

دراسة تحليلية وتجريبية لآليات حساب وقياس النشاط الإشعاعي للمنابع المشعة

الدكتور جبور نوفل جبور*

الدكتور هيثم إبراهيم جبيلي**

سارة إبراهيم الجمال***

(تاريخ الإيداع 10 / 2 / 2014. قُبِلَ للنشر في 3 / 4 / 2014)

□ ملخص □

تمّ، في هذا العمل، استخدام تقنيات قياس أشعة غاما باستعمال كاشف من يوديد الصوديوم (NaI) المشاب بالتاليوم (TI)، حيث تمّ الحصول على معايرة الكاشف NaI(TI)، وقدرة فصله، كما تمّ حساب وقياس النشاط الإشعاعي لمنابع مشعة باستخدام الطريقة النسبية، والطريقة المطلقة. تُشير مقارنة النتائج التجريبية مع النظرية للنشاط الإشعاعي للمنابع المشعة المستخدمة إلى تطابق جيد، وأفضل قيم تمّ الحصول عليها كانت بوساطة الطريقة المطلقة.

الكلمات المفتاحية: أشعة غاما، كاشف يوديد الصوديوم (NaI)، منحني المعايرة، قدرة الفصل الطيفية، منبع مشع، طريقة نسبية، طريقة مطلقة.

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

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

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

Analytical and experimental study of the mechanisms of computing and measuring the radioactivity of the radioactive sources

Dr. Jabbour Noufal Jabbour*

Dr. Haisam Ibrahim Jbeli**

Sara Ibrahim Aljmmal***

(Received 10 / 2 / 2014. Accepted 3 / 4 / 2014)

□ ABSTRACT □

In this work, we have used the basic techniques for measuring gamma rays. It is based on the use of a sodium iodide (NaI) detector with thallium activated (TI). We have obtained:

- The detector calibration NaI(Tl) and the resolution of the spectrometer.
- Measuring and determining the activity of a source can be done by using the relative, and the absolute method.

The results obtained show by the Comparison between the experimental and the theoretical (of the sources activities) a good agreement, and the best values obtained by the absolute method.

keywords: Gamma rays, sodium iodide (NaI) detector, energy curve, resolution spectrometer, source activity, relative method, absolute method.

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

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

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

مقدمة:

إن اكتشاف النظائر المشعة الذي تمّ تحقيقه نتيجةً لتحليل العلاقات الكيميائية بين نظائر العناصر المشعة وخواصها وفر الكثير من الأفكار والتقنيات الموجودة في الفيزياء النووية، ولتصبح بعد ذلك دراسة ظاهرة النشاط الإشعاعي ذات أهمية كبيرة في الفيزياء النووية. كما أدت دراسة إصدار أو انبعاث جسيمات أشعة ألفا (α) وبيتا (β) من بعض النوى لظهور فكرة أنّ الذرة تتكون من وحدات بناء أصغر، وبالتالي إلى وجود بنية محددة للذرة، وأدت دراسة تشتت جسيمات ألفا (α) بوساطة الذرات إلى ظهور فكرة وجود النواة الذرية التي تُعتبر أساسية بالنسبة للنظرية الذرية. ووجد أن قذف الذرات بجسيمات ألفا (α) سريعة مُنبعثَة من مادة مُشعة يُسبب تفكك النوى الذرية، وهذا أدى بدوره إلى اكتشاف النيوترون والنظرية الحالية لتركيب النواة.

يُعدُّ اكتشاف النشاط الإشعاعي التلقائي والاصطناعي بدايةً لطريق جديد في البحث العلمي أدى إلى تصنيع أو توليد مئات العناصر المشعة بطرق متعددة. وأهمية النشاط الإشعاعي تعتمد بدرجة كبيرة على القدرة على قياس التغيرات الإشعاعية بدقة عالية ووصفها كميًا بوساطة طرائق نظرية مباشرة. إن قوانين التغيرات الإشعاعية تمّ استنتاجها من معلومات عن العناصر ذات النشاط الإشعاعي التلقائي لكنها تسري أيضاً على العناصر الاصطناعية المشعة. وعليه يمكن تطبيق هذه القوانين على أي تحول نووي إشعاعي.

أدى الوجود المتزايد للنظائر المشعة بين أيدي الباحثين إلى وضع وسيلة فعالة لاستخدامها في العديد من المجالات العلمية والتطبيقية. ويرتبط استخدام المواد المشعة بالقدرة على قياسها، وتصنيفها وتحديد شدتها. ويتطلب ذلك استخدام أجهزة وتقنيات قياس تتنوع تبعاً للاستخدام المطلوب. ونحصل في النهاية على بيانات تجريبية مطلوب تحليلها ومعرفة العوامل المختلفة التي تؤثر على دقة تقدمها.

ويُعدّ تحديد الشدة الإشعاعية للنظير المشع من الأهمية بمكان، حيث تُستخدم هذه الشدة في تحديد الكميات الإشعاعية المختلفة من تعرض أو جرعة ممتصة أو مكافئ جرعة.

نهتم في هذا العمل، بالتعرف على الطرائق الأكثر استخداماً في العدّ النووي لتقدير النشاط الإشعاعي، ومن ثمّ المقارنة بين هذه الطرائق.

يتألف هذا العمل من الأجزاء الآتية:

- 1) وصف ومعايرة الأجهزة المستخدمة في هذا العمل.
- 2) حساب وقياس النشاط الإشعاعي لمنبع مُشع باستخدام الطريقة النسبية، والطريقة المطلقة، ومن ثمّ مقارنة هاتين الطريقتين مع بعضهما البعض.
- 3) مناقشة النتائج التي تمّ التوصل إليها، ومحاولة الخروج بنتيجة تسمح بتحديد الطريقة المثلى أو الأفضل لحساب وقياس النشاط الإشعاعي.

أهمية البحث وأهدافه:

إن الهدف الرئيس لهذا العمل التجريبي هو حساب وقياس النشاط الإشعاعي لمنبع مُشع (لفوتونات غاما γ) بالطرائق المعروفة والمُستخدمة في هذا المجال، ومن ثمّ مقارنة هذه الطرائق ببعضها البعض.

طرائق البحث ومواده:

إن الأجهزة والأدوات المستخدمة في هذا البحث هي:

1-المنابع المستخدمة موضحة في الجدول (1).

2-كاشف وميضي.

3-محلل متعدد الألفية.

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.

