

دراسة تحليلية وتجريبية لأثر الضجيج الخلفي في قياس النشاط الإشعاعي

الدكتور جبور جبور*

الدكتور جهاد ملحم**

سعادته ديوب***

(تاريخ الإيداع 20 / 8 / 2014. قُبِلَ للنشر في 29 / 10 / 2014)

□ ملخص □

تمّ في هذا العمل التجريبي معايرة الأجهزة المستخدمة (كاشف، منابع للمعايرة)، واستنتاج مستقيم المعايرة لهذا الكاشف، فوجد أن معادلة هذا المستقيم تأخذ الشكل الآتي:

$$E = 5,342n - 20,045$$

تمّت دراسة مقدرة الفصل R بتابعة البعد بين المنبع المُشع والكاشف، وتبيّن النتائج التي تم الحصول عليها أن R تتناقص مع ازدياد طاقة الخطوط الطيفية، هذا يعني أن قدرة الكاشف على الفصل بين الخطوط الطيفية تُصبح أكبر. تمّ قياس كلٍّ من المقادير L_C ، L_D ، و MDA بطريقتين مختلفتين، انطلاقاً من حساب قيمة الضجيج الخلفي (التشويش) بطريقة شبه المنحرف، وبالطريقة التقليدية من العلاقة $N_B = N_T - N_S$ ، ومن أجل بعدين مختلفين للمنبع المُشع عن الكاشف: (9,3cm)، و (10cm). بتفحص النتائج التي تمّ الحصول عليها نلاحظ أن:

1- هناك تشابه في سلوك المقادير L_C ، L_D ، و MDA ، بتابعة الطاقة وبتابعة المسافة بين المنبع المُشع والكاشف.

2- طريقة شبه المنحرف تُعطي نتائج أفضل من نتائج الطريقة التقليدية في حساب الخلفية الإشعاعية، وهذا يتمثل بأن قيم المقدار MDA أقلّ، أي أن الحساسية أكبر في قياس هذا المقدار.

3- إن الخطأ النسبي المُرتكب في القياس MDA يتراوح بين (5%) من أجل القيم الكبيرة، و (10%) من أجل القيم الصغيرة.

الكلمات المفتاحية: أشعة غاما، كاشف يوديد الصوديوم (NaI) المشوب بالتاليوم (Tl)، مستقيم المعايرة، قدرة الفصل الطيفية، منبع مُشع، كفاءة كاشف، الحد الأدنى للكشف، ضجيج (تشويش) خلفي.

*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.

Analytical and experimental study of the effect of noise background on the radioactivity measurement

Dr. Jabbour Jabbour*
Dr. Jehad Mulhem**
Saadeh Dayoub***

(Received 20 / 8 / 2014. Accepted 29 / 10 / 2014)

□ ABSTRACT □

In this experimental work, the instruments used (detector, calibrating sources) has been calibrating, the calibration line of the detector deduced and it has been finding that the equation of calibration line takes the form:

$$E = 5,342n - 20,045$$

The resolution power R has been studying as function of the distance between the activity source and detector; the results obtained show that R decrease by increase the energy of the lines spectrum, this mean that the detector resolution power become bigger.

It has been measured the L_C , L_D and MDA using two different methods of background radiation value, trapezium method and classical method, for two different distances between radioactivity source and detector: (9,3cm) and (10cm). The results show:

- 1- There is similar comportment of the L_C , L_D and MDA in function energy and the distance between radioactivity source and detector.
- 2- The trapezium method gives better results from the classical method to the radiation background, and this leads to lesser MDA value, this means that the sensibility is bigger to measure this quantity.
- 3- The relative error using MDA is (5%) for large values, and (10%) for small values.

key Words: Gamma rays, sodium iodide (*NaI*) activated by Thallium (*Tl*), calibration line, resolution detector, source activity, detector efficiency, minimum detectable activity, background radiation level.

*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:

من أهم الأسئلة التي تُطرح في مجال قياس النشاط الإشعاعي هو السؤال الآتي: ما هو مفهوم الحساسية (sensitive) في قياس النشاط الإشعاعي لمنيع مُشع، أو لعينة مُشعة؟

إن مفهوم الحساسية مهم جداً، وهو عامل له تطبيقات عدّة في مجال الدراسة الطيفية للإشعاعات، وبشكل خاص لأشعة غاما. مع ذلك، يوجد جدل كبير وغموض حول هذا المفهوم، لسببين هما:

(1) عندما يتم التساؤل عن هذا المفهوم، هل هو المقصود "الكفاءة الذاتية" "intrinsic efficiency"، أو "الكفاءة المطلقة أو الكلية" "absolute efficiency"، أو "كفاءة الخط الطيفي" "intrinsic photopeak efficiency"، أو "الحد الأدنى للنشاط الإشعاعي الذي يمكن كشفه" "minimum detectable activity-MDA"،... وهلمّ جراً. إذاً يوجد مقادير عدّة تتعلق بمفهوم "الحساسية".

(2) يتعلق العديد من هذه المقادير ليس فقط بالأجهزة المستخدمة في القياس، لكن أيضاً بالتقنيات المستخدمة في القياس، في طريقة التحليل (البرنامج المستخدم في تحليل المعطيات)، وفي "مستوى الإشعاع الخلفي" "background radiation levels"،... وهكذا دواليك.

يوجد تعريفات متعددة لمفهوم "الفعالية أو الكفاءة". ترتبط هذه التعاريف بنسبة عدد النبضات (الحوادث) التي يتمّ كشفها من قبل الكاشف على عدد النبضات (الحوادث) الواردة على الكاشف. ويُمكن أن تُعرّف الفعالية بالفعالية الذاتية مقابل الفعالية المطلقة، الفعالية الكلية مقابل فعالية الخط الطيفي... إلخ. تُستخدم هذه المقادير في تقدير معدّل العدّ في الكاشف المستخدم في قياس خاص ومُحدّد. وتتعلق بمادة الكاشف وأبعاده، بالبعد بين المنبع المُشع (العينة المُشعة) والكاشف، وبطاقة الإشعاع الصادر.

إن مفهوم "الحد الأدنى للنشاط الإشعاعي الذي يمكن كشفه" يطرح السؤال الآتي: ما هي القيمة الدنيا للنشاط الإشعاعي لمادة مُشعة يمكن كشفها بثقة ومصداقية؟ يتعلق هذا بالقيمة الدنيا للعدّ، أي بالحد الأدنى لعدد الحوادث الناتجة من منبع مُشع (مادة مُشعة)، التي يمكن تمييزها عن الضجيج الخلفي. يتعلق هذا ليس فقط بكفاءة الكاشف، لكن أيضاً بمستوى الضجيج الخلفي، بطريقة التحليل، ويزمن القياس،... إلخ.

سُعرّف مختلف المقادير التي ذُكرت سابقاً والتي تُستخدم للدلالة على مفهوم الحساسية [1، 2]، إذ يمكن تطبيقها على كاشف يُستخدم فيه مادة ومضانية scintillator ومضاعف فوتوني photomultiplier. سيتم أيضاً، في هذا العمل، دراسة الضجيج الخلفي وقياسه بشكل مفصل، ومدى تأثيره في مفهوم الحساسية، والقيمة الدنيا للنشاط الإشعاعي الذي يمكن كشفه، وذلك من أجل أشعة غاما الصادرة عن منابع مُشعة، أو عن عينات مُشعة.

ولهذا السبب يُطرح السؤال الآتي: ما هو الضجيج الخلفي؟

أهمية البحث وأهدافه:

إن الهدف الرئيس لهذا العمل التجريبي هو دراسة وقياس العدّ الناتج من الضجيج الخلفي (التشويش) بطرق عدّة مختلفة، حساب الحد الأدنى للنشاط الإشعاعي الذي يمكن كشفه بواسطة الأجهزة المستخدمة، لمنابع وعينات مُشعة، اعتماداً على الطرق المُتبعة في حساب العدّ الناتج من الضجيج، ومن ثم مقارنة نتائج هذه القياسات.

طرائق البحث ومواده:

إن الأجهزة والأدوات المستخدمة في هذا البحث هي:

1-المنابع المستخدمة موضحة في الجدول (1).

2-كاشف وميض.

3-محلل متعدد الألفية.

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

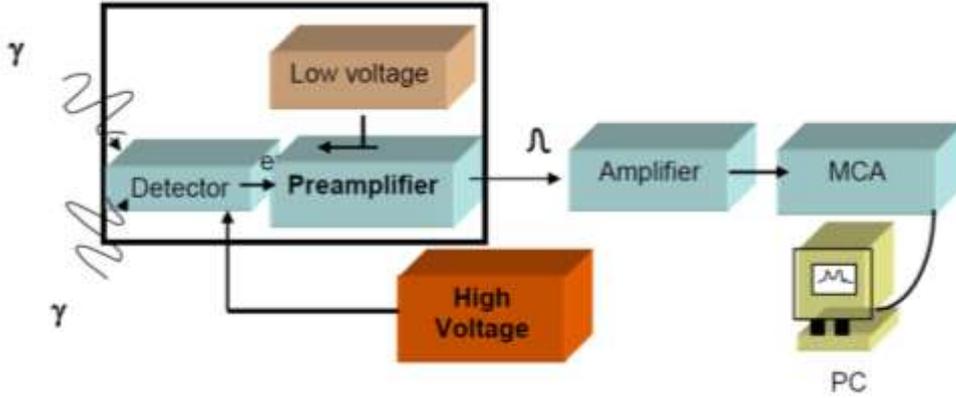
ملاحظة: جميع هذه الأجهزة [3] موجودة في مخبر الفيزياء النووية (قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة تشرين)،

حيث تمَّ إنجاز هذا البحث.

