مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية – سلسلة العلوم الأساسية المجلد (35) العدد (2) 2013
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (35) No. (2) 2013

دراسة المقطع العرضي التفاضلي لانتثار كومبتون

الدكتور جبور نوفل جبور *
الدكتور جهاد كامل ملحم **
سهى وهيب ياسين ***

(تاريخ الإيداع 22 / 4 / 2013. قُبِل للنشر في 25 / 6 /2013)

□ ملخّص □

تمَّ في هذا العمل، دراسة انتثار (تبعثر) كومبتون باستخدام أشعة غاما (فوتونات) بطاقة (662 keV)، الصادرة عن منبع مُشع من السيزيوم–137 (^{137}Cs) شدته ($3{,}33\times10^{5}$ Bq)، المتبعثرة على قضيب من الألمنيوم (المُبعثر كناثر). تمَّ أيضاً قياس المقطع العرضي التفاضلي ومن ثمَّ مقارنة النتائج التجريبية بالنتائج النظرية للمقطع العرضي التفاضلي التي تمَّ حسابها باستخدام علاقة كلين–نيشينا.

الكلمات المفتاحية: مفعول كومبتون، أشعة غاما، كاشف وميضي، انحفاظ الطاقة، المقطع العرضي التفاضلي.

* 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.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية – سلسلة العلوم الأساسية المجلد (35) العدد (2) 2013
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (35) No. (2) 2013

Study of Differential Cross Section for Compton Scattering

Dr. Jabbour Nofal Jabbour*
Dr. Jehad Kamel Mulhem**
Souha Wahib Yassin***

(Received 22 / 4 / 2013. Accepted 25 / 6 /2013)

□ ABSTRACT □

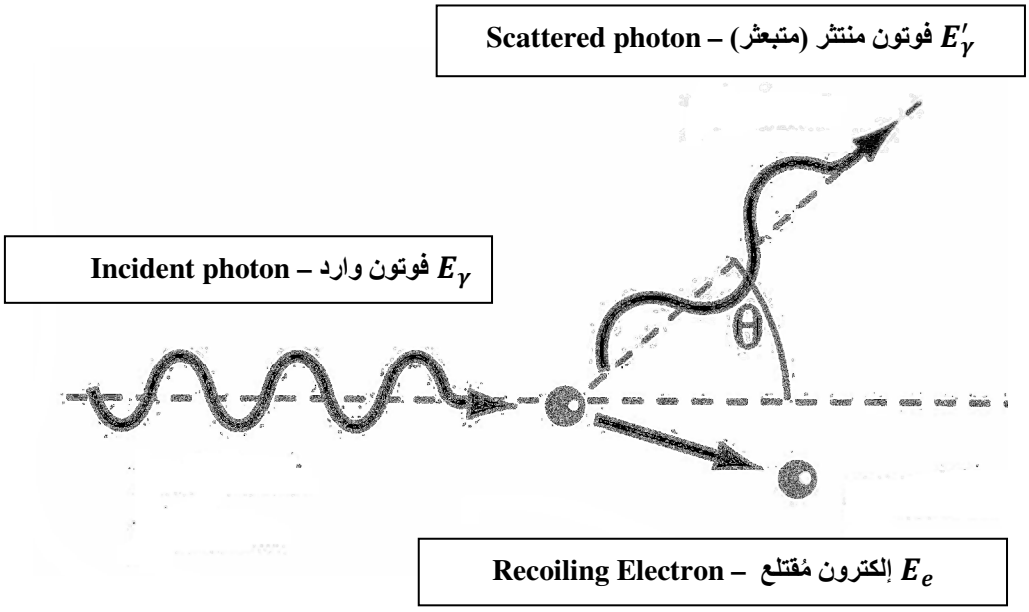
In this work, it has been studied Compton Effect using the 662 keV gamma rays from a radioactive source of cesium-137 (^{137}Cs) intensity (3.33×10^5 Bq) on Aluminum rod (who plays scatter). It has been measured the differential cross section, and the experimental values of differential cross section compared with theoretical values given by Klein - Nishina equation.

Key words: Compton Effect, gamma radiation, scintillation detector, energy conservation, differential cross section.