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

تم اختيار جهد قدره ($V = 640 \text{ Volts}$) وريح قدره (1) في معظم القياسات، وفي خلاف ذلك تتم الإشارة إلى

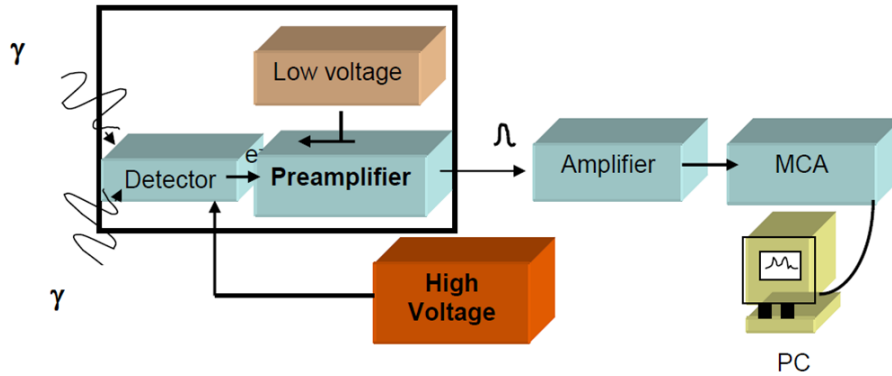
القيم المُستخدمة.

تُمكن معايرة الكاشف من إيجاد العلاقة التي تربط بين رقم القناة في المحلل المتعدد الألفية المستخدم في التجربة وطاقة الخط الطيفي للمنبع المدروس. يتكون المحلل MCA بشكل رئيس من ذاكرة ذات مواقع تخزين مقارها يساوي عدد قنوات الـ (MCA) (في حالتنا عدد القنوات 512 قناة)، حيث هذه القنوات مُرقمة من (0-512)، ويتم تخزين الحوادث (النبضات) في هذه القنوات حسب طاقة كل حادثة، فالحوادث التي لها نفس الطاقة تُخزن في نفس القناة. ويسمح البرنامج المُستخدم في معالجة المعطيات، والذي يُدعى، (CASSYLab) بالتمثيل البياني لعدد الحوادث (النبضات) بتابعية 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 [2,3].

جدول (1) : يُبين مواصفات المنابع 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	الأمريشيوم 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)

$3,24 \times 10^3$	30,17 y	20/7/2007	OX 841 Code:CDRB37 96	$3,7 \times 10^6$	السييزيوم Cs-137
ملاحظة: تم حساب النشاط الإشعاعي عند تاريخ القياس، أي في 20/9/2013 باستخدام العلاقة (1).					



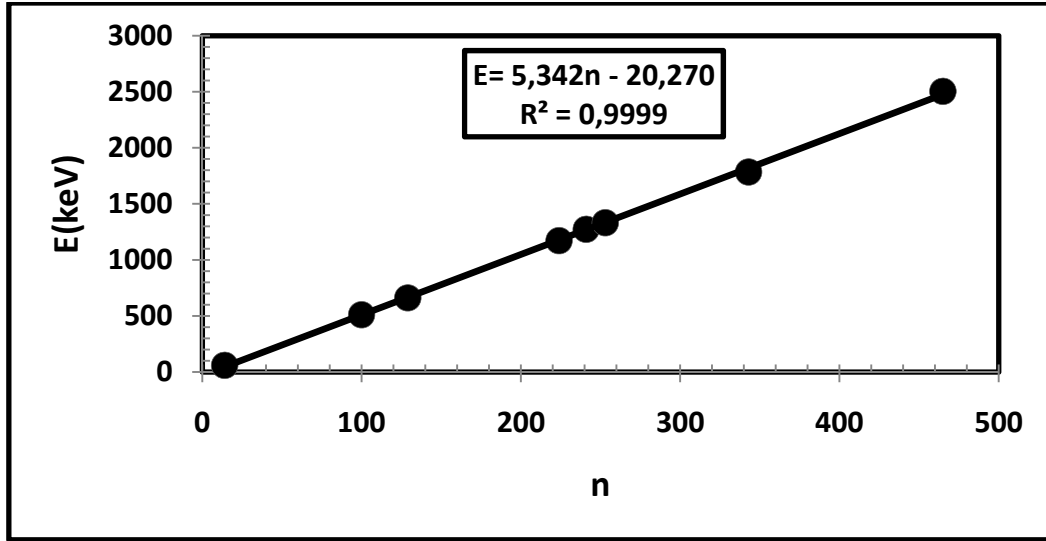
الشكل (1): مخطط صندوقي مبسط للدائرة المستخدمة في القياسات.

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)

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

جدول (2): يُبيّن 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، عامل الترابط $r^2 = 0,9999$.

تمت دراسة مقدرة الفصل 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):

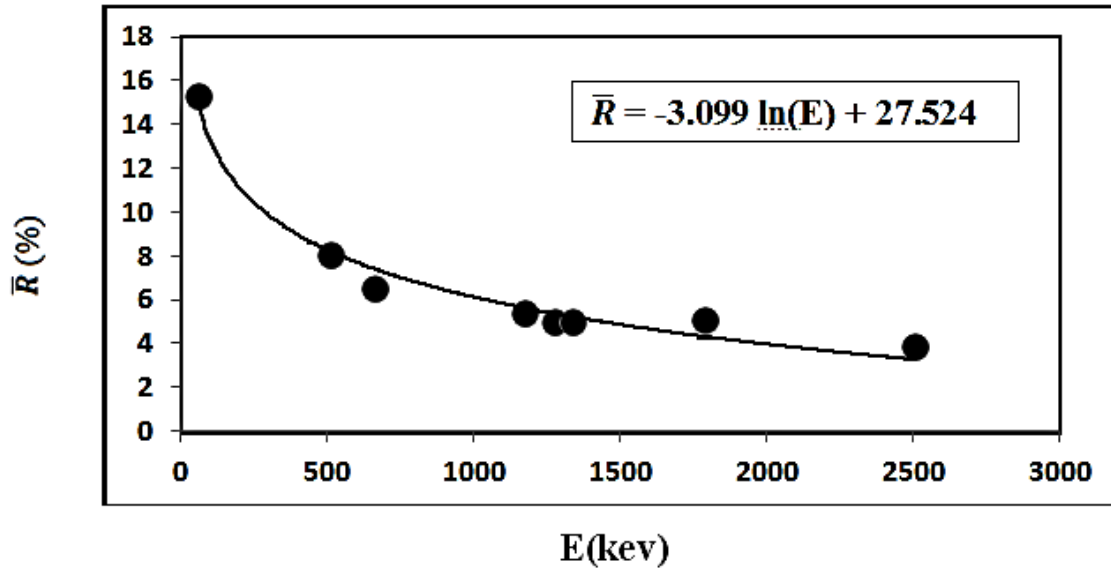
$$R = \frac{FWHM}{n_0} \times 100 = \frac{n_2 - n_1}{n_0} \times 100 = \frac{\Delta n}{n_0} \times 100$$