جدول (1) : يُبين مواصفات المنابع المُشعة المستخدمة في هذا العمل.

اسم المنبع	النشاط الإشعاعي مقدراً بالـ Bq عند تاريخ التصنيع	الرقم المرجعي	تاريخ التصنيع	عمر النصف مقدراً بالسنوات
الأمريسيوم Am-241	74×10^3	PH 569 Nds.002/99	20/12/2007	432,0 y
الكوبالت Co-60	74×10^3	PU 472 PU 472 Nds.002/99	20/12/2007	5,272 y
الصوديوم Na-22	74×10^3	PH 364 PW 605 Nds.002/99	20/12/2007	2,602 y
Mixed Nuclide (Cs+Sr+Am)	333×10^3	PG 529 PG 530 Nds.002/99	20/12/2007	30,17 y
السيوم Cs-137	$3,7 \times 10^6$	OX 841 Code:CDRB3796	20/12/2007	30,17 y

نوضِّح على الشكل (1) مخططاً مبسطاً للدائرة المستخدمة في القياسات.



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

كاشف - Detector، جهد عالٍ - High Voltage، مضخم أولي - Pre-amplifier،
 جهد منخفض - Low Voltage، مضخم رئيسي - Amplifier، محلل متعدد الأفتية - Multichannel Analyzer (MCA)، حاسوب
 شخصي - Personal Computer (PC)

من أجل تنفيذ هذا البحث وتحقيقه، لا بدّ من الإجابة عن الأسئلة الثلاثة الآتية التي تتعلق بعدّ الحوادث، أو الجسيمات الناتجة من المنبع المُشع (العينة المُشعّة) N_S ، وعن الضجيج الخلفي N_B ، بواسطة الكاشف المُستخدم:

(1) ما القيمة الحقيقية للعدّ الصافي التي تسمح بالقول إنه توجد مساهمة فعلية للمنبع المُشع (للعينة المُشعّة) في هذا العدّ (عتبة)؟

(2) ما القيمة الدنيا (أصغر قيمة) للعدّ الناتج من المنبع المُشع (العينة المُشعّة) التي يُمكن كشفها بواسطة الكاشف المُستخدم (المنظومة المُستخدمة في الكشف)؟

(3) في حال كشف هذه القيمة الدنيا (أصغر قيمة)، المنوه بها في السؤال السابق، ما مجال الثقة في هذه القيمة؟

وللإجابة عن هذه الأسئلة كان لا بدّ من القيام بما يلي:

- (1) تسجيل الخطوط الطيفية الطاقية للمنابع المُشعّة المُستخدمة (العينات المُشعّة).
- (2) حساب مساحات (سطوح) الخطوط الطيفية.
- (3) حساب الحدّ الحرج L_C - critical limit والحد الذي يمكن كشفه L_D - detection limit.
- (4) حساب الحد الأدنى للنشاط الإشعاعي الذي يمكن كشفه MDA - minimum detectable activity.
- (5) مناقشة النتائج ومقارنتها.

بعد أن تمّ تعيين قيمة الجهد ($V = 640\text{Volts}$) والريح (1) في هذا العمل، ومعايرة الكاشف، أي إيجاد العلاقة بين طاقة الخط الطيفي ورقم القناة، يُمكننا الآن القيام بالقياسات التجريبية المتعلقة بحساب كل من L_C ، L_D و MDA للمنابع المُشعّة المُستخدمة في هذا العمل.

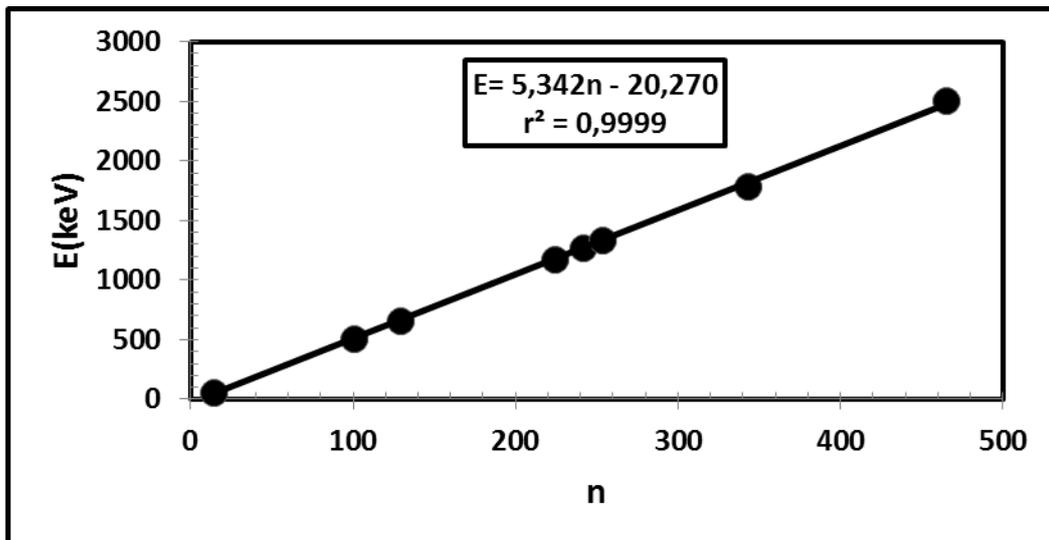
إن معايرة الكاشف تعني معرفة العلاقة بين رقم القناة في المحلل المتعدّد الأفتية المُستخدم في التجربة وطاقة الخط الطيفي للمنبع المدروس. وكما هو معروف، فإن المُحلّل MCA يتكون بشكل رئيس من ذاكرة ذات مواقع تخزين

مقدارها يساوي عدد قنوات الـ (MCA) (في حالتنا عدد القنوات 512 قناة) ، هذه القنوات مُرقمة من (0-511)، 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، (CASSY Lab) 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 [4,5].

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

جدول (2): يُبين طاقة الخطوط الطيفية للمصادر 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، أي تغير الطاقة E بتابعة رقم القناة n، مربع عامل الترابط $r^2 = 0,9999$.

النتائج والمناقشة:

لحساب كل من المقادير L_C ، L_D و MDA تمَّ تعيين طاقة الخطوط الطيفية للمصادر المشعة المستخدمة، العدّ الناتج من الضجيج الخلفي N_B ، والمساحة الصافية لكل خطّ طيفي (أي العدّ الصافي المحتوى في الخط الطيفي) N_S . يُبيّن الجدولان (3) و (4) القيم التي تمَّ استنتاجها من الطيوف الطاقية، إضافة إلى قيم نسب التفرع والكفاءة المطلقة (أو الكلية) للكاشف.

جدول (3): قيم N_S ، N_B ، نسبة التفرع، والكفاءة الكلية (أو المطلقة) للمصادر المستخدمة في هذا العمل، وذلك من أجل مسافة قدرها $d = 9,3\text{cm}$ بين المنبع المشع والكاشف، وزمن عدّ قدره $t = 900\text{ s}$. علماً أن الكفاءة الهندسية من أجل مسافة قدرها $(9,3\text{cm})$ تساوي $0,0108$ ، انظر الجدول (5).

المنبع المشع	Ac (kBq)	الطاقة E(keV)	نسبة التفرع B_R	كفاءة مطلقة [6]	$\sum N_S$	$\sum N_B$
Na-22	15,73	511	1,80	0,0028	81006	525
		1274	1,00	0,0009	12390	442
Co-60	34,46	1173	1,00	0,0010	25319	495
		1332	1,00	0,0008	23968	400
Mixed Nuclide Cs-137	291,38	662	0,85	0,0017	337921	770

جدول (4): قيم N_S ، N_B ، نسبة التفرع، والكفاءة الكلية (أو المطلقة) للمصادر المستخدمة في هذا العمل، وذلك من أجل مسافة قدرها $d = 10\text{cm}$ بين المنبع المشع والكاشف، وزمن عدّ قدره $t = 900\text{ s}$. علماً أن الكفاءة الهندسية من أجل مسافة قدرها (10cm) تساوي $0,0088$ ، انظر الجدول (5).

المنبع المشع	Ac (kBq)	الطاقة E(keV)	نسبة التفرع B_R	كفاءة ذاتية [6]	$\sum N_S$	$\sum N_B$
Na-22	15,73	511	1,80	0,2300	73309	525
		1274	1,00	0,0620	11199	442
Co-60	34,46	1173	1,00	0,0700	23135	495
		1332	1,00	0,0590	21609	400
Mixed Nuclide Cs-137	291,38	662	0,85	0,1400	305872	770

تجدر الإشارة هنا إلى أنه تم حساب النشاط الإشعاعي A_c للمصادر المستخدمة انطلاقاً من العلاقة النظرية

الآتية:

$$A_c = A_0 \cdot e^{-\lambda t} = A_0 \cdot e^{-\frac{0,693 \cdot t}{T}} \quad (1)$$

حيث إن T دور (أو عمر النصف) المنبع المُشع، و t زمن الانقضاء بين تاريخ التصنيع وتاريخ حساب النشاط الإشعاعي، انظر الجدول (1).

