65.823 ± 1.122	I
8.554	8.497	----	I_{out}/I_{in}
سماكات كل بطانة من البطانات الداخلية هي 1.5 mm، عدد قنوات التسجيل 512 قناة.			
6.104 ± 0.045	6.077 ± 0.045	58.653 ± 0.774	(0-500)
1.103 ± 0.007	1.147 ± 0.007	2.515 ± 0.028	(500-1000)
0.333 ± 0.003	0.329 ± 0.003	0.651 ± 0.006	(1000-1500)
0.093 ± 0.003	0.090 ± 0.001	0.126 ± 0.001	(1500-2000)

7.634±0.038	7.645±0.038	61.945±0.497	I
8.114	8.103	----	I _{out} / I _{in}
سماكات كل بطانة من البطانات الداخلية هي 1.5 mm، عدد قنوات التسجيل 1024 قناة.			
5.456±0.023	5.376 ±0.023	59.769± 0.424	(0-500)
1.614±0.007	1.656±0.007	4.574± 0.029	(500-1000)
0.522±0.002	0.582±0.002	1.101± 0.003	(1000-1500)
0.146±0.001	0.167±0.001	0.288±0.001	(1500-2000)
7.725±0.021	7.760±0.020	65.705±0.296	I
8.505	8.467	----	I _{out} / I _{in}



الشكل (8): يوضح مقارنة بين معدلات العد الاجمالية في الثانية الواحدة (cps) في حالة عدم وجود أي درع يُحيط بالكاشف، وفي حالة احاطة الكاشف بالدرع الرصاصي (الطريقة التقليدية)، 256 قناة.



الشكل (9): يوضح مقارنة بين معدلات العد الاجمالية في الثانية الواحدة (cps) في حالة احاطة الكاشف بالرصاص، وفي حالة احاطة الكاشف بالدرع الرصاصي + بطانة داخلية من النحاس (طريقة التدرج المتدرج)، 256 قناة.

نلاحظ من الجدول (4) ومن الشكلين (8) و (9) أن معدل العد الإجمالي يكون أكبر ما يُمكن عندما لا تكون هناك أية مواد تدريع حول الكاشف، ويتناقص معدل العد الإجمالي عندما تتم إحاطة الكاشف بمادة ذات عدد ذري كبير (الخصائص في حالتنا)، إن إضافة طبقات تدريع داخلية من النحاس أدى إلى خفض معدل العد الإجمالي في النظام وإلى معدلات عد إجمالية منخفضة باستثناء المنطقة $(500 - 0) keV$ ؛ وهي المنطقة التي يسود فيها تشتت الخلفي لأشعة غاما (γ) كما ذكرنا سابقاً.

ولتوضيح أهمية التقليل من معدل في الخلفية فإن العلاقة التي تُعطي الحد الأدنى للنشاط الإشعاعي الذي يُمكن كشفه (MDA) (الكمية الدنيا للمادة المُشعة اللازمة لإنتاج، أو لتوليد المقدار L_D) يُمكن التعبير عنها بتابعية عدة حدود اعتماداً على انحراف كوري (deviations Curie's) على النحو الآتي:

$$MDA = \frac{4.64 \sqrt{N_B} + 2.71}{B_R \varepsilon T} \quad (6)$$

حيث: B_R نسبة التفرع، ε الكفاءة الكلية للكاشف المُستخدم في القياس، T زمن القياس. N_B يتعلق هذا المقدار بالطيف الطاقى للإشعاع الخلفي [5].

من المعادلة السابقة نجد أن الحد الأدنى للنشاط الإشعاعي (MDA) يتعلق بالجذر التربيعي للضجيج الخلفي، وكما هو الحال مع أي طيف عادي فإن الخلفية تتكون من قمم طاقية (Peaked background) وخلفية مستمرة (Continuous background) بفعل تشتت كميون أو من تفاعلات كبح الجسيمات المشحونة في الكاشف. إن العد في الخلفية المستمرة لا يؤثر على القياسات بشكل مباشر ولكن جنباً إلى جنب مع الخلفية المستمرة القادمة من العينة نفسها ومع معدل العد في القمم فإنها تحدد أداء النظام من خلال ما يسمى بحدود الكشف (detection limits) أما العد في قمم الضجيج الطاقية مهم جداً لأننا بحاجة إلى طرحه من العد في القمم الناتجة من العينة المراد حساب نشاطها الإشعاعي [1]، وبالتالي فإنه لا يكفي تخفيض معدل العد الإجمالي في نظام التدريع، بل يجب تخفيض معدلات في القمم الطاقية ولا سيما تلك القمم الطاقية المُستخدمة عند دراسة النشاط الإشعاعي للمواد المُشعة الطبيعية، وعلى لرغم أن معدل العد الإجمالي أنخفض عند استخدام بطانة النحاس عنها في حالة استخدام الرصاص فقط ولكن معدل العد زاد عند بعض القمم الطاقية ذات الأهمية في مجال مطيافية غاما ذات النشاط المنخفض، وبالتالي فإن طريقة التدريع المتدرج لا تصلح مع الدروع الرصاصية ذات السماكات المنخفضة كما هو الحال في حالتنا. أما بخصوص زمن القياس T يلعب دور كبير في القياسات منخفضة النشاط وأنه بالإمكان الحصول على نتائج مقبولة عند دراسة المواد ذات النشاط المنخفض عن طريق زيادة زمن القياس لأنه ذلك سيؤدي إلى تقليل الحد الأدنى للكشف عن النشاط الإشعاعي (MDA) وفقاً للمعادلة (6)، وعلى الرغم من ذلك فإن هذا الإجراء غير مفضل وذلك لأن العديد من مؤسسات المراقبة الروتينية للإشعاع لديها عدد كبير من العينات يومياً لمسحها وبالتالي هنا يصبح الزمن عاملاً مهماً [1].