يُمثل $FWHM$ عرض الخط الطيفي في منتصفه. أُدرجت النتائج التي تم الحصول عليها وفقاً للعلاقة السابقة في الجدول (3). يبيّن الشكل (3) تغيرات مقدرة الفصل (R) بتابعية طاقة الخطوط الطيفية للمنابع المستخدمة، والذي يتضح منه أنّ (R) أفضل مع ازدياد طاقة الخطوط الطيفية، أي أنه كلما تناقصت القيمة العددية لـ (R)، ارتفعت قدرة الكاشف على فصل الخطوط الطيفية. نشير هنا إلى أن مقدرة الفصل لا تتعلق بالبعد (d) بين المنبع المُشع والكاشف.

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

الطاقة E(keV)	$\bar{R} \pm \Delta\bar{R}$ %	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 (3): يبيّن تغيّر مقدرة الفصل بتابعة طاقة الخطوط الطيفية للمنابع المشعة المستخدمة.

تمّ تعيين قيمة الجهد (640V) والريح (1) في هذا العمل (وفي خلاف ذلك تتم الإشارة إلى القيم المستخدمة)، ومعايرة الكاشف، و إيجاد العلاقة بين طاقة الخط الطيفي ورقم القناة، ويُمكننا الآن القيام بالقياسات التجريبية المتعلقة بالنشاط الإشعاعي للمنابع المشعة المستخدمة في هذا العمل.

النتائج والمناقشة:

1- حساب النشاط الإشعاعي:

1-1 حساب النشاط الإشعاعي نظرياً:

يُعرّف النشاط الإشعاعي لمصدر مُشع A بأنه معدّل التفكك للمادة المشعة، ويُقاس بعدد التفككات (disintegration) في الثانية الواحدة (d/s)، أي عدد النوى المشعة التي تتفكك في الثانية الواحدة. يُحسب النشاط الإشعاعي من العلاقة الآتية [4,5]:

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

وهذه العلاقة تسمح لنا بحساب النشاط الإشعاعي لمنبع مُشع (لعينة مُشعة) بمعرفة النشاط الإشعاعي للمنبع المُشع في تاريخ التصنيع A_0 ، دور النظرير المُشع T ، وزمن الانقضاء بين تاريخ التصنيع وتاريخ حساب النشاط الإشعاعي للمنبع t . وتم استخدام هذه العلاقة في حساب النشاط الإشعاعي للمنبع المستخدمة والمعطاة في الجدول رقم (1).

1-2- قياس النشاط الإشعاعي تجريبياً:

أولاً - الطريقة النسبية لقياس النشاط الإشعاعي لمنبع نقطي لأشعة غاما:

تم استخدام مجموعتين لهما نفس الشدة الإشعاعية. تمت جميع القياسات من أجل مسافة قدرها 5 سم بين المنبع المُشع وسطح الكاشف، ولمدة ربع ساعة (أي 900 ثانية) من أجل كل قياس. يوضح الجدولان (4) و (5) القيم التي تم الحصول عليها.

تُحسب الشدة الإشعاعية للمنبع المجهول A_2 من العلاقة الآتية:

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{\Sigma_2 - \Sigma_b}{\Sigma_1 - \Sigma_b} \rightarrow A_2 = A_1 \cdot \frac{\Sigma_2 - \Sigma_b}{\Sigma_1 - \Sigma_b}$$

إذ أن A_1 شدة المنبع المعلوم، A_2 شدة المنبع المجهول، Σ_1 مجموع الحوادث المسجلة في الخط الطيفي للمنبع المعلوم (1)، Σ_2 مجموع الحوادث المسجلة في الخط الطيفي للمنبع المجهول (2)، و Σ_b الخلفية الإشعاعية التي تم حسابها بالاعتماد على الآلية الموضحة في الشكل (4).

يُحسب الخطأ في قياس الشدة الإشعاعية بالعلاقة الآتية:

$$\Delta A_2 = A_2 \left[\left(\frac{\Delta \Sigma_2}{\Sigma_2} \right) + \left(\frac{\Delta \Sigma_1}{\Sigma_1} \right) + 2 \left(\frac{\Delta \Sigma_b}{\Sigma_b} \right) \right]$$

أو:

$$\Delta A_2 = A_2 \left[\left(\frac{\sqrt{\Sigma_2}}{\Sigma_2} \right) + \left(\frac{\sqrt{\Sigma_1}}{\Sigma_1} \right) + 2 \left(\frac{\sqrt{\Sigma_b}}{\Sigma_b} \right) \right]$$

جدول (4): المجموعة الأولى: تم اعتبار هذه المجموعة معلومة.

المنبع المشع	الرقم المرجعي	A_1 (kBq)	الطاقة E(keV)	Σ_1	Σ_b
Am-241	PH 569 Nds.002/99	73,31	60	395342	1983
Na-22	PH 364 Nds.002/99	15,73	511	186442	932
			1274	28212	200
Co-60	PU 472 Nds.002/99	34,46	1173	57663	345
			1332	55110	241
Mixed Nuclide Cs-137	PG 529 Nds.002/99	291,38	662	678937	863

جدول (5): المجموعة الثانية: تم اعتبار هذه المجموعة مجهولة.

المنبع المشع	الرقم المرجعي	A_2 (kBq)	الطاقة $E(\text{keV})$	Σ_2	Σ_b	$A_2 \pm \Delta A_2$ (kBq)
Am-241	PH 570 Nds.002/99	73,31	60	387734	1983	$71,89 \pm 3,46$
Na-22	PH 605 Nds.002/99	15,73	511	187588	932	$15,83 \pm 1,11$
			1274	28606	200	$15,95 \pm 2,44$
Co-60	PU 473 Nds.002/99	34,46	1173	56784	345	$33,93 \pm 3,94$
			1332	55544	241	$34,73 \pm 4,77$
Mixed Nuclide Cs-137	PG 530 Nds.002/99	291,38	662	680387	863	$292,00 \pm 20,59$

يتراوح الخطأ المرتكب في القياس في هذه الطريقة بين % (4-15).