تسمح العلاقات الآتية بحساب المقدار MDA الذي نبحت عنه [13]:

$$L_C = 2,326\sigma_{N_B} \quad (2)$$

$$L_D = 4,653\sigma_{N_B} + 2,706 \quad (3)$$

$$MDA = \frac{L_D}{B_R \cdot \varepsilon_T \cdot T} = \frac{4,653\sigma_{N_B} + 2,706}{B_R \cdot \varepsilon_T \cdot T} = \frac{4,653\sqrt{N_B} + 2,706}{B_R \cdot \varepsilon_T \cdot T} \quad (4)$$

إذ إن: B_R نسبة التفرع.

ε_T الفعالية أو الكفاءة الكلية (أو المطلقة) للكاشف المُستخدم في القياس،

T زمن القياس، و $\sigma_{N_B} = \sqrt{N_B}$

يُقدّر MDA بالـ "بيكريل Bq":

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ disintegration per second (dps)} = 1 \text{ count per second (cps)}$$

يُعطي الجدولان (3) و (4) قيم N_B وقيم نسبة التفرع [6، 7]، ومن أجل قيم الكفاءة الكلية (أو الكفاءة المطلقة)

للخط الطيفي (أو للذروة) التي تُعطى بالعلاقة [8-19]:

$$\varepsilon_T(E) = \varepsilon_G \cdot \varepsilon_{pint}(E) \quad (5)$$

ولا بدّ هنا من إعطاء فكرة عن مفهوم الكفاءة الهندسية ε_G (Geometrical efficiency) للكاشف، والكفاءة

الذاتية $\varepsilon_{pint}(E)$ للخط الطيفي (Peak intrinsic efficiency).

إن الكفاءة الذاتية للخط الطيفي $\varepsilon_{pint}(E)$ ، والكفاءة الهندسية ε_G يؤثران في تقدير النشاط الإشعاعي للمنبع

المشع المراد قياس نشاطه الإشعاعي. ولهذه الغاية لا بد من إعطاء فكرة مُفصلة وواضحة عن هذين المُعاملين، وعن

كيفية حسابهما وقياسهما، وعن علاقتهما بمفهوم كفاءة الكاشف.

1- كفاءة الكاشف: Detector Efficiency-DE

ترمز كفاءة الكاشف إلى قدرة أجهزة قياس الأشعة على تحويل الإشعاعات الصادرة عن المنبع المشع إلى

إشارات تخرج من الكاشف. تتعلق كفاءة الكاشف بكمية الإشعاعات الصادرة N من المنبع المشع، وكمية الإشعاعات

المقيسة (المُسجلة) بوساطة الكاشف D في واحدة الزمن (معدّل عدّ)، وتُعرّف بالعلاقة الآتية:

$$DE = \frac{D}{N} \quad (6)$$

ويمكن استخدام كفاءة الكاشف لحساب معدّل العدّ المُتوقع في الكاشف إذا كانت شدة المنبع المشع معلومة، أو

حساب شدة المنبع المشع بقياس معدّل العدّ في الكاشف.

يُفضل، بشكل عام، أن نحصل على كفاءة كشف أكبر ما يمكن وذلك لكي نحصل على معدّل عدّ أعظمي

من مقدار أصغري للنشاط.

تتعلق كفاءة كاشف بمجموعة من العوامل:

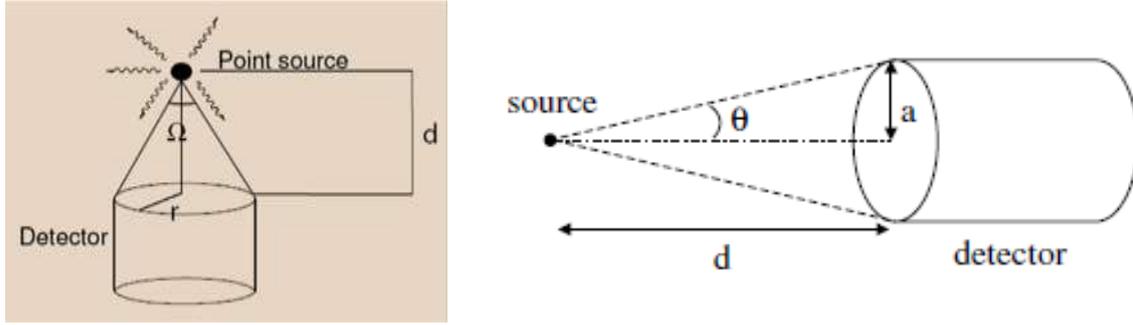
- 1- امتصاص الأشعة وتشتتها ضمن المنبع نفسه ، أو بوساطة المادة بين المنبع والكاشف.
 - 2- الكفاءة الهندسية للكاشف وهي تشير إلى مقدار اعتراض الكاشف للأشعة الصادرة عن المنبع، وهذا يتعلق بشكل كبير بحجم الكاشف ، وبالمسافة التي بين الكاشف والمنبع.
 - 3- الكفاءة الذاتية للكاشف وهي تشير إلى مقدرة الكاشف على امتصاص الأشعة الساقطة عليه وتحويلها إلى إشارة كمونية مفيدة تخرج من الكاشف ، وهي تتعلق بشكل أولي بسماكة الكاشف وتركيبه وبنوع الأشعة المراد كشفها وطاقتها.
 - 4- كفاءة تسجيل الإشارة الخارجة من الكاشف بوساطة جملة العدّ، وهذا عامل مهم في عدّ طاقة محدّدة ، إذ يُستخدم محلل ارتفاع النبضة لتحديد العدّ فقط للإشارات الخارجة من الكاشف التي هي ضمن مجال من السعة (الطاقة) المطلوبة.
- تشير هنا إلى أن الفوتونات ذات الطاقة المنخفضة تُمتص من قبل الكاشف بسبب المفعول الكهروضوئي [20]، [21] ، إذ إن المفعول الكهروضوئي هو المسيطر من أجل فوتونات ذات طاقة تقع في المجال (0-100)keV. ومن أجل طاقة أكبر من 100keV يبدأ مفعول كومبتون بالظهور، ومن ثم يصبح أكثر أهمية مع ازدياد الطاقة؛ ومن أجل طاقة أكبر من 2MeV، يبدأ ظهور مفعول إنتاج أو توليد الأزواج.
- إذن كما هو واضح من العلاقة (5)، لحساب الكفاءة الكلية أو المطلقة لا بدّ من معرفة الكفاءة الذاتية والكفاءة الهندسية.

2- الكفاءة الهندسية ϵ_G :

تُعبّر الكفاءة الهندسية ϵ_G (أو المعامل الهندسي) عن حقيقة أن ما يصل إلى الكاشف من إشعاع يكون جزءاً محدوداً من الإشعاع المنبعث أو الصادر من المنبع. ومن المعروف أن الإشعاعات الصادرة من المنبع المُشعّ موحّدة الخواص ، أي ذات شدة واحدة في جميع الاتجاهات، بينما تكون الكواشف الفعلية ذات أبعاد محدودة هندسياً. وهذا يعني أن ما يصل للكاشف من إشعاع هو ذلك المنبث في اتجاه الحيز الحساس للكاشف دون أي اتجاه آخر. فعند مسافة d من المنبع النقطي⁽¹⁾ الذي يصدر أشعة غاما γ تكون الأشعة الصادرة قد مرّت خلال سطح كروي خيالي مساحته $4\pi r^2$.

لحساب ϵ_G يُستخدم مفهوم الزاوية الصلبة (أو المجسمة) Ω ويُعرّف كالآتي، انظر الشكل (3):

(1) نقول عن منبع إنّه نقطيّ عندما تكون المسافة عن المنبع على الأقل أكبر بخمس مرات من قطر المنبع ، وفي حالات المنابع النقضية، عادة ما يكون معدّل العدّ متناسباً عكسياً مع مربع المسافة، أي المسافة بين المنبع وسطح الكاشف.



الشكل (3): الوضع الهندسي للمنبع النقطي (point source) بالنسبة للكاشف (detector)، ($r = a$) و ($d = R$).

$$\Omega = \frac{S}{R^2}$$

إذ إن S مساحة ذلك السطح من الكرة التي نصف قطرها R ، والمحدود بحدود وجه الكاشف، و d المسافة بين المنبع النقطي المُشع وطرف الكاشف. ويرتبط ε_G بالزاوية المجسمة Ω بالعلاقة الآتية:

$$\varepsilon_G = \frac{d\Omega}{4\pi} = \frac{S}{4\pi R^2} = \frac{\pi r^2}{4\pi R^2} = \frac{r^2}{4R^2} \quad (7)$$

إذ إن $S = \pi r^2$ مساحة سطح الكاشف باعتباره دائرة نصف قطرها r .

