

دراسة تحليلية وتجريبية للمقطع العرضي التفاضلي لتبعثر رذرفورد

الدكتور جبور نوفل جبور*
الدكتور محمد حمدان موسى**
هلا منيف سعيد***

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

□ ملخص □

تم، في هذا العمل، تسجيل عدد جسيمات ألفا الصادرة عن منبع من الأمريسيوم-241، والمتبعثرة على وريقات رقيقة من الذهب والألمنيوم بتابعية زاوية التبعثر θ ($0^\circ - 30^\circ$)، باستخدام كاشف نصف ناقل وغرفة تبعثر رذرفورد. تم أيضاً قياس المقطع العرضي التفاضلي عن الناتج عن هذا التبعثر، وحساب العدد الذري للهدف تجريبياً، لكل من الذهب والألمنيوم. مقارنة النتائج التجريبية بالنتائج النظرية يشير إلى تطابق جيد بينهما.

الكلمات المفتاحية: تبعثر رذرفورد، أشعة ألفا، كاشف نصف ناقل، المقطع العرضي التفاضلي، العدد الذري.

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

** أستاذ مساعد - 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 Rutherford scattering cross section

Dr. Jabbour Noufal Jabbour*
Dr. Mouhammad Moussa**
Hala Mounif Said***

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

□ ABSTRACT □

In this work, it has been recording the alpha particles emitted from an Americium-241 source, and scattered by a gold and Aluminum thin foils as a function of the scattering angle θ (0° - 30°), using a semiconductor detector and Rutherford scattering chamber. It always has been measuring the differential cross section resulting from this scattering, and experimentally determining the atomic number of Gold and Aluminum. Comparison between experimental and theoretical results shows a good agreement.

key words: Rutherford scattering, Alpha radiation, semiconductor detector, differential cross section, atomic number.

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

**Associate 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:

a- معدل التبعثر أو معدل العد $N(\theta)$:

عند اصطدام جسيمات ألفا بهدف، تتحرف هذه الجسيمات عن مسارها (أي تتبعثر)، حيث كل جسيم يتبعثر بزاوية θ . معظم جسيمات ألفا تتبعثر بزوايا أصغر من درجة واحدة [1-9]. مع ذلك، هناك بعض الجسيمات تتبعثر بزوايا أكبر من الزاوية السابقة، وقد تصل إلى 180 درجة مئوية (تبعثر خلفي). يُفسر التبعثر بزوايا أقل من درجة واحدة بأن ذرات الذهب تُشبه بنوى صغيرة جداً مشحونة إيجابياً تحتوي عملياً كل الكتلة الذرية.

استناداً إلى هذه الفكرة، وفقاً لردفورد Rutherford التوزيع الزاوي لمعدل التبعثر $N(\theta)$ والذي يُعرّف بأنه عدد الجسيمات المتبعثرة بوحدة الزمن ضمن مجال زاوي صغير $d\theta$ حول زاوية وسطى قدرها θ . يُعطى معدل التبعثر (أو معدل العد) بقانون التبعثر لردفورد بالعلاقة التالية:

$$N(\theta) = N_0 \cdot C_F \cdot d_F \cdot \frac{Z^2 \cdot e^4}{(8 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot E_\alpha)^2 \cdot \sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad (1)$$

حيث: N_0 عدد جسيمات ألفا الواردة،

C_F التركيز الذري في ورقة الهدف،

d_F سماكة الورقة (الهدف)،

Z العدد الذري،

E_α طاقة جسيمات ألفا،

e الشحنة العنصرية (شحنة الإلكترون)،

ϵ_0 ثابت العازلية.