ثانياً - الطريقة المطلقة لقياس النشاط الإشعاعي لمنبع نقطي لأشعة غاما:

يُعطى النشاط الإشعاعي A لمنبع مُسح مجهول (أو لعينة مُسحعة مجهولة) بالعلاقة الآتية [16-6]:

$$A = \frac{R(E)}{\varepsilon_t(E).B} = \left(\frac{\sum N_p(E) - \sum N_b(E)}{t} \right) \frac{1}{\varepsilon_g \cdot \varepsilon_{int}(E) \cdot f_\gamma(E)} \quad (2)$$

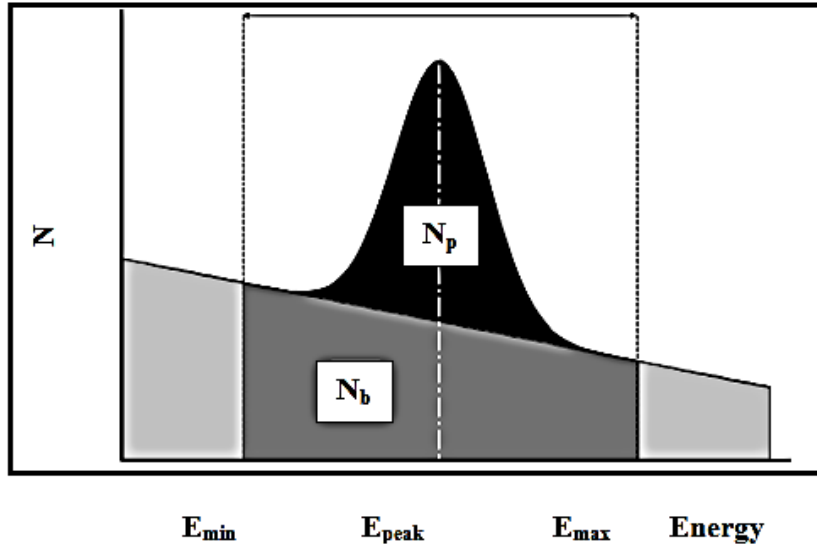
إذ أن:

$$R(E) = \left(\frac{\sum N_p(E) - \sum N_b(E)}{t} \right)$$

يُمثل معدّل العدّ للفوتونات (عدد الفوتونات بوحدة الزمن)؛ إذ أن $\sum N_p(E)$ المجموع الكلي للحوادث تحت الذروة (المحتواة ضمن الخط الطيفي - Peak) للمنبع المُسح المجهول، $\sum N_b(E)$ المجموع الكلي للحوادث تحت الذروة (المحتواة ضمن الخط الطيفي) المرافق للخلفية الإشعاعية (الإشعاع الخلفي - Background)، انظر الشكل (4)، t زمن القياس بالثواني، و:

$$\varepsilon_t(E) = \varepsilon_g \cdot \varepsilon_{int}(E) \quad (3)$$

إذ أن: ε_g الكفاءة الهندسية (Geometrical efficiency) للكاشف، و $\varepsilon_{int}(E)$ الكفاءة الذاتية للخط الطيفي (Peak intrinsic efficiency)، ويُطلق على $\varepsilon_t(E)$ اسم الكفاءة الكلية أو المطلقة للخط الطيفي أو للذروة.



الشكل (4): يوضح آلية حساب التشويش الخلفي لخط طيفي مُعزّل، $(N_t = N_p + N_b)$.

إن $B = f_{\gamma}(E)$ هو مُعامل يربط بين معدّل إصدار الجسيمات (أو الكمات بالنسبة لأشعة غاما، أي فوتونات غاما) لنوع معين من الإشعاع، ومعدّل التفكك لنفس النوع من نفس المنبع المُشع (نسبة تفرع)، و ϵ_f هو مُعامل يعتمد على ظروف التجربة ويُعرّف بمعامل الكشف، أو معامل المعايرة، أو مُعامل الكفاءة، أو مُعامل الفعالية، أو مُعامل المرود. بعبارة أخرى، يُحدّد النشاط الإشعاعي تجريبياً بتسجيل (بقياس) معدّل العدّ R (عدد الفوتونات المُسجلة بوحدة الزمن) الناتجة عن نوع معين من الإشعاع مع نسبة تفرع B [4,17].

إن الكفاءة الذاتية للخط الطيفي $\epsilon_{int}(E)$ ، والكفاءة الهندسية ϵ_g يؤثران على تقدير النشاط الإشعاعي للمنبع المشع المُراد قياس نشاطه الإشعاعي. ولهذه الغاية لا بدّ من إعطاء فكرة مُفصلة وواضحة عن هذين المُعاملين، وعن كيفية حسابهما وقياسهما، وعن علاقتهما بمفهوم كفاءة الكاشف.

1- كفاءة الكاشف: D_e - Detector Efficiency

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 عن المنبع المُشع N ، وكمية الإشعاعات المُقاسة (المُسجلة) بوساطة الكاشف D في وحدة الزمن (معدّل عدّ)، وتُعرّف بالعلاقة الآتية:

$$D_e = \frac{D}{N}$$

ويمكن استخدام كفاءة الكاشف لحساب معدّل العدّ المُتوقع في الكاشف إذا كانت شدّة المنبع المُشع معلومة، أو حساب شدّة المنبع المُشع 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 للكاشفوتشير إلى مقدار اعتراض الكاشف للأشعة الصادرة عن المنبع، وهذا يتعلق بشكل كبير بحجم الكاشف وبالمسافة التي بين الكاشف والمنبع.

3- الكفاءة الذاتية للكاشف وتشير إلى مقدرة الكاشف على امتصاص الأشعة الواردة عليه وتحويلها إلى إشارة كيميائية مفيدة تخرج من الكاشف. كما تتعلق بشكل أولي بسماعة الكاشف وتركيبه وبنوع الأشعة المراد كشفها وطاقتها.

4- كفاءة تسجيل الإشارة الخارجة من الكاشف بواسطة جملة العدّ. وهذا عامل مهم في عدّ طاقة محدّدة حيث يستخدم محلل ارتفاع النبضة لتحديد العدّ فقط للإشارات الخارجة من الكاشف التي هي ضمن مجال من السعة (الطاقة) المطلوبة.

نشير هنا إلى أن الفوتونات ذات الطاقة المنخفضة تُمتص من قبل الكاشف بسبب المفعول الكهرضوئي [18-23]، إذ أن المفعول الكهرضوئي هو المسيطر من أجل فوتونات ذات طاقة تقع في المجال (0-100)keV. وعند طاقة أكبر من 100keV يبدأ مفعول كومبتون بالظهور، ومن ثم يصبح أكثر أهمية مع ازدياد الطاقة؛ وعند طاقة أكبر من 2MeV، يبدأ ظهور مفعول إنتاج أو توليد الأزواج.