وتفترض هذه العلاقة بأن المسافة بين الكاشف والمنبع النقطي كبيرة بالمقارنة بقطر الكاشف (استعن بالحاشية رقم 1). وتكون هذه المعادلة غير صحيحة عند المسافات الصغيرة، فمثلاً عندما ($R \rightarrow 0$) ينتج لدينا ($\varepsilon_G \rightarrow \infty$). إن المعادلة المطبقة عند المسافات الصغيرة تُعطى بالعلاقة الآتية، انظر الشكل (3):

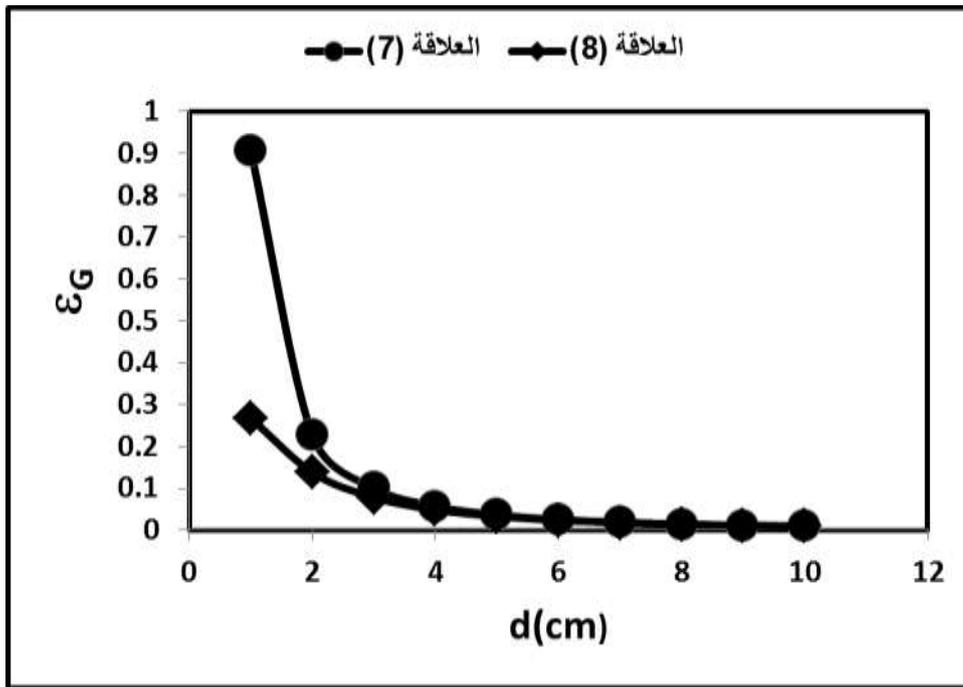
$$\begin{aligned} \varepsilon_G &= \frac{1}{4\pi} \int d\Omega \\ \Delta\Omega &= \int_0^{2\pi} d\phi \int_{\cos\theta}^1 d(\cos\theta') = 2\pi(1 - \cos\theta) \\ \tan\theta &= \frac{a}{d} \quad \& \quad \cos\theta = \frac{1}{\sqrt{\tan^2\theta + 1}} = \frac{d}{\sqrt{a^2 + d^2}} \\ \varepsilon_G &= \frac{\Delta\Omega}{4\pi} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{d}{\sqrt{a^2 + d^2}} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

تمّ حساب الكفاءة الهندسية ε_G للكاشف المُستخدم في هذا العمل، الذي نصف قطره $r = 1,905\text{cm}$ انطلاقاً من العلاقتين (7) و (8)، والنتائج التي تم الحصول عليها موضحة في الجدول (5) وفي الشكل (4). نلاحظ الفرق بين العلاقتين من أجل القيم الصغيرة للمسافة بين المنبع والكاشف.

جدول (5): مقارنة بين قيم الكفاءة الهندسية انطلاقاً من العلاقتين (7) و (8).

d (cm)	$\varepsilon_G = \frac{\pi r^2}{4\pi R^2}$	$\varepsilon_G = \frac{\Delta\Omega}{4\pi} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{d}{\sqrt{a^2 + d^2}} \right)$
1	0,9072	0,2676
2	0,2268	0,1379
3	0,1008	0,0779

4	0,0567	0,0486
5	0,0363	0,0328
6	0,0252	0,0234
7	0,0185	0,0175
8	0,0143	0,0136
9	0,0112	0,0108
10	0,0091	0,0088



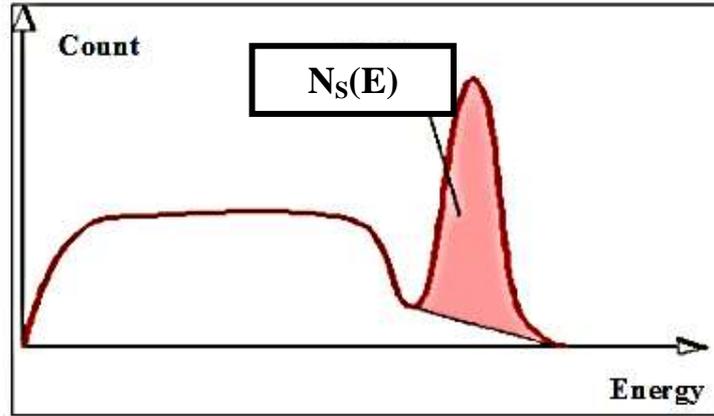
الشكل (4): تغير الكفاءة الهندسية ϵ_G بتابعة البعد d بين المنبع المشع والكاشف.

ماذا يعني أن قيمة الكفاءة الهندسية تساوي مثلاً: $\epsilon_G = 0,05$ ؟ هذا يعني أن الكاشف يقطع (5%) من كل الفضاء، أو يكشف (5%) من الإشعاعات الصادرة من المنبع المشع.

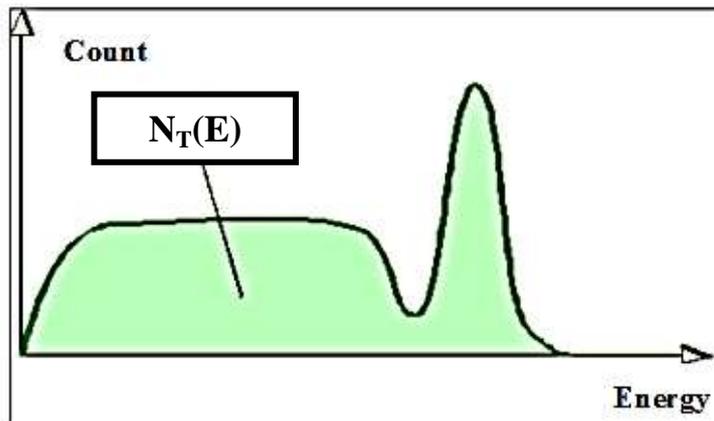
3- الكفاءة الذاتية: Intrinsic Efficiency

يُطلق عليها أيضاً اسم كفاءة الذروة أو كفاءة الخط الطيفي (Peak efficiency)، وهي نسبة عدد الحوادث الكلي المُسجلة في الخط الطيفي على عدد الحوادث الكلي المُسجلة في الطيف الطاقوي. وهذه الكفاءة تتعلق بعدة متحولات مثل طاقة أشعة غاما، وميزات ومواصفات الكاشف (أبعاده، شكله، المواد المُصنَّع منها... إلخ)، وبالبعد بين المنبع المُشع والكاشف [8-19]:

$$\varepsilon_{pint}(E) = \left(\frac{\sum N_S(E) - \sum N_B(E)}{t} \right) \frac{1}{A \cdot \varepsilon_G \cdot B_R(E)} \quad (9)$$



الشكل (5): يوضح تغيُّر عدد الحوادث المُسجلة في الخط الطيفي $N_S(E)$ بتابعة الطاقة.



الشكل (6): يوضح تغيُّر عدد الحوادث المُسجلة في الطيف الطاقوي $N_T(E)$.

$$\varepsilon_T(E) = \varepsilon_G \cdot \varepsilon_{pint}(E)$$

$$\varepsilon_{pint}(E) = \frac{N_S(E)}{N_T(E)}$$

ولكن عدد الفوتونات $N_T(E)$ المُسجلة في الطيف الطاقوي أقل من عدد الفوتونات الصادرة من المنبع المُشع، ولذلك نستبدل المقدار $N_T(E)$ بـ $A \cdot B_R(E)$ ، فتصبح العلاقة السابقة على النحو الآتي:

$$\varepsilon_{pint}(E) = \frac{N_S(E)}{N_T(E)} = \frac{N_S(E)}{A \cdot B_R(E)}$$

إذ إن A شدة المنبع المُشع المستخدم، و $B_R(E)$ (نسبة التفرع)، انظر الجدول (6)، مُعامل يربط بين معدّل انبعاث الجسيمات (أو الكمات بالنسبة لأشعة غاما، أي فوتونات غاما) لنوع معيّن من الإشعاع، ومعدّل الانحلال (التفكك) لنفس النوع من نفس المنبع المُشع.

جدول (6): يوضّح نسب التفرع [7، 8].

المنبع المُشع	الطاقة E(keV)	نسبة التفرع f_γ
^{241}Am	59,5	0,36
^{137}Cs	662	0,85
^{22}Na	511	1,80
	1274	1,00
	511+1274 = 1785	2,80
^{60}Co	1173	1,00
	1332	1,00
	1173+1332 = 2505	2,00

4- حساب المقادير L_D ، L_C ، و MDA

إنّ كما هو واضح من العلاقات (2-3)، (3-3)، و (4-3) لحساب المقادير L_D ، L_C ، و MDA يلزمنا معرفة كل من:

1- عدد الحوادث المسجلة في الخط الطيفي مطروحاً منه الخلفية الإشعاعية، وهذا ممكن الحصول عليه تجريبياً.