الاستنتاجات والتوصيات:

استناداً إلى هذا العمل التجريبي، تم معايرة الأجهزة المستخدمة (كاشف، ومنابع للمعايرة)، ثم استنتاج شكل منحنى معايرة الطاقة لهذا الكاشف، فوجد أن هذا المنحنى يأخذ شكل خط مستقيم معادلته:

$$E = 16.413 n - 8.8165$$

تمت دراسة تقنيات تخفيض إشعاع ضجيج الخلفية في مختبر الفيزياء النووية في جامعة تشرين - حيث تم اجراء هذا العمل- باستخدام طريقتي التدرج السلمي، الطريقة التقليدية وطريقة التدرج المتدرج و النتائج التي تم الحصول عليها تشير أن طريقة التدرج المتدرج لا تصلح مع الدروع الرصاصية ذات السماكات المنخفضة، لأن المضاعفات الناتجة عنها أكبر من التخفيض الذي يحدث بسببها، وعليه فإننا نوصي بما يلي:

(1) استخدام الطريقة التقليدية في التدرج في قياسات النشاط الإشعاعي عندما تكون سماكات الدرر الرصاصي منخفضة كما هو الحال في حالتنا.

(2) زيادة زمن القياس T أو زمن تسجيل الطيف للعينة المراد حساب نشاطها الإشعاعي، لأن ذلك سيؤدي إلى تحسين الحد الأدنى للكشف (MDA) وفقاً للمعادلة التي تصف هذا المقدار.

References:

- [1] Nikola Marković, Per Roos, Sven Poul Nielsen, Xiao Xiao Cai. *Background reduction at DTU Nutech surface gamma laboratory*, Applied Radiation and Isotopes, Volume 151, pages 30-38, September 2019.
- [2] L.A. Currie. *Limits for qualitative detection and quantitative determination. Application to radiochemistry*, Analytical Chemistry, 40 (1968) 586.
- [3] I. Radulescu, A.M.Blebea-Apostu, R.M.Margineanu, N.Mocanu. *Background radiation reduction for a high-resolution gamma-ray spectrometer used for environmental radioactivity measurements*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 715, pages 112–118, 2013.
- [4] William R. Hendee, E. Russell Ritenour. *Medical Imaging Physics*. Wiley-Liss (2002). Chapter 4.
- [5] J. Jabbour, J. Mulhem and Saadeh Dayoub, *Analytical and experimental study of the effect of noise background on the radioactivity measurement*, Tishreen University, 2015.
- [6] Gordon R. Gilmore. *Practical Gamma-ray Spectrometry*, 2nd edition, John Wiley And Sons, New York, 2008.
- [7] Mohamed M. ElBaradei, Edited by Michael F.L' Annunziata, *Handbook of Radioactivity Analysis*, International Atomic Energy Agency.
- [8] Mikhail Boldyrev. *Lead: properties, history, and applications*. WikiJournal of Science, 1(2), 2018.
- [9] J. W. Beeman, F. Bellini, L. Cardani, N. Casali, S. Di Domizio, E. Fiorini, L. Gironi, S. S. Nagorny, S. Nisi, F. Orio, L. Pattavina, G. Pessina, G. Piperno, S. Pirro, E. Previtali, C. Rusconi, C. Tomei & M. Vignati. *New experimental limits on the α decays of lead isotopes*. European Physical Journal A 49 (50), 2013.
- [10] Smith, M.L., Bignell, L., Alexiev, D., Mo, L., Harrison. *Evaluation of lead Shielding for a gamma-spectroscopy system*. Nucl. Instrum. Meth, 2008, A 589, 275 279.
- [11] G. Heusser. *Annual Review of Nuclear and Particle Science*, 45(1995)543.
- [12] Glenn F. Knoll. *Radiation Detection and Measurement*, Fourth Edition, 2010.
- [13] Robert B. Ross. *Metallic Materials Specification Handbook*, fourth edition, 1992.
- [14] Albert Thompson, Ingolf Lindo and others, *X-ray data booklet*, Lawrence Berkeley National laboratory University of California, 2009.
- [15] RENU SAXENA, *GROUND LEVEL ATMOSPHERIC NEUTRON FLUXMEASUREMENTS IN THE 10-170 MEV RANGE*, Doctoral Dissertations, University of New Hampshire Scholars' Repository, 1990.

- [16] *Reference neutron activation library*, IAEA, 2002.
- [17] David R. LIDE . *Handbook of Chemistry and Physics*, 80th edition, CRC Press, 1999-2000 (Section 11).
- [18] Nicholas Tsoufanidis. *Measurement and Detection of Radiation*, McGraw-Hill, New York, NY, USA, 1995.
- [19] 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*. Accepted for publication in Tishreen University Journal, 2011.
- [20] James E.Martin, *Physics for Radiation Protection*, Second Edition, Completely Revised and Enlarged.
- [21] Revink A. Ramadhan, Khairi M-S. Abdullah. *Background reduction by Cu/Pb shielding and efficiency study of NaI(Tl) detector*, nuclear Engineering and Technology Volume 50, Issue 3, pages 462-469, April 2018.
- [22] Suffian M. Tajudin, Yoshihito Namito, Toshiya Sanami, and Hideo Hirayama, *Quasi-monoenergetic 200 keV photon field using a radioactive source with backscatter layout*, Japanese Journal of Applied Physics 53, 116401 (2014).
- [23] M.I. Ojovan. *An Introduction to Nuclear Waste Immobilisation*, Second Edition, Department of Materials, Imperial College London, United Kingdom.
<http://www.goodfellow.com/>
<http://nucleardata.nuclear.lu.se/toi/nucSearch.asp>