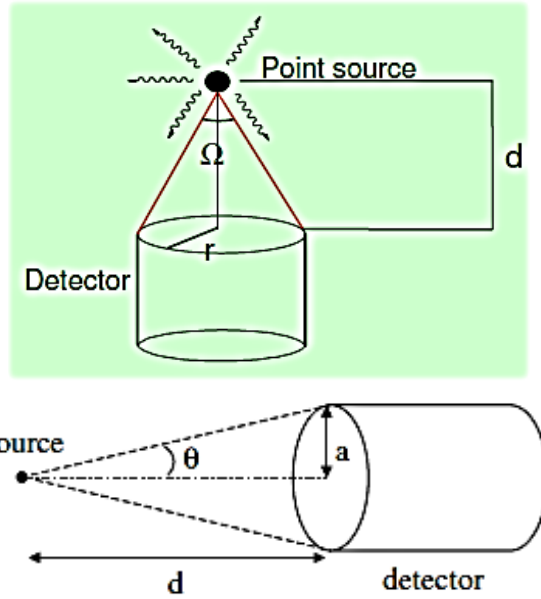
إذن كما هو واضح من العلاقة (3)، لحساب الكفاءة الكلية أو المطلقة لا بد من معرفة الكفاءة الذاتية والكفاءة الهندسية.

1-1- 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 المُنبعث أو الصادر من المنبع. ومن المعروف أن الإشعاعات الصادرة عن المنبع المُشع موحدة الخواص أي ذات شدة واحدة في جميع الاتجاهات، بينما تكون الكواشف الفعلية ذات أبعاد محدودة هندسياً. هذا يعني أن ما يصل للكاشف من إشعاع هو ذلك المُنبعث في اتجاه الحيز الحساس للكاشف دون أي اتجاه آخر. فعند مسافة d من المنبع النقطة⁽¹⁾ الذي يصدر أشعة غاما γ تكون الأشعة الصادرة قد مرّت خلال سطح كروي تخيلي مساحته $4\pi R^2$.

لحساب ε_g يُستخدم مفهوم الزاوية المجسمة Ω ويُعرّف كالآتي، انظر الشكل (5).

(1) نقول عن منبع أنه نقطي عندما تكون المسافة عن المنبع على الأقل أكبر بخمس مرات من قطر المنبع. وعادة، في حالات المنابع النقطية، فإن معدّل العدّ يتناسب عكساً مع مربع المسافة، أي المسافة بين المنبع وسطح الكاشف.



الشكل (5): الوضع الهندسي للمنبع النقطي (point source)

بالنسبة للكاشف (detector)، (r = a) نصف قطر الكاشف، و d بعد المنبع عن سطح الكاشف.

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

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

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

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

وتفترض هذه العلاقة بأن المسافة بين الكاشف والمنبع النقطي كبيرة بالمقارنة مع قطر المنبع (انظر الحاشية رقم 1). وتكون هذه المعادلة غير صحيحة عند المسافات الصغيرة، فمثلاً عندما $(R \rightarrow 0)$ أي أن $(d \rightarrow 0)$ ينتج لدينا $(\varepsilon_g \rightarrow \infty)$.

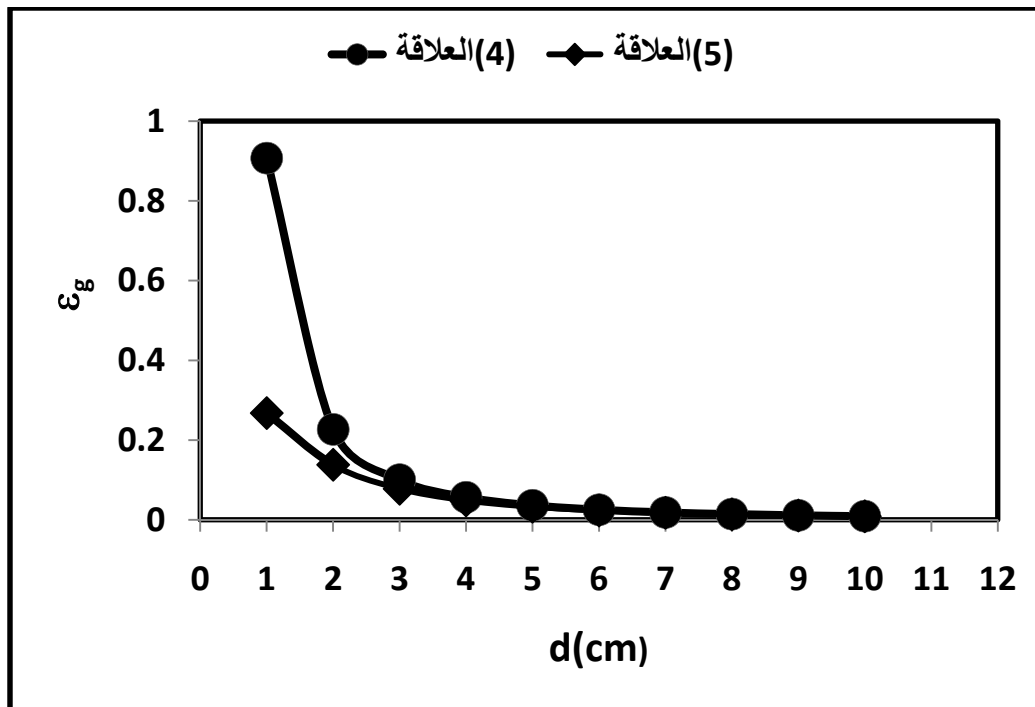
إن المعادلة المطبقة عند المسافات الصغيرة تُعطي بالعلاقة الآتية، انظر الشكل (5):

$$\begin{aligned} \varepsilon_g &= \frac{1}{4\pi} \int d\Omega \\ \Delta\Omega &= \int_0^{2\pi} d\phi \int_{\cos\theta}^1 d(\cos\theta') = 2\pi(1 - \cos\theta) \\ \tan\theta &= \frac{a}{d} \quad \& \quad \cos\theta = \frac{1}{\sqrt{\tan^2\theta + 1}} = \frac{d}{\sqrt{a^2 + d^2}} \\ \varepsilon_g &= \frac{\Delta\Omega}{4\pi} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{d}{\sqrt{a^2 + d^2}}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

تمّ حساب الكفاءة الهندسية ε_g للكاشف المستخدم في هذا العمل، والذي نصف قطره $r = 1,905\text{cm}$ انطلاقاً من العلاقتين (4) و (5)، والنتائج التي تم الحصول عليها موضحة في الجدول (6) وفي الشكل (6). نلاحظ الفرق بين العلاقتين من أجل القيم الصغيرة للمسافة بين المنبع والكاشف.