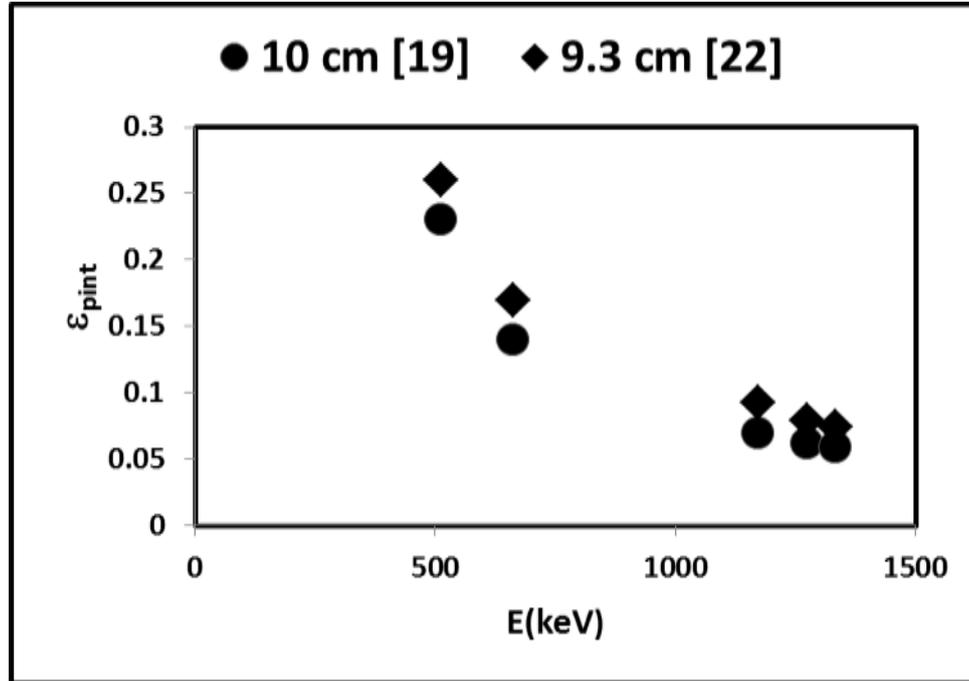
2- زمن القياس، وهذا ممكن تجريبياً أيضاً، ويُحدده المُجرب.

3- الكفاءة الهندسية، وهذا تم حسابه سابقاً، مُعطى في الجدول (5).

4- الكفاءة الذاتية للخط الطيفي، وهذا يتعلق بمواصفات الكاشف المُستخدم في القياس. ولهذه الغاية استعنا بقيم محسوبة سابقاً من أجل كاشف مماثل للكاشف الذي استخدمناه في هذا العمل (أبعاده: $3,81\text{cm} \times 3,81\text{cm}$ ، أو $1,5\text{inch} \times 1,5\text{inch}$)، وذلك من أجل مسافة مُحددة بين الكاشف والمنبع المُشع: مسافة قدرها (9,3cm) مع كفاءة مطلقة أو كلية [22]، ومسافة قدرها (10cm) مع كفاءة ذاتية [19]، وهذه القيم موضّحة في الجدول (7) من أجل المنابع الآتية: صوديوم-22، سيزيوم-137، وكوبالت-60.

جدول (7): يُبين الكفاءة المطلقة أو الكلية [22] والكفاءة الذاتية [19]. نشير هنا إلى أنه تم استنتاج الكفاءة الذاتية من الكفاءة المطلقة [22] باعتبار أن الكفاءة الهندسية من أجل مسافة قدرها (9.3cm) تساوي تقريباً 0.01077.

المنبع المشع	الطاقة E(keV)	نسبة التفرع B_R	الكفاءة الذاتية $\epsilon_{pint}(E)$ (10cm) [19]	[22] (9.3cm)	
				الكفاءة المطلقة ϵ_T	الكفاءة الذاتية $\epsilon_{pint}(E)$
Na-22	511	1,80	0,2300	0,0028	0,2600
	1274	1,00	0,0620	0,0009	0,0787
Mixed Nuclide Cs-137	662	0,85	0,1400	0,0017	0,1700
Co-60	1173	1,00	0,0700	0,0010	0,0926
	1332	1,00	0,0590	0,0008	0,0741



الشكل (7): مقارنة بين قيم الكفاءة الذاتية بتابعة الطاقة من أجل مسافتين مختلفتين بين المنبع المُشع والكاشف.

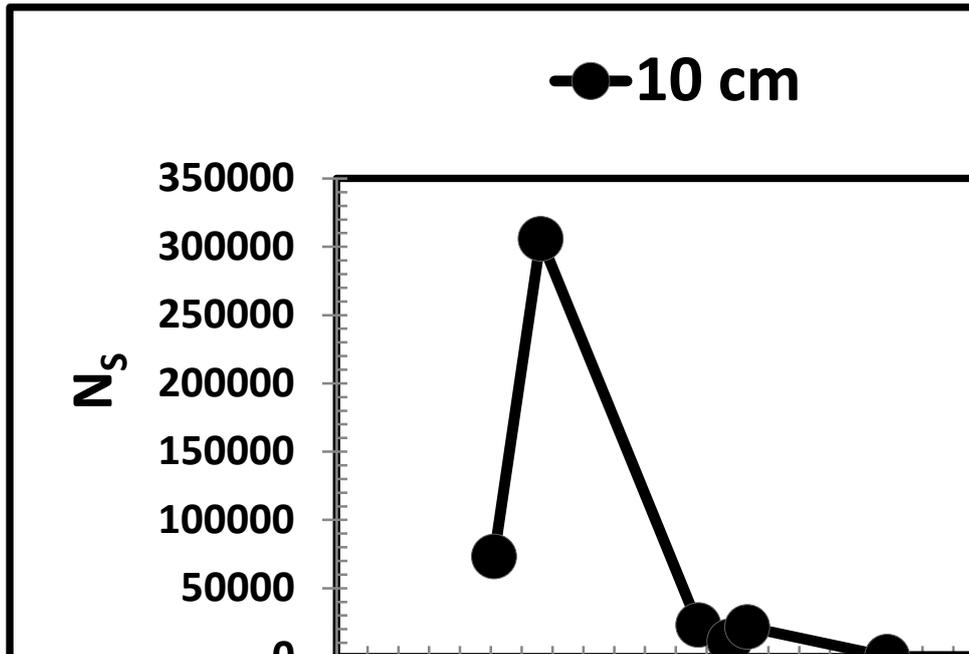
يُبين الجدولان (8) و (9) قيم المقادير L_C ، L_D ، و MDA المحسوبة في هذا العمل انطلاقاً من العلاقات (2)، (3)، و (4). نشير هنا إلى أنه تم حساب قيم $N_B = N_T - N_S$ بالطريقة المشروحة في الشكلين (5) و (6).

جدول (8): يُبين قيم المقادير L_C ، L_D ، و MDA المحسوبة في هذا العمل انطلاقاً من العلاقات (2)، (3)، و (4)، وذلك من أجل مسافة قدرها $d = 9,3\text{cm}$ بين المنبع المشع والكاشف، وزمن عدّ قدره $t = 900\text{ s}$.

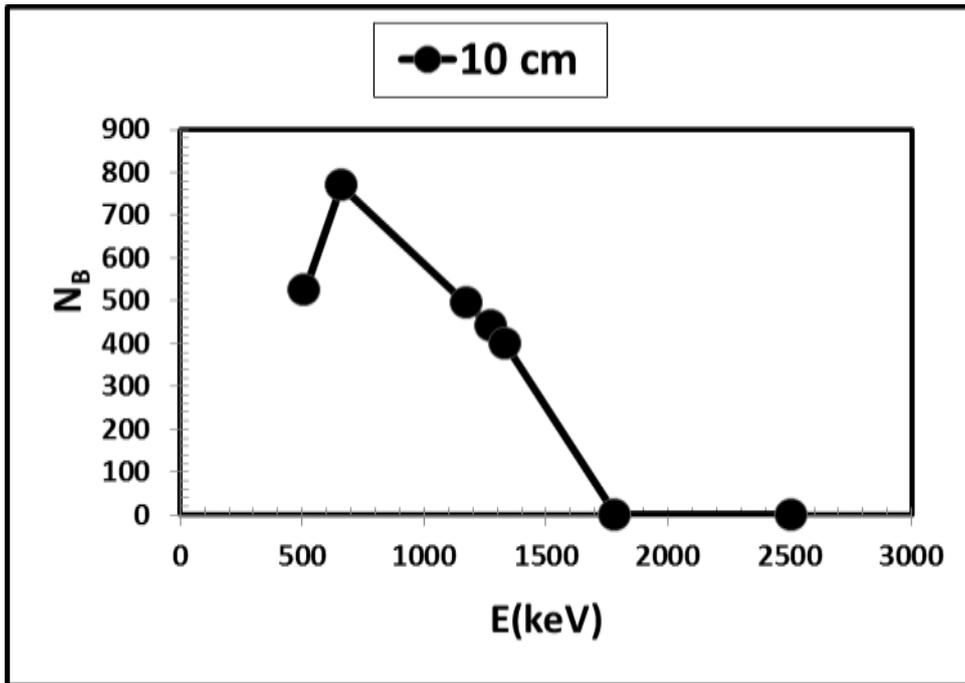
المنبع المشع	الطاقة E(keV)	نسبة التفرع B_R	كفاءة مطلقة ϵ_T [6]	N_S	N_B	L_C	L_D	MDA (Bq)
Na-22	511	1,80	0,0028	81006	525	53,16	109,03	24,04
	1274	1,00	0,0009	12390	442	48,77	100,26	123,78
	1785	2,80		65	0	00,00	00,00	00,00
Co-60	1173	1,00	0,0010	25319	495	51,62	105,94	117,71
	1332	1,00	0,0008	23968	400	46,40	95,51	132,65
	2505	2,00		21	0	00,00	00,00	00,00
Mixed Nuclide Cs-137	662	0,85	0,0017	337921	770	64,38	131,46	101,08

جدول (9): يُبين قيم المقادير L_C ، L_D ، و MDA المحسوبة في هذا العمل انطلاقاً من العلاقات (2)، (3)، و (4)، وذلك من أجل مسافة قدرها $d = 10\text{cm}$ بين المنبع المشع والكاشف، وزمن عدّ قدره $t = 900\text{ s}$. علماً أن الكفاءة الهندسية من أجل مسافة قدرها (10cm) تساوي 0,0088، انظر الجدول (6).