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

مقدمة:

عند تصادم فوتون مع إلكترون (مفعول كومبتون) فإن الفوتون يتبعثر (ينتثر) بزاوية θ، الشكل (1)، فإن تطبيق قانون انحفاظ الطاقة وكمية الحركة على الجملة المؤلفة من الفوتون والإلكترون يسمح لنا بحساب طاقة الإلكترون المقتلع من مداره E_e [1-9]:



شكل (1): اصطدام فوتون بإلكترون.

$$E_e = E_\gamma - E'_\gamma = \frac{E_\gamma^2(1-cos\theta)}{m_0c^2+E_\gamma(1-cos\theta)}$$

أو:

$$E'_\gamma \cong \frac{E_\gamma}{1+\frac{E_\gamma}{m_0c^2}(1-cos\theta)}$$

ومن أجل:

$$\theta = 0^o \Longrightarrow E'_\gamma = E_\gamma$$

حيث E_γ طاقة الفوتون قبل التبعثر، E'_γ طاقة الفوتون المتبعثر، c سرعة الضوء، θ زاوية التبعثر، و m_0 كتلة الإلكترون في حالة السكون، حيث إن:

$$m_0c^2 = 511\ keV = 0.511\ MeV$$

إن احتمال تبعثر الفوتون بزاوية مقدارها θ يتناسب مع كمية تُدعى المقطع العرضي التفاضلي $d\sigma(\theta)/d\Omega$.

إن الوصف النظري للمقطع العرضي الفتاضلي لتبعثر كومبتون تم اقتراحه أولاً من قبل كل من كلاين Klein ونيشينا Nishina [10، 11]. تُعطى العلاقة الرياضية للمقطع العرضي التفاضلي بالمعادلة التالية:

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{theory} = \frac{r_0^2}{2}\left\{\frac{1+cos^2\theta}{[(1+\alpha(1-cos\theta)]^2}\right\} \times \left\{1+\frac{\alpha^2(1-cos\theta)^2}{[1+cos^2\theta]\ \ [(1+\alpha(1-cos\theta)]}\right\}, \left(\frac{cm^2}{sr}\right) \quad (1)$$

حيث:

$$r_0 = 2.82 \times 10^{-13} cm$$

نصف قطر الإلكترون كلاسيكياً، و:

$$\alpha = \frac{E_\gamma}{m_0 c^2} = \frac{0.662\ MeV}{0.511\ MeV} = 1.29$$

من أجل نظير السيزيوم−137 (^{137}Cs)، حيث E_γ طاقة أشعة غاما الصادرة عن المنبع المشع (^{137}Cs)، m_0 كتلة الإلكترون في حالة السكون، c سرعة الضوء، $d\Omega$ قياس الزاوية الصلبة مقدرة بالستيراديان (sterardians ≡ sr)، و θ زاوية التبعثر.

سوف نتحقق من صحة العلاقة (1) تجريباً، وهذا هو الهدف الرئيس من هذا العمل التجريبي.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في القياس التجريبي للمقطع العرضي التفاضلي لانتثار كومبتون ثمَّ مقارنة النتائج التجريبية مع النتائج النظرية التي تُعطيها العلاقة (1).

طرائق البحث ومواده:

إن الأجهزة والأدوات المستخدمة في هذا البحث هي:

1- المنابع المستخدمة موضحة في الجدول (1):

جدول (1): يبين المنابع المستخدمة في هذا العمل.

اسم المنبع	النشاط الإشعاعي	الرقم المرجعي Code No.	تاريخ التصنيع
السيزيوم−137 ^{137}Cs	$3{,}7.10^6$ Bq	CDRB 3796	20/12/2007
السيزيوم−137 ^{137}Cs	333.10^3 Bq	PG 530	20/12/2007
الأمريسيوم − 241 ^{241}Am	$4{,}44.10^3$ Bq	PG 530	20/12/2007
الصوديوم − 22 ^{22}Na	74.10^3 Bq	PW 605	20/12/2007

2- مجموعة كومبتون.

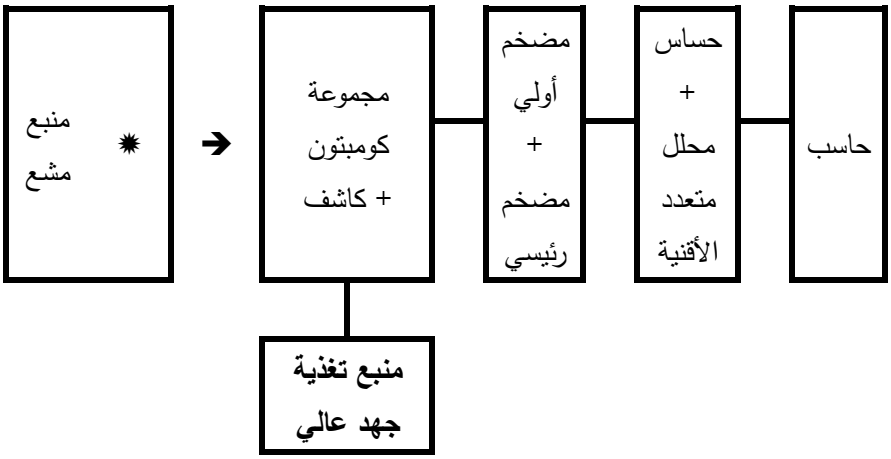
3- كاشف وميضي.