جدول (6): مقارنة بين قيم الكفاءة الهندسية انطلاقاً من العلاقتين (4) و (5).

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 (6): تغيّر الكفاءة الهندسية ε_g بتابعية البعد d بين المنبع المُشع والكاشف.

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

1-b-الكفاءة الذاتية: Intrinsic Efficiency

يُطلق عليها أيضاً اسم كفاءة الذروة أو كفاءة الخط الطيفي (Peak efficiency)، وهي نسبة عدد الحوادث الكلية 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 المُصنَع منها... إلخ)، وبالعكس، وبالبعيد بين المنبع المُشع والكاشف، واعتماداً على العلاقتين (2) و (3) نكتب:

$$\varepsilon_{int}(E) = \left(\frac{\sum N_p(E) - \sum N_b(E)}{t} \right) \frac{1}{A \cdot \varepsilon_g \cdot f_\gamma(E)} \quad (6)$$

حيث:

$$\varepsilon_t(E) = \varepsilon_g \cdot \varepsilon_{int}(E)$$

$$\varepsilon_{int}(E) = \frac{N_p(E)}{N_t(E)}$$

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

$$\varepsilon_{int}(E) = \frac{N_p(E)}{N_t(E)} = \frac{N_p(E)}{A \cdot f_\gamma}$$

إذ أن A شدة المنبع المُشع المستخدم، و f_γ (نسبة التفرع)، انظر الجدول (7)، مُعامل يربط بين معدّل تحرر (أو انطلاق) الجسيمات (أو الكمات بالنسبة لأشعة غاما، أي فوتونات غاما) لنوع معين من الإشعاع، ومعدّل التفكك لنفس النوع من نفس المنبع المُشع.

جدول (7): يوضّح نسب التفرع [24,25].

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

إذن كما هو واضح من العلاقتين (2) و (6)، لحساب النشاط الإشعاعي لمنبع مُشع بالطريقة المُطلقة يلزمنا معرفة كل من:

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

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

3-الكفاءة الهندسية، و تم حسابه سابقاً، ومُعطى في الجدول (6).

4-الكفاءة الذاتية للخط الطيفي، وهذا يتعلق بمواصفات الكاشف المستخدم في القياس. ولهذه الغاية استعنا بقيم محسوبة سابقاً من أجل كاشف مماثل للكاشف الذي استخدمناه في هذا العمل (أبعاده: 3,81cm×3,81cm، أو 1,5inch×1,5inch)، وذلك من أجل مسافة مُحددة بين الكاشف والمنبع المشع: مسافة قدرها (9,3cm) مع كفاءة مطلقة أو كلية [26]، ومسافة قدرها (10cm) مع كفاءة ذاتية [16]، وهذه القيم موضحة في الجدول (8) من أجل المنابع الآتية: صوديوم-22، سيزيوم-137، وكوبالت-60.

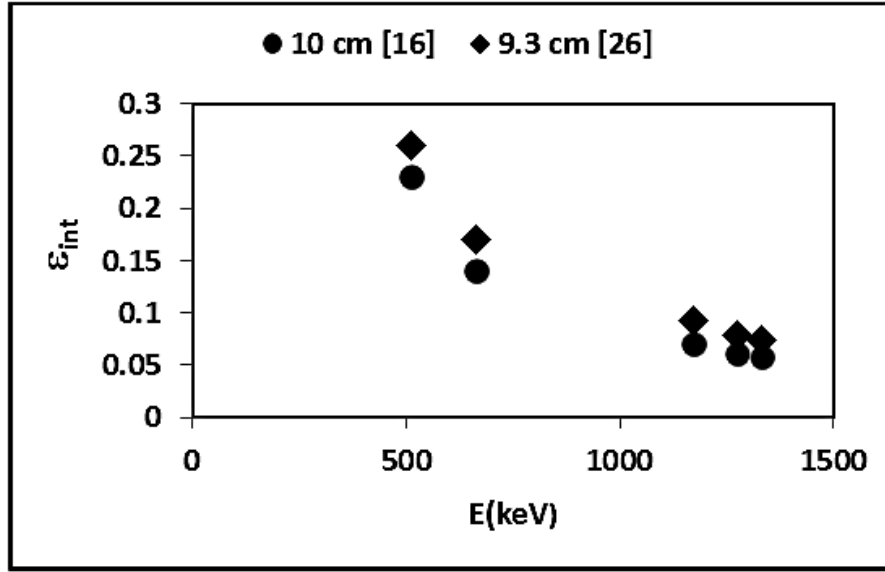
نشير أيضاً إلى أن الخطأ الإحصائي المرتكب في حساب الشدة الإشعاعية بالطريقة المطلقة مُعطى بالعلاقة الآتية، انظر العلاقتان (2) و (6):

$$\Delta A = A \left[\left(\frac{\Delta \sum N_p(E)}{\sum N_p(E)} \right) + \left(\frac{\Delta \sum N_b(E)}{\sum N_b(E)} \right) \right]$$

$$\Delta A = A \left[\left(\frac{\sqrt{\sum N_p(E)}}{\sum N_p(E)} \right) + \left(\frac{\sqrt{\sum N_b(E)}}{\sum N_b(E)} \right) \right]$$

جدول (8): يُبين الكفاءة المطلقة الكلية [26] والكفاءة الذاتية [16]. نشير هنا إلى أنه تم استنتاج الكفاءة الذاتية من الكفاءة المطلقة [26] باعتبار أن الكفاءة الهندسية من أجل مسافة قدرها (9.3cm) تساوي تقريباً 0,0108، انظر الجدول (6).

المنبع المُشع	الطاقة E(keV)	نسبة التفرع f_γ	الكفاءة الذاتية $\epsilon_{int}(E)$ (10cm) [16]	(9.3cm) [26]	
				الكفاءة المطلقة ϵ_t	الكفاءة الذاتية $\epsilon_{int}(E)$
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 المشع والكاشف.

تُعطى في الجدول (9) قيم النشاط الإشعاعي للمصادر المذكورة سابقاً بالطريقة المطلقة.