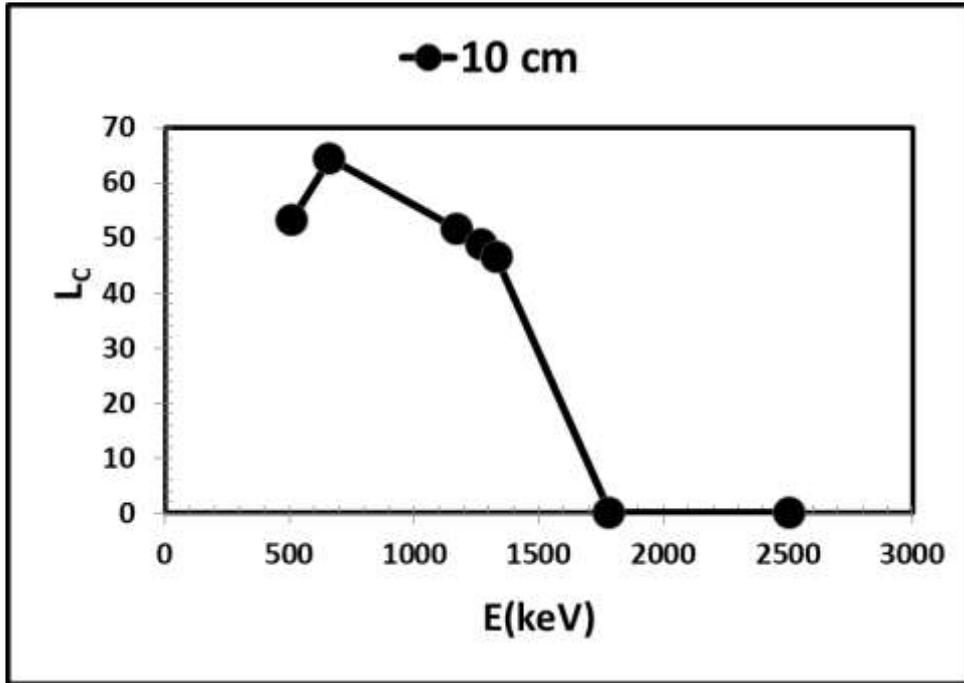
المنبع المشع	الطاقة E(keV)	نسبة التفرع B_R	كفاءة ذاتية ϵ_{pint} [6]	N_S	N_B	L_C	L_D	MDA (Bq)
Na-22	511	1,80	0,2300	73309	525	53,16	109,03	33,25
	1274	1,00	0,0620	11199	442	48,77	100,26	204,18
	1785	2,80		52	0	00,00	00,00	00,00
Co-60	1173	1,00	0,0700	23135	495	51,62	105,94	191,09
	1332	1,00	0,0590	21609	400	46,40	95,51	204,40
	2505	2,00		17	0	00,00	00,00	00,00
Mixed Nuclide Cs-137	662	0,85	0,1400	305872	770	64,38	131,46	139,48



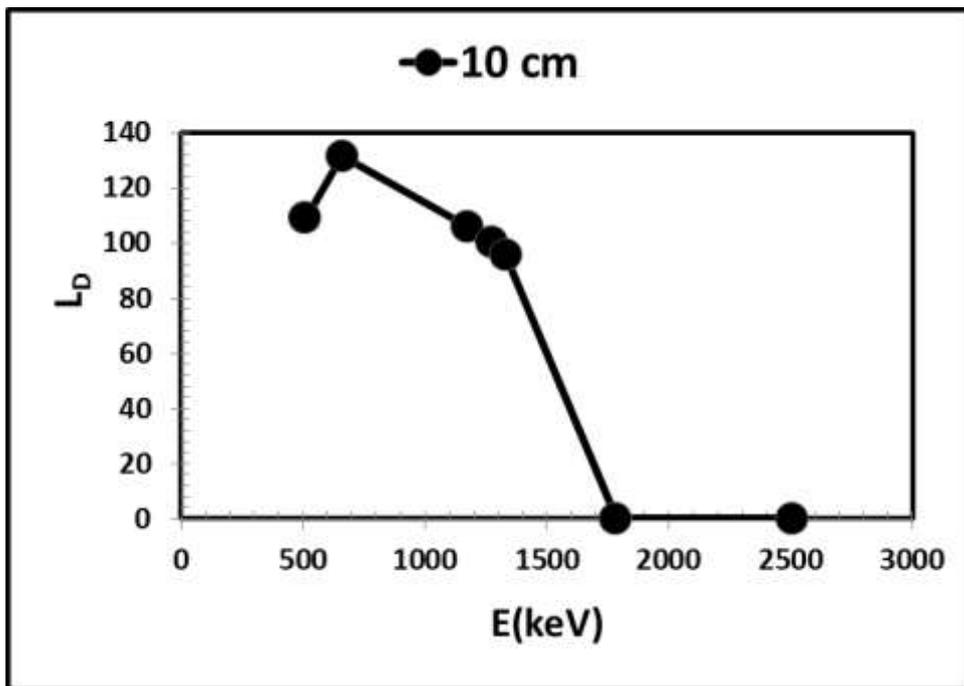
الشكل (8): تغيُّر قيم المقدار N_s المقاسة في هذا العمل انطلاقاً من الطيفوف الطاقية بتابعة طاقة الخطوط الطيفية للمنابع المستخدمة من أجل بعد قدره (10cm) بين الكاشف والمنبع المشع . الخطوط هي خطوط توجيه فقط.



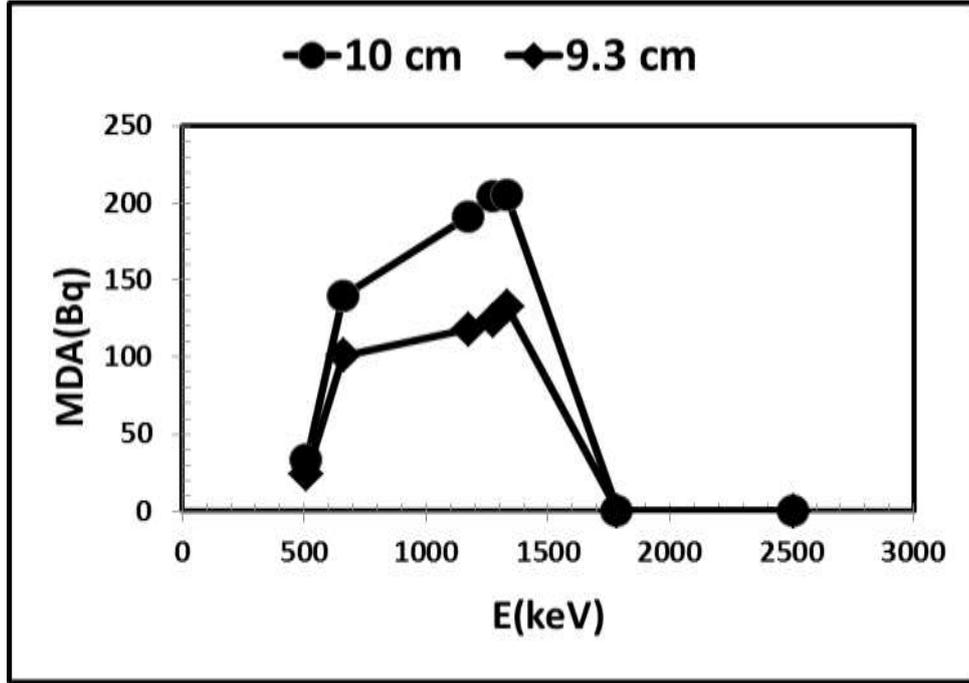
الشكل (9): تغيُّر قيم المقدار N_s المقاسة في هذا العمل انطلاقاً من الطيفوف الطاقية بتابعة طاقة الخطوط الطيفية للمنابع المستخدمة من أجل بعد قدره (10cm) بين الكاشف والمنبع المشع . الخطوط هي خطوط توجيه فقط.



الشكل (10): تغيير قيم المقدار L_c المقیسة في هذا العمل انطلاقاً من الطیوف الطاقية بتابعية طاقة الخطوط الطيفية للمنايع المستخدمة من أجل بعد قدره (10cm) بين الكاشف والمنبع المشع. الخطوط هي خطوط توجيه فقط.