4- محلل متعدد الأقنية.

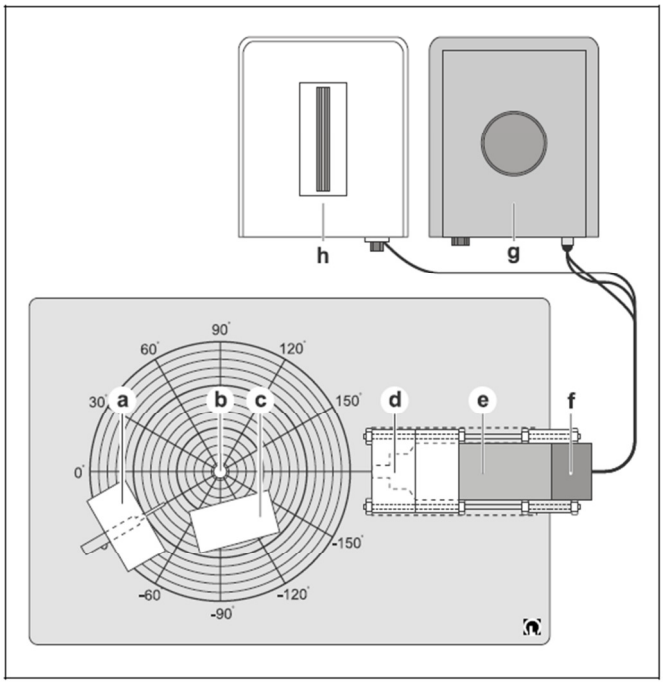
5- حاسوب مُجهز ببرنامج (يُدعى CASSY) لمعالجة القياسات.

ملاحظة: جميع هذه الأجهزة من شركة *LEYBOLD* الألمانية [12]، وهي موجودة في مخبر الفيزياء النووية (قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة تشرين)، حيث تمَّ إنجاز هذا البحث.

نوضح على الشكل (2) مخططاً مبسطاً للدارة المستخدمة في القياسات.



الشكل (2): مخطط مبسط للدارة المستخدمة في القياسات.



شكل (3): مجموعة كومبتون + كاشف (بلورة يود الصوديوم المشوبة بالتاليوم) محمي بغلاف من الرصاص. (a) المنبع المشع، (b) ناثر من الألمنيوم، (c) حاجز لمنع وصول الفوتونات بشكل مباشر إلى الكاشف، (d) (d, e, f) الكاشف الذي يوصل بحساس (e) لمحلل متعدد الأقنية حيث يتم خروج الإشارة عن طريق الجزء (f)، ومن ثم برنامج لتحليل الحوادث التي يتم كشفها (g). و (h) منبع تغذية جهد عالي لتغذية الكاشف.

النتائج والمناقشة:

1- قياس وتحديد الجهد الأفضل والربح الأفضل لعمل العداد الوميضي:

تم تحديد الجهد الأفضل (V = 650 Volts) والربح الأفضل (1.5) لعمل العداد في بحث قُبل للنشر في مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات [13].

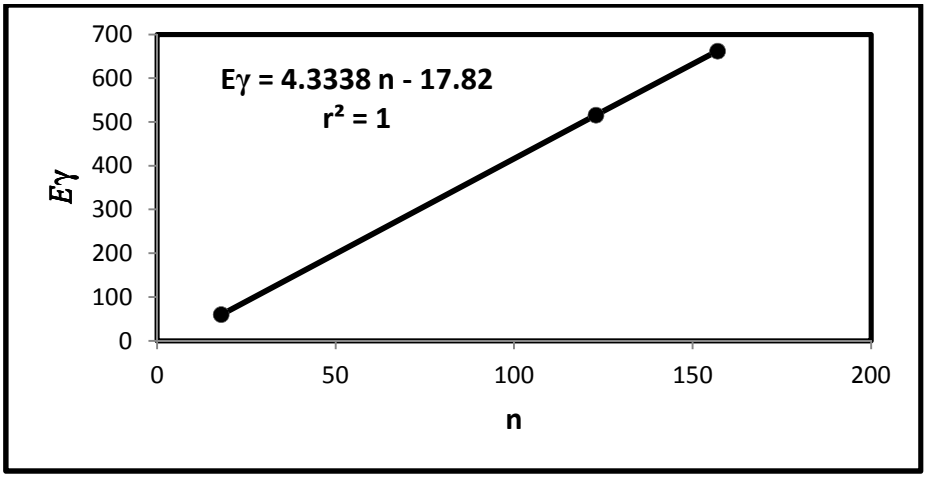
2- معايرة الطاقة:

تمت معايرة الطاقة في بحث قُبل للنشر في مجلة جامعة تشرين للبحوث والدرسات [14]. حيث اختير الخط الطيفي للأمريسيوم Am−241 (بطاقة 60 keV) المقابل للامتصاص الكلي، الخط الطيفي للسيزيوم Cs−137 (بطاقة 662 keV)، والخط الطيفي للصوديوم Na−22 (بطاقة 516 keV)، انظر الجدول (2).