جدول (9): قيم النشاط الإشعاعي المحسوبة بالطريقة المطلقة، وذلك من أجل مسافة قدرها $d = 9,3\text{cm}$ بين المنبع المشع والكاشف، وزمن عد قدره $t = 900\text{ s}$. علماً أن الكفاءة الهندسية من أجل مسافة قدرها $(9,3\text{cm})$ تساوي $0,0108$. انظر الجدول (6). تم حساب A_c من العلاقة (1)، بينما القيم التجريبية A_e . تم حسابها من العلاقة (2).

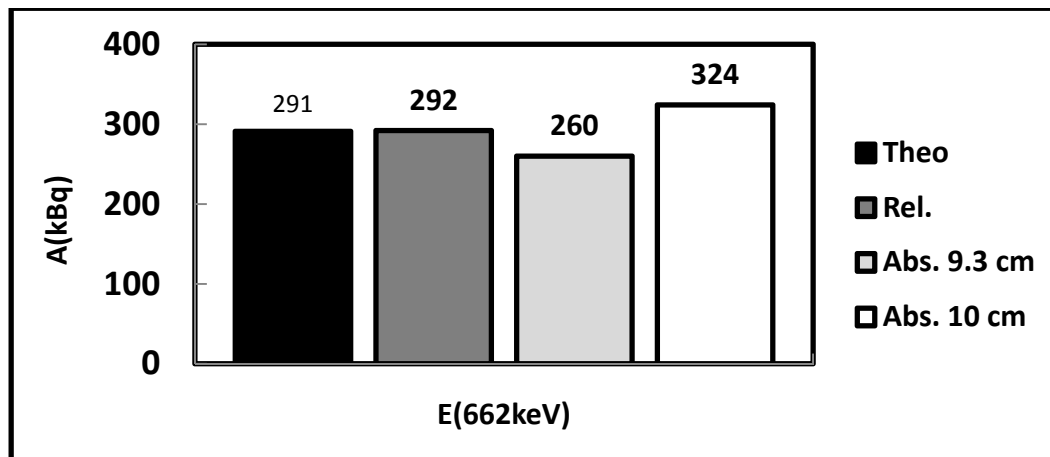
المنبع المشع	A_c (kBq)	الطاقة $E(\text{keV})$	نسبة النفرع f_γ	كفاءة مطلقة [26]	$\sum N_p$	$\sum N_b$	A_e (kBq)
Na-22	15,73	511	1,80	0,0028	81006	525	$17,86 \pm 0,84$
		1274	1,00	0,0009	12390	442	$15,30 \pm 0,86$
Co-60	34,46	1173	1,00	0,0010	25319	495	$28,13 \pm 1,44$
		1332	1,00	0,0008	23968	400	$33,29 \pm 1,88$
Mixed Nuclide Cs-137	291,38	662	0,85	0,0017	337921	770	$259,84 \pm 9,81$

جدول (10): قيم النشاط الإشعاعي المحسوبة بالطريقة المطلقة، وذلك من أجل مسافة قدرها $d = 10\text{cm}$ بين المنبع المشع والكاشف، وزمن عد قدره $t = 900\text{ s}$. علماً أن الكفاءة الهندسية من أجل مسافة قدرها (10cm) تساوي 0,0088، انظر الجدول (6). تم حساب A_c من العلاقة (1)، بينما القيم التجريبية A_e . تم حسابها من العلاقة (2).

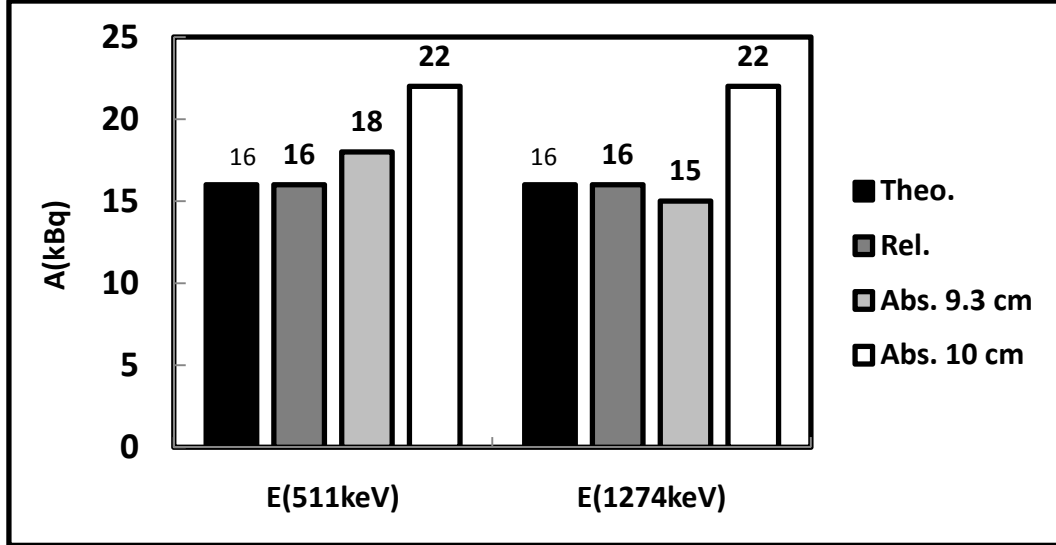
المنبع المشع	A_c (kBq)	الطاقة $E(\text{keV})$	نسبة التفرع f_γ	كفاءة ذاتية [23]	$\sum N_p$	$\sum N_b$	A_e (kBq)
Na-22	15,73	511	1,80	0,2300	73309	525	$22,36 \pm 1,06$
		1274	1,00	0,0620	11199	442	$22,18 \pm 1,26$
Co-60	34,46	1173	1,00	0,0700	23135	495	$41,73 \pm 2,15$
		1332	1,00	0,0590	21609	400	$46,24 \pm 2,63$
Mixed Nuclide Cs-137	291,38	662	0,85	0,1400	305872	770	$324,39 \pm 12,28$

يتراوح الخطأ المرتكب في القياس في هذه الطريقة بين (4-6%).