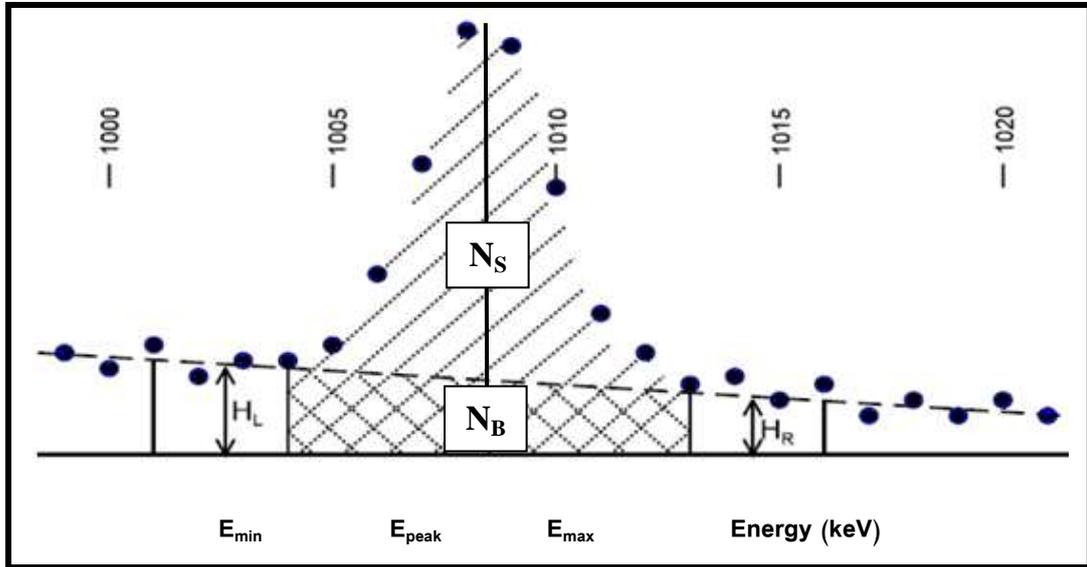


الشكل (11): تغيير قيم المقدار L_p المقیسة في هذا العمل انطلاقاً من الطیوف الطاقية بتابعية طاقة الخطوط الطيفية للمنايع المستخدمة من أجل بعد قدره (10cm) بين الكاشف والمنبع المشع. الخطوط هي خطوط توجيه فقط.



الشكل (12): مقارنة بين قيم المقدار MDA المحسوبة في هذا العمل انطلاقاً من العلاقة (4)، ومن أجل مسافتين مختلفتين (9,3cm) و (10cm). الخطوط هي خطوط توجيه فقط.

يُبين الجدولان (8) و (9) قيم المقادير L_D ، L_C و MDA المحسوبة في هذا العمل انطلاقاً من طريقة شبه المنحرف المشروحة في الشكل (13).



الشكل (13): يوضح آلية حساب الضجيج الخلفي لخط طيفي منحل بطريقة شبه المنحرف أو الأربعة أقتية.

$$N_S = \text{Peak} = \text{Integral} - \text{Base}$$

$$\text{Integral} = N_{1004} + N_{1005} + \dots + N_{1012} + N_{1013}$$

حيث الجمع يتم على 10 أقتية.

$$Base = \frac{H_L + H_R}{2}$$

$$Base = \frac{H_L + H_R}{2} = \frac{1 N_{1001} + N_{1002} + N_{1003} + N_{1004}}{4} + \frac{1 N_{1013} + N_{1014} + N_{1015} + N_{1016}}{4}$$

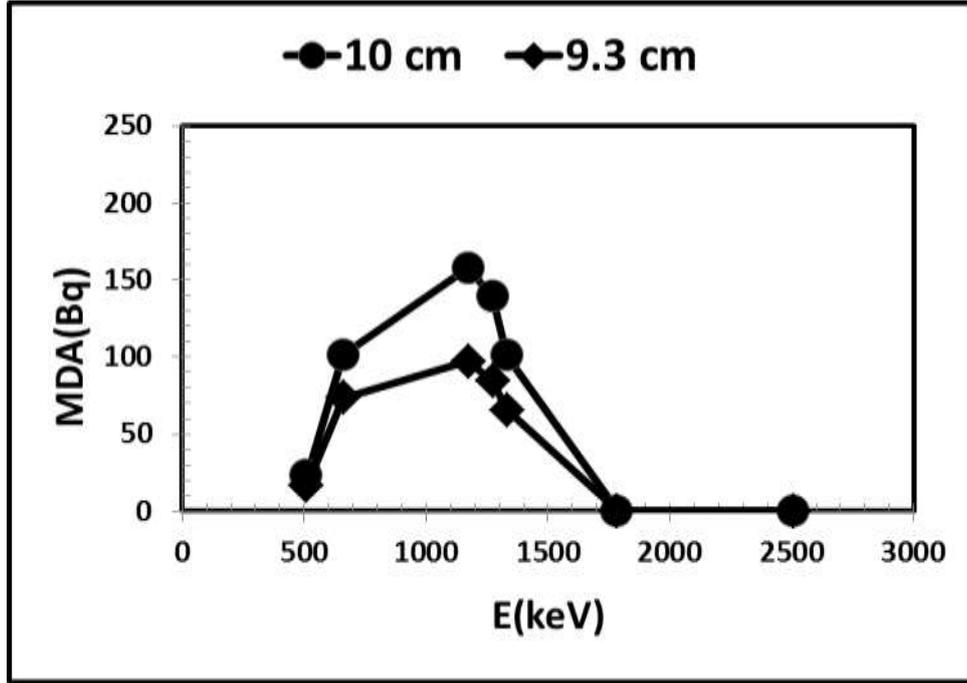
إذاً نأخذ أربع أقتية على يسار القيمة الدنيا للطاقة E_{min} ، وأربع أقتية على يمين القيمة العليا للطاقة E_{max} .

جدول (10): يُبين قيم المقادير L_C ، L_D ، و MDA المحسوبة في هذا العمل انطلاقاً من طريقة شبه المنحرف، انظر الشكل (13)، وذلك من أجل مسافة قدرها $d = 9,3cm$ بين المنبع المشع والكاشف، وزمن عدّ قدره $t = 900 s$.

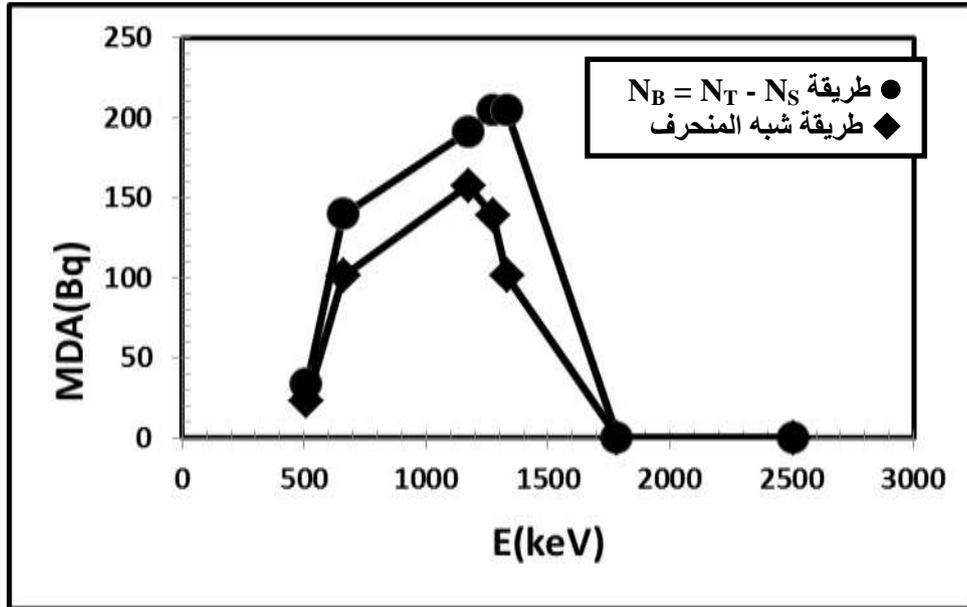
المنبع المشع	الطاقة E(keV)	نسبة التفرع B_R	كفاءة مطلقة ϵ_T [32]	N_S	N_B	L_C	L_D	MDA (Bq)
Na-22	511	1,80	0,0028	81006	247	36,46	75,63	16,67
	1274	1,00	0,0009	12390	200	32,81	68,33	84,36
	1785	2,80		65	0	00,00	00,00	00,00
Co-60	1173	1,00	0,0010	25319	333	42,34	87,38	97,09
	1332	1,00	0,0008	23968	92	22,25	47,21	65,57
	2505	2,00		21	0	00,00	00,00	00,00
Mixed Nuclide Cs-137	662	0,85	0,0017	337921	400	46,40	95,51	73,44

جدول (11): يُبين قيم المقادير L_C ، L_D ، و MDA المحسوبة في هذا العمل انطلاقاً من طريقة شبه المنحرف، انظر الشكل (13)، وذلك من أجل مسافة قدرها $d = 10cm$ بين المنبع المشع والكاشف، وزمن عدّ قدره $t = 900 s$. علماً أن الكفاءة الهندسية من أجل مسافة قدرها (10cm) تساوي 0,0088، انظر الجدول (6).