تجريبياً، من أجل منبع وهدف معينين، فإن المقدار في العلاقة السابقة (1) يساوي إلى:

$$N_0 \cdot C_F \cdot d_F \cdot \frac{Z^2 \cdot e^4}{(8 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot E_\alpha)^2}$$

ثابت. وهكذا يمكننا كتابة معدل التبعثر بتابعية زاوية التبعثر θ على الشكل التالي:

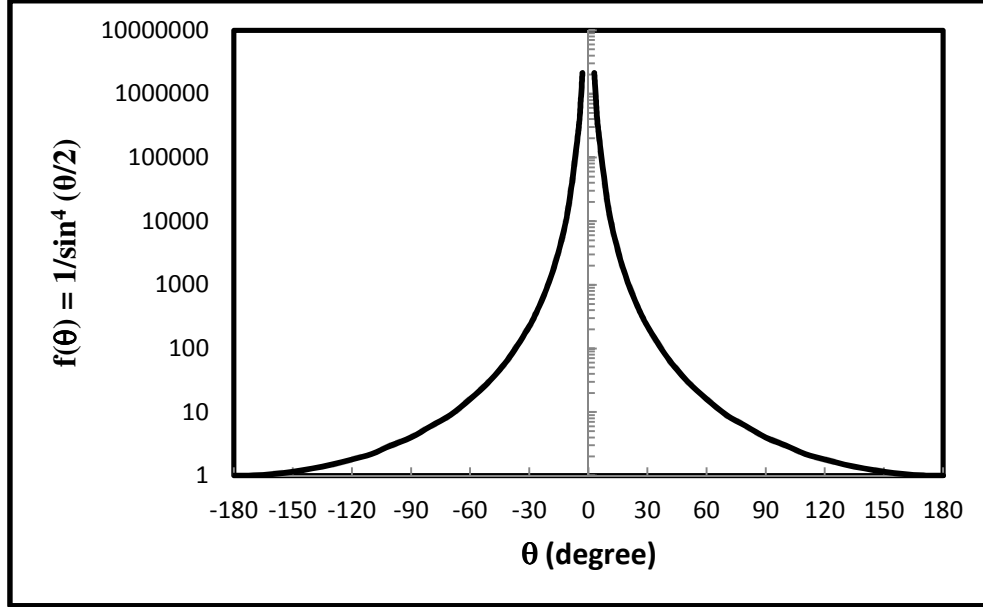
$$f(\theta) = \frac{1}{\sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad (2)$$

إن التابع $f(\theta)$ يتناقص بسرعة مع تزايد زاوية التبعثر θ كما هو موضح في الجدول (1)، وعلى الشكل (1). بدراسة الشكل (1)، نلاحظ أن التابع $f(\theta)$ يتميز بخاصية فريدة، ينتهي إلى اللانهاية من أجل الزاوية $\theta = 0^\circ$. إذ من أجل ذلك سيتم مقارنة النتائج التجريبية مع المنحني النظري (أو النتائج النظرية) خارج هذه المنطقة، أي على سبيل المثال من أجل $|\theta| \geq 5^\circ$.

جدول (1): يبين تغير التابع $f(\theta)$ بتابعية زاوية التبعثر θ .

θ (degree)	2	3	4	5	10	15	20	25	30
$1/\sin^4(\theta/2)$	1077900	212972	674098	276237	17331	3445	1100	456	223
θ (degree)	40	50	60	70	80	90	100	110	120

1/Sin ⁴ (θ/2)	73	31	16	9	6	4	3	2.2	1.8
θ (degree)	130	140	150	160	170	180			
1/Sin ⁴ (θ/2)	1.5	1.3	1.15	1.06	1.01	1			



الشكل (1): المنحني النظري لتغير $f(\theta) = 1/\text{Sin}^4(\theta/2)$ بتابعة زاوية التبعثر θ .

نشير إلى أن معدل العد يصبح صغيراً جداً من أجل زوايا التبعثر الكبيرة، هذا يقتضي زيادة زمن العد بتابعة زاوية التبعثر. وهذا بدوره يؤمن تسجيل عد كافٍ عند كل زاوية لكي أن لا تكون الأخطاء الإحصائية كبيرة. ويكون زمن العد مقبولاً، اكتفينا تجريبياً في المجال الزاوي $|\theta| \leq 30^\circ$.

b- المقطع العرضي التفاضلي $[d\sigma(\theta)/d\Omega]$:

يُعبّر بشكل عام بالعبارات أو بالعلاقات الرياضية لمفهوم "المقطع العرضي التفاضلي" عن احتمال وجود تفاعل نووي. أو بتعبير آخر، فإن احتمال حدوث عملية تصادم مؤكدة وفق زاوية معينة، يعبر عنه عادة بما يسمى "المقطع العرضي الفعّال".