الجدول (2): طاقة الخطوط الطيفية مع رقم القناة الموافق.

المنبع المشع	رقم القناة **n**	$E_\gamma(keV)$
Am – 241	18	60
Na – 22	123	516
Cs – 137	157	662

نرسم منحني المعايرة، أي نرسم تغيرات الطاقة بتابعية رقم القناة $E_\gamma = f(n)$، ومن ثم نستنتج مستقيم المعايرة، الشكل (4).



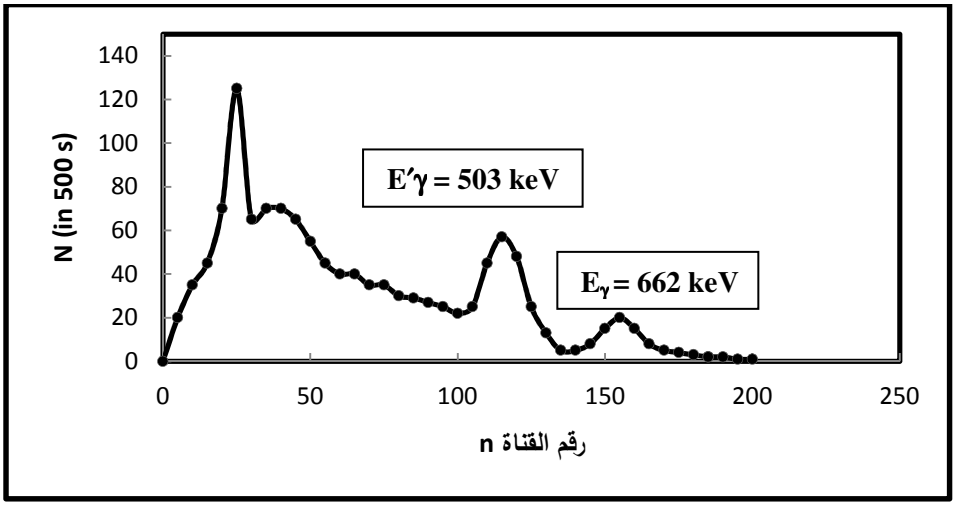
الشكل (4): يمثل مستقيم معايرة الطاقة للكاشف،
تغيرات الطاقة بتابعية رقم القناة $E_\gamma = f(n)$ عامل الترابط $r^2 = 1$.

يُعطى مستقيم المعايرة بالعلاقة التالية:

$$E\gamma = 4.3338\ n - 17.82$$

إن قيمة عامل الترابط $r^2 = 1$ يدل على قوة الترابط بين الطاقة ورقم القناة [15].

إن مستقيم المعايرة المُعطى بالمعادلة السابقة ساعد في حساب الطاقة E′γ (انظر الجدول 3) لذُرى التبعثر. يوضح الشكل (5) إحدى ذُرى التبعثر وعليه نُبيِّن الطاقة E′γ التجريبية المُحددة بوساطة المستقيم السابق (مستقيم المعايرة). وبحسب الشكل (5) نجدأن: الطاقة E′γ تتواجد عند القناة 120، بينما E_γ تتواجد عند القناة 157، وباستخدام مستقيم المعايرة أعلاه، أي بتعويض n بـ 120 نجد أن $E'_\gamma \cong 502\ keV$، و n بـ 157 أن $E_\gamma \cong 663\ keV$، انظر الجدول (4).



الشكل (5): الطيف الطاقي لنظير السيزيوم – 137 (منبع معياري)، E_γ = 662 keV ، و E′γ = 503 keV وذلك من أجل زاوية تبعثر θ = 40° .

3- حساب المقطع العرضي الفعال:

أولاً: الحساب النظري

قمنا بحساب المقطع العرضي الفعال نظرياً انطلاقاً من العلاقة (1). يوضح الجدول رقم (3) تغير المقطع العرضي الفعال بتابعية الزاوية θ.

جدول (3): تغير الماقطع العرضية التفاضلية النظرية والتجريبية بتابعية زاوية التبعثر θ°.