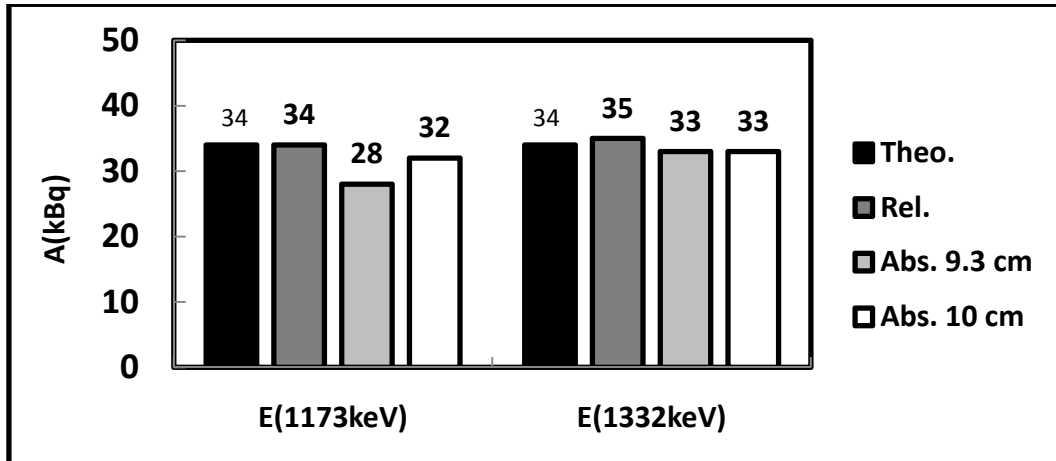
ثالثاً - مقارنة الشدات الإشعاعية التي تم الحصول عليها بالطرائق الثلاث المذكورة سابقاً: (نظرياً - Theo.) (العلاقة 1)، (طريقة نسبية - Rel.)، (طريقة مطلقة - Abs.)



الشكل (13): يُمثل مقارنة بين الشدات الإشعاعية التي تم الحصول عليها بالطرائق الثلاث المذكورة سابقاً لمنبع السيزيوم-137. (نظرياً - Theo.)، (طريقة نسبية - Rel.)، (طريقة مطلقة - Abs.).



الشكل (14): يُمثل مقارنة بين الشدات الإشعاعية التي تم الحصول عليها بالطرائق الثلاث المذكورة سابقاً لمنبع الصوديوم-22. (نظرياً - Theo.)، (طريقة نسبية - Rel.)، (طريقة مُطلقة - Abs.).



الشكل (15): يُمثل مقارنة بين الشدات الإشعاعية التي تم الحصول عليها بالطرائق الثلاث المذكورة سابقاً لمنبع الكوبالت-60. (نظرياً - Theo.)، (طريقة نسبية - Rel.)، (طريقة مُطلقة - Abs.).

الاستنتاجات والتوصيات:

استناداً إلى هذا العمل التجريبي، تمت معايرة الأجهزة المُستخدمة (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 بتأبعية البعد بين المنبع المُشع والكاشف، والنتائج التي تم الحصول عليها تبين أن مقدرة الفصل تتناقص مع ازدياد طاقة الخطوط الطيفية.

تمّ قياس الشدة الإشعاعية للمنبع المشعة المُستخدمة في هذا العمل باستخدام طريقتين:

1- الطريقة النسبية.

2- الطريقة المُطلقة.

والنتائج التي تم الحصول عليها تشير إلى أن:

1- الخطأ النسبي المرتكب في الطريقة النسبية يتراوح ما بين (4-15)%.

2- الخطأ النسبي المرتكب في الطريقة المطلقة يتراوح ما بين (4-6)%.

وهذا يعني أن الطريقة المطلقة تُعطي أفضل النتائج إذا أخذنا بالحسبان الخطأ النسبي المرتكب في القياس. يُعدّ هذا العمل أساساً في فهم آلية قياس النشاط الإشعاعي للمصادر المشعة، إذ يمكن التوصية باستخدام منابع أخرى، وكواشف أخرى ذات أبعاد هندسية مختلفة عما هو مُستخدم في هذا العمل، مع تغيير المسافات الفاصلة بين المنبع المُشع والكاشف لأن ذلك يلعب دوراً كبيراً في قيمة النشاط المُستنتجة.

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*. Accepted for publication in Tishreen University Journal, 2011.
- [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] W. E. Meyerhof, *Éléments de Physique Nucléaire*, Dunod Université, Paris, 1970, Chap. 4, 123-130.
- [5] Luc Valentin, *Physique subatomique: Noyaux et Particules*. Enseignement des sciences. Hermann, Paris, 1975, Chap. III, 123-124.
- [6] Knoll G F 2000 Radiation Detection and Measurement 3rd edition (New York: Wiley)
- [7] L. Peralta, Measuring the Activity of a Radioactive Source in the Classroom, *European Journal of Physics*, 25(2004) 211-219.
- [8] K. Krane, *Introductory Nuclear Physics* (New York: Wiley), 1988.
- [9] W. R. Leo, *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments* (Berlin: Springer), 1987.
- [10] P. Quittner, *Gamma Ray Spectroscopy*, Halsted Press, New York, 1972.
- [11] H. L. Andrews, *Radiation Biophysics*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1974.
- [12] V. Arena, *Ionizing Radiation and Life*, The C. V. Mosby Co., St. Louis, Montreal, 1971.
- [13] W. Mann and S. Garfinkel, *Radioactivity and Its Measurement*, Van Nostrand-Reinhold, New York, 1966.
- [14] C. M. Lederer, J. M. Hollander, and I. Perlman, *Table of the Isotopes*, 6th ed., Wiley, New York, 1967.
- [15] 14th Scintillation and Semiconductor Counter Symposium, *IEEE Trans. Nucl. Sci. Ns-22*(1), 1975.
- [16] ORTEC Application Note. An 34, *Experiments in Nuclear Sciences*, 2013, Published by ORTEC, Experiment 3, *Gamma-Ray Spectroscopy Using NaI(Tl)*, 1-20. www.ortec-online.com.
- [17] R. D. Evans : *Lenoyauatomique*, Dunod Université, Paris 1961.
- [18] H. Enge, *Introduction à la physique nucléaire*, Paris, Masson, 1972 (chapitre IX).
- [19] E. Fermi, *Nuclear Physics*. University of Chicago Press, 1960 (chapitre II).

- [20] N. F. Mott et H. S. Massey, *Theory of atomic collisions*. Oxford, Pergamon Press, 1954, 314-325.
- [21] D. M. Riston, *Techniques of high energy physics*. New York, John Wiley, 1963, 513-533.
- [22] R. A. Dunlap, *Experimental Physics: Modern Methods*, New York: Oxford University Press, 1988. (QC33 .D86 1988) Chapters 11 and 12.
- [23] 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.
- [24] Efficiency Calculations for Selected Scintillators, Saint-Gobain Crystals, 2004-8. www.detectors.saint-gobain.com.
- [25] 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>
- [26] Dr. 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