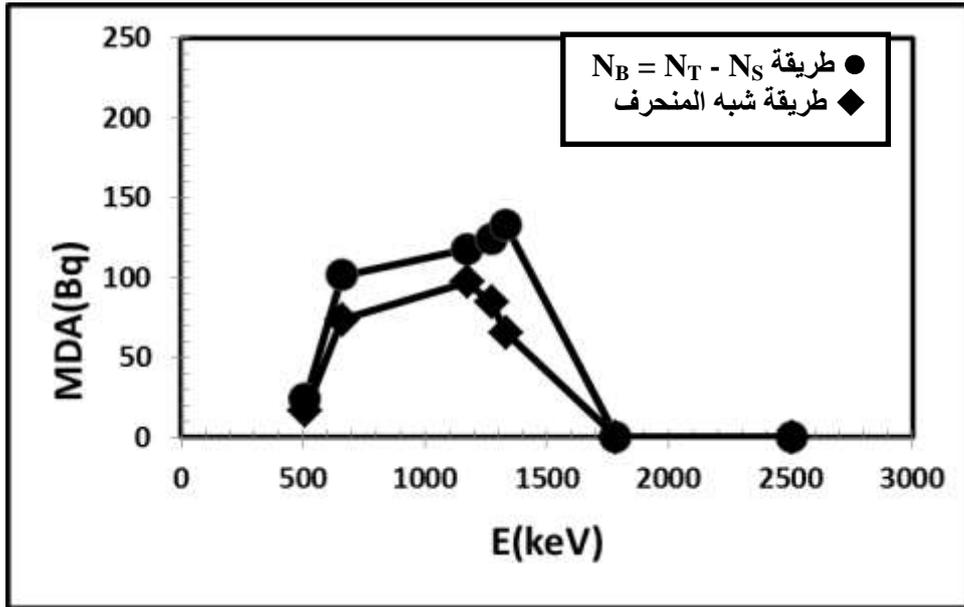
المنبع المشع	الطاقة E(keV)	نسبة التفرع B_R	كفاءة ذاتية ϵ_{pint} [6]	N_S	N_B	L_C	L_D	MDA (Bq)
Na-22	511	1,80	0,2300	73309	247	36,46	75,63	23,06
	1274	1,00	0,0620	11199	200	32,81	68,33	139,15
	1785	2,80		65	0	00,00	00,00	00,00
Co-60	1173	1,00	0,0700	23135	333	42,34	87,38	157,61
	1332	1,00	0,0590	21609	92	22,25	47,21	101,03
	2505	2,00		21	0	00,00	00,00	00,00
Mixed Nuclide Cs-137	662	0,85	0,1400	305872	400	46,40	95,51	101,34



الشكل (14): مقارنة بين قيم المقدار MDA المحسوبة في هذا العمل انطلاقاً من طريقة شبه المنحرف، انظر الشكل (13)، ومن أجل مسافتين مختلفتين (9,3cm) و (10cm). الخطوط هي خطوط توجيه فقط.



الشكل (15): مقارنة بين قيم المقدار MDA المحسوبة بطريقتين مختلفتين في هذا العمل انطلاقاً من حساب N_B المشروحة سابقاً والممثلة بالنقاط الدائرية، ومن طريقة شبه المنحرف المشروحة على الشكل (13) والممثلة بنقاط المربعة، ومن أجل مسافة قدرها (10cm). الخطوط هي خطوط توجيه فقط.



الشكل (16): مقارنة بين قيم المقدار MDA المحسوبة بطريقتين مختلفتين في هذا العمل انطلاقاً من حساب N_B بالطريقة المشروحة سابقاً والممثلة بالنقاط الدائرية، ومن طريقة شبه المنحرف المشروحة على الشكل (13) والممثلة بالنقاط المربعة، ومن أجل مسافة قدرها (9,3cm). الخطوط هي خطوط توجيه فقط.

تشير المقارنة بين الأشكال (12)، (14)، (15)، و (16) إلى أنه يوجد، بشكل عام، تشابه في سلوك المقدار MDA، بتابعية الطاقة وبتابعية المسافة بين المنبع المُشع والكاشف، باستثناء الخط الطيفي ذي الطاقة (1332keV) للكوبالت-60، حيث هناك اتجاه نحو التناقص تارة، وتارة نحو التزايد. يمكن تفسير ذلك بتجاوز، لا بل تداخل الخطين الطيفيين (1173keV) و (1332keV) للكوبالت، إذ يؤثر هذا التداخل في حساب الضجيج الخلفي. تجدر الإشارة هنا إلى أن حساب الضجيج الخلفي بطريقة شبه المنحرف يُعطي قيمة أقل لـ MDA، وهذا يعني أن طريقة شبه المنحرف أدق، أي تسمح بكشف مقادير صغيرة للنشاط الإشعاعي، أي أن هناك حساسية أكبر مما هي عليه في الطريقة الأخرى.

تمّ حساب الخطأ المُرتكب في حساب MDA باعتبار أن الخطأ المُرتكب في القياس ينتج فقط من قياس الضجيج الخلفي، أي من قياس N_B ، ويفرض أن $\Delta N_B = \sqrt{N_B}$ ، يمكن أن نكتب:

$$\Delta MDA = MDA \cdot \frac{\Delta N_B}{N_B}$$

وكمثال على حساب الخطأ ΔMDA اعتماداً على الجدول (8):

$$\Delta MDA = 123.78 \left(\frac{\sqrt{442}}{442} \right) = 5.89$$

وُجد أن الخطأ النسبي المُرتكب في القياس يتراوح بين (5%) من أجل القيم الكبيرة، و (10%) من أجل القيم الصغيرة.

الاستنتاجات والتوصيات:

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

$$E = 5,342n - 20,045$$

تمت دراسة مقدرة الفصل بتابعية البعد بين المنبع المُشعّ والكاشف، والنتائج التي تم الحصول عليها تبين أن R تتناقص مع ازدياد طاقة الخطوط الطيفية، هذا يعني أن قدرة الكاشف على الفصل بين الخطوط الطيفية تُصبح أكبر. تمّ قياس كلّ من المقادير L_C ، L_D ، و MDA بطريقتين مختلفتين انطلاقاً من حساب قيمة الضجيج الخلفي (التشويش) بطريقة شبه المنحرف ، وبالطريقة التقليدية من العلاقة $N_B = N_T - N_S$ ، ومن أجل بعدين مختلفين للمنبع المُشعّ عن الكاشف: (9,3cm)، و (10cm). بتفحص الجداول والأشكال السابقة يُلاحظ:

4- هناك تشابه في سلوك المقادير L_C ، L_D ، و MDA ، بتابعية الطاقة وبتابعية المسافة بين المنبع المُشعّ والكاشف.

5- طريقة شبه المنحرف تُعطي نتائج أفضل من نتائج الطريقة التقليدية في حساب الضجيج الخلفي، وهذا يتمثل بأن قيم المقدار MDA أقلّ، أي أن الحساسية أكبر في قياس هذا المقدار.

6- إن الخطأ النسبي المُرتكب في القياس MDA يتراوح بين (5%) من أجل القيم الكبيرة ، و (10%) من أجل القيم الصغيرة.

يُعدّ هذا العمل أساساً في فهم آلية قياس المقادير L_C ، L_D ، و MDA ، إذ يمكن التوصية باستخدام منابح أخرى، وكواشف أخرى ذات أبعاد هندسية أكبر مما هو مُستخدم في هذا العمل، مع تغيير المسافات الفاصلة بين المنبع المُشعّ والكاشف لأن ذلك يلعب دوراً كبيراً في قيمة هذه المقادير، وفي قياس النشاط الإشعاعي للمنابع المُستخدمة.

المراجع:

- [1] G. Knoll, *Radiation detection and measurement*, 3rd edition, John Wiley & Sons, Inc., 2000. The topics of efficiency and MDA are covered on pp. 116-119 and 94-96.
- [2] G. Gilmore, J.D. Hemingway, *Practical gamma-ray spectrometry*, John Wiley & Sons, 1995. The topics of efficiency and MDA are covered on 119-125 and 137-143.
- [3] *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.
- [4] 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.
- [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] P. Quittner, *Gamma Ray Spectroscopy*, Halsted Press, New York, 1972.
- [7] Efficiency Calculations for Selected Scintillators, Saint-Gobain Crystals, 2004-8. www.detectors.saint-gobain.com.
- [8] *Scintillation Spectrometry, Gamma-ray Spectrum Catalog*”, R.L. Heath, RDO-16880, 2nd edition - Vol. 1, Feb. 1997.
- <http://www.inl.gov/gammaray/catalogs/pdf/naicat.pdf>
- [9] Knoll G F 2000 *Radiation Detection and Measurement* 3rd edition (New York: Wiley)

- [10] L. Peralta, Measuring the Activity of a Radioactive Source in the Classroom, *European Journal of Physics*, 25(2004) 211-219.
- [11] K. Krane, *Introductory Nuclear Physics* (New York: Wiley), 1988.
- [12] W. R. Leo, *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments* (Berlin: Springer), 1987.
- [13] L. A. Curie, *Anal . Chem.* 40: 586, 1968.
- [14] H. L. Andrews, *Radiation Biophysics*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1974.
- [15] V. Arena, *Ionizing Radiation and Life*, The C. V. Mosby Co., St. Louis, Montreal, 1971.
- [16] W. Mann and S. Garfinkel, *Radioactivity and Its Measurement*, Van Nostrand-Reinhold, New York, 1966.
- [17] C. M. Lederer, J. M. Hollander, and I. Perlman, *Table of the Isotopes*, 6th ed., Wiley, New York, 1967.
- [18] 14th Scintillation and Semiconductor Counter Symposium, *IEEE Trans. Nucl. Sci.* Ns-22(1), 1975.
- [19] 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.
- [20] H. Enge, *Introduction à la physique nucléaire*, Paris, Masson, 1972 (chapitre IX).
- [21] W. R. Leo, *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments*, 2nd rev ed., New York: Springer, 1994. (QC793.46 .L46 1994) Parts of chapters 2, 3, 7, 8, 9, 12, 14 and 15.
- [22] A. B. Kadhem & A. N. Mohammed, The Treatment of Efficiency of NaI(Tl) Detector By Using Monte Carlo Simulation, *Eng. & Tech. Journal*, Vol. 28, No.5 , 2010