	نظرياً		تجريبياً		
زاوية التبعثر θ°	E′γ(keV) العلاقة (2)	المقطع العرضي الفعال $(d\sigma/d\Omega)_{th}$ (cm^2/sr)	E′γ(keV)	$\Sigma_{\gamma'}$	المقطع العرضي الفعال $(d\sigma/d\Omega)_{ex}$ (cm^2/sr)
0	662	7.95×10^{-26}	662		
10	649	7.53×10^{-26}	626		
20	614	6.46×10^{-26}	602	1106	5.66×10^{-26}
30	564	5.13×10^{-26}	550	1051	5.38×10^{-26}
40	508	3.91×10^{-26}	503	874	4.47×10^{-26}
50	453	2.90×10^{-26}	447	635	3.25×10^{-26}
60	402	2.21×10^{-26}	414	586	2.99×10^{-26}

70	357	2.11×10^{-26}	372	540	2.76×10^{-26}
80	320	1.47×10^{-26}	330	409	2.09×10^{-26}
90	288	1.31×10^{-26}	310	321	1.64×10^{-26}
100	263	1.23×10^{-26}	282	292	1.49×10^{-26}
110	242	1.08×10^{-26}	255	288	1.47×10^{-26}
120	225	0.89×10^{-26}	234	325	1.66×10^{-26}

ثانياً: الحساب التجريبي

قمنا أيضاً بحساب المقطع العرضي التفاضلي معتمدين على نتائج القياس مستخدمين العلاقة التجريبية التالية [10]:

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{experimental} = \frac{\Sigma_{\gamma'}}{n_e.I.\Delta\Omega.t_L.\in} \qquad (2)$$

حيث n_e عدد الإلكترونات في القسم المعرض من الناثر لأشعة غاما الساقطة. من أجل ناثر مركب من عدة عناصر، تُحسب n_e من العوامل الرئيسية للمادة:

$$n_e = \rho.V.N_A.\sum_i W_i.\frac{Z_i}{M_i}$$

حيث:

ρ كثافة مادة الناثر مُقدرة بالـ (g/cm^3)،

V الحجم من الناثر المُعرض لأشعة غاما الساقطة على الناثر مُقدراً بالـ (cm^3)، في حالتنا يساوي 16.23 $.cm^3$

N_A عدد أفوكادرو ($6.022\times10^{23}\ mole^{-1}$)،

Z_i العدد الذري للعنصر i في مادة الناثر،

M_i الكتلة الذرية للعنصر i في مادة الناثر ويُقدر بالـ ($g.mole^{-1}$)،

W_i تركيز العنصر i في الناثر، يُعبر عنه بجزء من الوزن. بالتعريف، مجموع أجزاء جميع العناصر المؤلفة للناثر تساوي الواحد، أي أن:

$$\sum_i W_i = 1$$

يُمثل المتحول I عدد أشعة غاما الساقطة على السنتيمتر المربع الواحد في الثانية الواحدة على الناثر، ويمكن حسابه بالعلاقة التلية:

$$I = \frac{A_0.f}{4.\pi.R_1^2}$$

حيث A_0 الشدة الإشعاعية للمنبع المُشع المستخدم (في حالتنا هو منبع من السيزيوم-137 حيث شدته تساوي ($3.7\times10^6 Bq$)، ($f = 0.851$) [10] نسبة التفكك الناتجة عن إصدار هذا المنبع لأشعة غاما ذات الطاقة (662 keV)، و R_1 بعد المنبع عن مركز الناثر (يساوي 17.5 cm في حالتنا).

إن الزاوية الصلبة المشكلة ما بين الكاشف ***NaI(Tl)*** والناثر تُحسب بالعلاقة التالية:

$$\Delta\Omega = \frac{\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2}{R_2^2}(sr)$$

حيث D = 3.81 cm قطر بلورة الكاشف الوميضي *NaI(Tl)*، و R_2 المسافة بين مركز الناثر وسطح بلورة الكاشف *NaI(Tl)* (تساوي 19 cm في حالتنا).

إن $\Sigma_{\gamma'}$ يُمثل مجموع العد (مجموع الحوادث المسجلة) في الخط الطيفي لأشعة غاما المتبعثرة خلال زمن العد t_L (القيم المقاسة مُعطاة في الجدول 3). إن الفعالية الذاتية للخط الطيفي $\in$ تساوي 0.14 [10]. ففي حالة السيزيوم مع الألمنيوم، ينتج لدينا:

$$n_e = \rho.V.N_A.\sum_i W_i.\frac{Z_i}{M_i} = 2.7\left(\frac{g}{cm^3}\right)(16.32\ cm^3)(6.022\times10^{23}mole^{-1})\times \frac{13}{27\ g.mole^{-1}} = 108\times10^{23}$$

$$I = \frac{A_0.f}{4.\pi.R_1^2} = \frac{3.7\times10^6\times0.851}{4\times3.14\times17.5^2} = 818.6\ (\ s^{-1}\ cm^{-2})$$

$$\Delta\Omega = \frac{\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2}{R_2^2} = \frac{3.14\times\left(\frac{3.81}{2}\right)^2}{19^2} = 0.03156\ sr$$

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{experimental} = \frac{\Sigma_{\gamma'}}{n_e.I.\Delta\Omega t_L.\in} = \frac{1106(\theta=20^o)}{108\times10^{23}\times818.6\times0.03156\times500\times0.14} = 5.119\times 10^{-26}\ (cm^2/sr)$$

النتائج التي تم الحصول عليها وُضعت في الجدول (3)، بينما على الشكل (6) نقارن بين النتائج التجريبية والنظرية للمقطع العرضي التفاضلي. كما هو واضح، فإن التطابق بين النتيجتين جيد.

تم حساب الخطأ الإحصائي (الناتج عن العد) المُرتكب في قياس المقطع العرض التفاضلي انطلاقاً من العلاقة التالية:

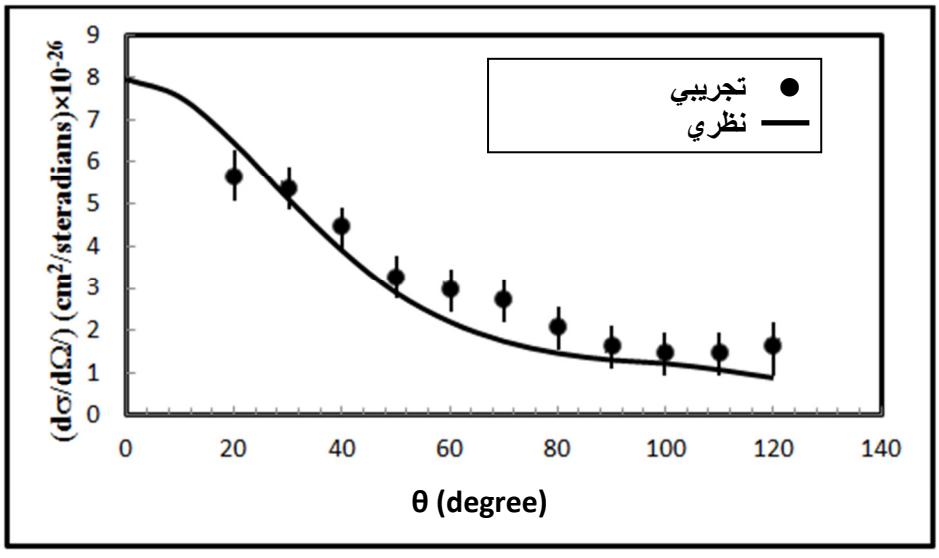
$$\frac{\Delta(d\sigma/d\Omega)_{experimental}}{(d\sigma/d\Omega)_{experimental}} = \frac{\Delta\Sigma_{\gamma'}}{\Sigma_{\gamma'}}$$

$$\Longrightarrow \Delta(d\sigma/d\Omega)_{experimental} = (d\sigma/d\Omega)_{experimental}\frac{\Delta\Sigma_{\gamma'}}{\Sigma_{\gamma'}}$$

إذ اعتبرنا هنا أن $\Delta\Sigma_{\gamma'} = \sqrt{\Sigma_{\gamma'}}$. القيم التي تم الحصول عليها مُعطاة في الجدول رقم (4)، وممثلة على الشكل (6). نشير هنا إلى إن الخطأ الإحصائي المُرتكب في حساب المقطع العرضي التفاضلي يتراوح بين 3% من أجل الزواية صفر درجة إلى 6% من أجل الزاوية 120 درجة.

جدول (4): يوضح تغير الماقطع العرضية التفاضلية التجريبية بتابعية زاوية التبعثر θ ، والأخطاء المرتكبة في القياسات.

تجريبياً				
زاوية التبعثر θ (degree)	E′γ(keV)	$\Sigma_{\gamma'}$	المقطع العرضي التفاضلي $(d\sigma/d\Omega)_{ex}$ (cm^2/sr)	الأخطاء المرتكبة في المقطع العرضي التفاضلي $(d\sigma/d\Omega)_{ex}$ (cm^2/sr)
0	662			
10	626			
20	602	1106	5.66×10^{-26}	0.17×10^{-26}
30	550	1051	5.38×10^{-26}	0.17×10^{-26}
40	503	874	4.47×10^{-26}	0.15×10^{-26}
50	447	635	3.25×10^{-26}	0.13×10^{-26}
60	414	586	2.99×10^{-26}	0.12×10^{-26}
70	372	540	2.76×10^{-26}	0.12×10^{-26}
80	330	409	2.09×10^{-26}	0.10×10^{-26}
90	310	321	1.64×10^{-26}	0.09×10^{-26}
100	282	292	1.49×10^{-26}	0.09×10^{-26}
110	255	288	1.47×10^{-26}	0.09×10^{-26}
120	234	325	1.66×10^{-26}	0.09×10^{-26}

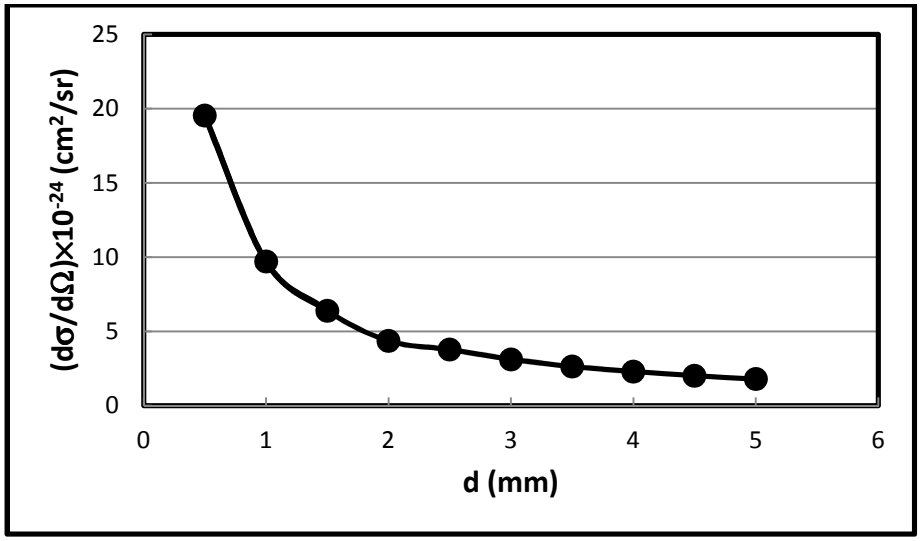


الشكل (6): يمثل تغير المقطع العرضي التفاضلي $(d\sigma/d\Omega)$ $(cm^2/steradians)$ بتابعية زاوية التبعثر θ لنظير السيزيوم – 137 (منبع معياري).

قمنا بقياس المقاطع العرضية التفاضلية $(d\sigma/d\Omega)_{ex}$ (cm^2/sr) لعينات من الألمنيوم ذات كثافة حجمية ثابتة $(2{,}7g/cm^3)$ وبسماكات مختلفة (d). يُبين الجدول (5) قيم المقاطع العرضية التفاضلية التي تمَّ الحصول عليها، بينما يوضح الشكل (7) تغير هذه القيم بتابعية سماكة مادة الناثر. نلاحظ تناقص المقطع العرضي التفاضلي بتابعية السماكة.

جدول (5): يوضح تغير المقاطع العرضية التفاضلية التجريبية بتابعية سماكة مادة الناثر.

d (mm)	$(d\sigma/d\Omega)_{ex})\times10^{-24}$ (cm^2/sr)
0.5	19.52
1	9.70
1.5	6.39
2	4.37
2.5	3.78
3	3.13
3.5	2.64
4	2.31
4.5	2.03
5	1.80

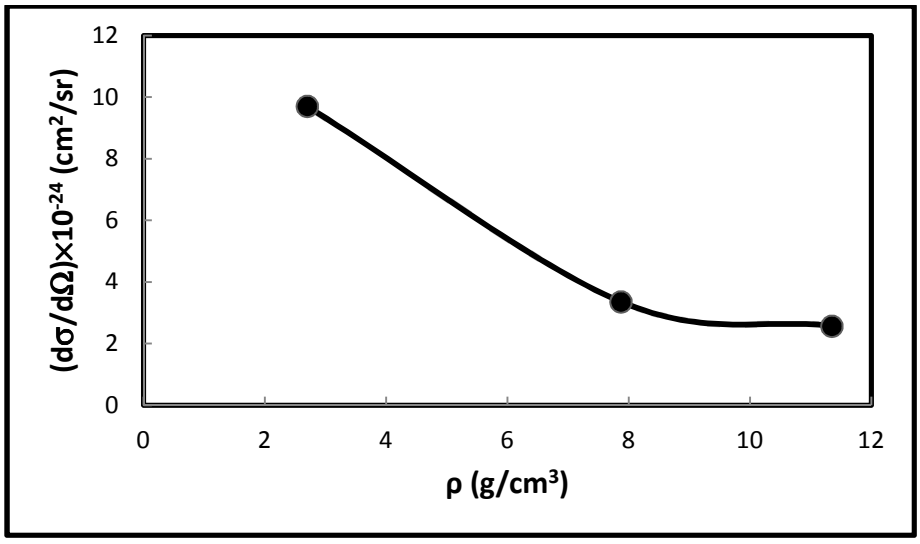


الشكل (7): يبين تغير المقطع العرضي الفعال بتابعية سماكة مادة الناثر d من أجل $(\theta = 0^o)$
(مادة الناثر هي الألمنيوم وهي عبارة عن صفائح مربعة الشكل [7×7 cm])
(الخط الواصل بين النقاط التجريبية هو خط اتجاه فقط)

قمنا أيضاً بقياس المقطع العرضي التفاضلي لمجموعة من العينات لها نفس السماكة (d = 1 mm). يُبين الجدول (6) قيم تغير المقاطع العرضية التفاضلية، بينما يوضّح الشكل (8) تغير هذه القيم بتابعية كثافة مادة الناثر (ألمنيوم، حديد، رصاص). نلاحظ تناقص المقطع العرضي التفاضلي بتابعية كثافة مادة الناثر (ألمنيوم، حديد، رصاص).

جدول (6): يُبين تغير المقاطع العرضية التفاضلية التجريبية بتابعية الكثافة الحجمية لمادة الناثر ρ.

ρ (g/cm^3)	$(d\sigma/d\Omega)_{ex}) \times 10^{-24}$ (cm^2/sr)
Al = 2.70	9.70
Fe = 7.87	3.36
Pb = 11.35	2.57



الشكل (8): يبين تغير المقطع العرضي التفاضلي بتابعية الكثافة الحجمية لمادة الناثر من أجل ($\theta = 0^o$)
(ألمنيوم – $2.70\ g/cm^3$)، (حديد – $7.86\ g/cm^3$)، (رصاص – $11.35\ g/cm^3$)
(الناثر عبارة عن صفائح مربعة الشكل [7×7 cm] ذات سماكة [1 mm])
(الخط الواصل بين النقاط التجريبية هو خط اتجاه فقط)

الاستنتاجات والتوصيات:

1- نستنتج من الشكل (6) أن توافقاً جيداً بين القيم النظرية والتجريبية للمقطع العرضي التفاضلي.

2- نستنتج من الشكل (7) أن المقطع العرضي التفاضلي يتناقص بتابعية سماكة الناثر المُستخدم الذي هو من الألمنيوم.

3- نستنتج من الشكل (8) أن المقطع العرضي التفاضلي يتناقص بازدياد كثافة الناثر. أي عندما نغيِّرمادة الناثر، أي عندما نزيد العدد الذري Z للناثر، فإن المقطع العرض التفاضلي يتناقص.

يُعد هذا العمل أساسياً في فهم مفعول كومبتون وآلية قياس المقطع العرضي التفاضلي لانتثار كومبتون، إذ يمكن التوصية باستخدام طاقات مختلفة للفوتونات، ونواثر متنوعة ذات سماكات وأعداد ذرية مختلفة من باب المقارنة.

المراجع:

[1] Luc Valentin, *Physique subatomique: noyaux et particules*. Enseignement des sciences. Hermann, Paris, 1975, 139-142.

[2] A. Melissinos, *Experiments in modern physics: Solid-state detectors*, Academic Press, 2003, Second Edition, Chap. 8.5, 344-354.

[3] G. F. Knoll, *Radiation detection and measurement: Semiconductor diode detectors,* John Wiley and Sons, 2000, Third Edition, Chap. 11, 353-404.

[4] W. Mann and S. Garfinkel, *Radioactivity and Its Measurement*, Van Nostrand-Reinhold, New York, 1966, 117-127.

[5] K. Siegbahn, Ed., *Alpha-, Beta-, and Gamma-Ray Spectroscopy*, North Holland Publishing Co., Amsterdam (1965), paragraph 3.6.

[6] C. M. Lederer and V. S. Shirley, Eds., Table of Isotopes, 7th Edition, John Wiley and Sons, Inc., New York 1978, 715-735.

[7] J. Leite Lopes, *Fondements de la physique atomique*, Herman: éditeurs des sciences et des arts, Paris,1967, chapitre XIV, 155-160.

[8] G. Marion and P. C. Young, *Tables of Nuclear Reaction Graphs*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1968, 92-105.

[9] M Cottereau and F. Lefebvres, *Recueil de problèmes de physique nucléaire et de physique des particules*, Masson et Cie, Editeurs, Paris, 1971, 102-113.

[10] ORTEC Application Note. An 334, *Experiments in Nuclear Sciences*, Second Edition, July 1976, Published by ORTEC, Experiment 10, Compton Scattering, 60-64.

[11] Modern Physics, Laboratory Experiment, Compton Scattering, Boston University International Program, Technische Universität Dresden, Spring/Summer, 2009, 1-13.

[12] Atomic and Nuclear Physics, Radioactivity, Detection of Radioactivity, Printed in the Federal Republic of Germany by Leybold Didactic GmbH, 2007.

[13] J. Jabbour, H. Jebeli 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.

[14] J. Jabbour, J. Mulhem and S. Yassin, *Experimental Study of the Conservation Law in Compton Effect*. Accepted for publication in Tishreen University Journal, 2012.

[15] Murray R. Spiegel, *Théorie et Applications de la Statistique*, Serie Schaum, Copyright 1972 by McGraw-Hill., Paris pour la traduction française, 241-268.