إن العلاقة الرياضية التي تسمح بحساب المقطع العرضي الفعّال لتبعثر رذرفورد تُعطى على الشكل التالي

: [9-1]

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} \approx \left(1.296 \frac{\text{mbarn}}{\text{sr}}\right) \left(\frac{Z_1 Z_2}{E_\alpha}\right)^2 \csc^4 \frac{\theta}{2} = \left(1.296 \frac{\text{mbarn}}{\text{sr}}\right) \left(\frac{Z_1 Z_2}{E_\alpha}\right)^2 \frac{1}{\sin^4 \frac{\theta}{2}} \quad (3)$$

حيث: Z_1 و Z_2 العدد الذري لكل من القذيفة والهدف على الترتيب، θ زاوية التبعثر، و E_α طاقة جسيمات ألفا الصادرة عن المنبع المُشع (أمريسيوم-241). يُقدر المقطع العرضي التفاضلي بوحدة (mbarn/steradian)، (mbarn = 10^{-3} barn, barn \equiv b = 10^{-28} m² = 10^{-24} cm²).

من أجل التفاعل (ألفا + ذهب) [8، 9]:

يكون لدينا ($Z_1 = 2, Z_2 = 79, E_\alpha = 5.477 \text{ MeV}$) و:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} \approx 1078.53 \frac{1}{\sin^4 \frac{\theta}{2}} \left(\frac{\text{mbarn}}{\text{sr}} \right) \quad (4)$$

ومن أجل التفاعل (ألفا + ألمنيوم) [8، 9]:

يكون لدينا: ($Z_1 = 2, Z_2 = 13, E_\alpha = 5.477 \text{ MeV}$) و:

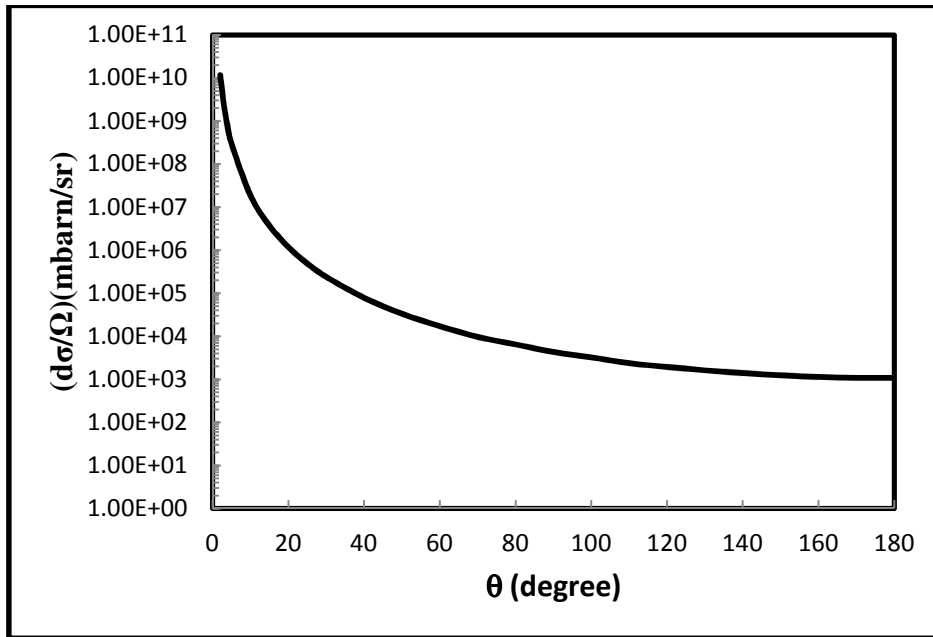
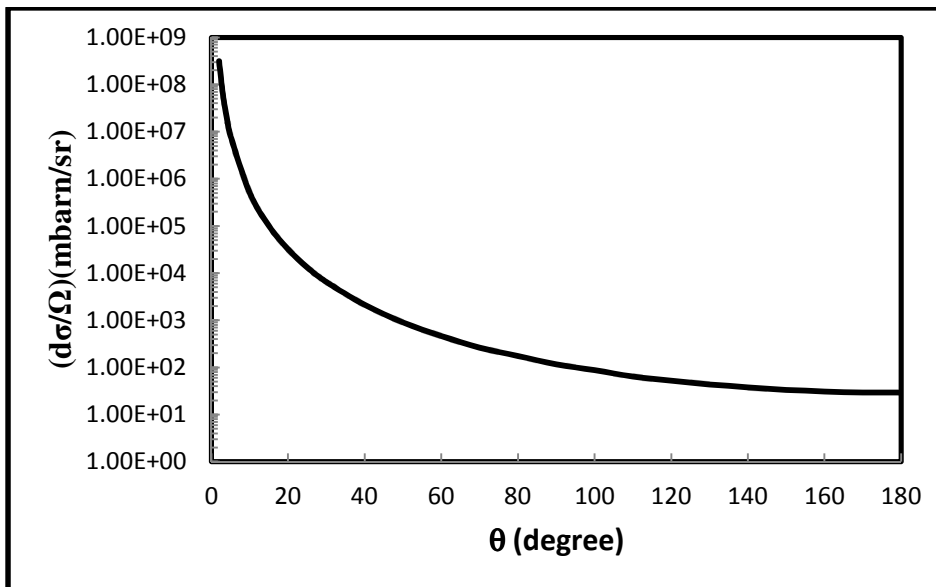
$$\frac{d\sigma}{d\Omega} \approx 29.21 \frac{1}{\sin^4 \frac{\theta}{2}} \left(\frac{\text{mbarn}}{\text{sr}} \right) \quad (5)$$

والقيم التي تم الحصول عليها موضحة في الجدول (2)، ومرسومة على الشكلين (2) و (3).

جدول (2): قيم المقطع العرضي التفاضلي نظرياً من أجل الذهب والألمنيوم.

ذهب		ألمنيوم	
$\alpha + \text{Au}$		$\alpha + \text{Al}$	
θ (degree)	$(d\sigma/d\Omega)$ (mbarn/sr)	θ (degree)	$(d\sigma/d\Omega)$ (mbarn/sr)
2	11625481341.18	2	314854765.26
3	2296974461.31	3	62209325.67
4	727034915.94	4	19690402.58
5	297929891.61	5	8068882.77
10	18692003.43	10	506238.51
15	3715535.85	15	100628.45
20	1186383.00	20	32131.00
25	491809.68	25	13319.76
30	240512.19	30	6513.83
40	78732.69	40	2132.33
50	33434.43	50	905.51
60	17256.48	60	467.36
70	9706.77	70	262.89
80	6471.18	80	175.26
90	4314.12	90	116.84
100	3235.59	100	87.63
110	2372.77	110	64.26

120	1941.35	120	52.58
130	1617.79	130	43.81
140	1402.09	140	37.97
150	1240.31	150	33.59
160	1143.24	160	30.96
170	1089.31	170	29.50
180	1078.53	180	29.21

الشكل (2): يمثل تغير المقطع العرضي التفاضلي نظرياً للتفاعل $\alpha + \text{Au}$ بتابعة الزاوية θ .الشكل (3): يمثل تغير المقطع العرضي التفاضلي نظرياً للتفاعل $\alpha + \text{Al}$ بتابعة الزاوية θ .

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في دراسة وقياس كل من معدل العد والمقطع العرضي التفاضلي لتبعثر رذرفورد، ومن ثم مقارنة النتائج التجريبية مع العلاقات النظرية التي تسمح بحساب هذه المقادير.

طرائق البحث ومواده:

1- الأجهزة والأدوات المستخدمة في الدراسة:

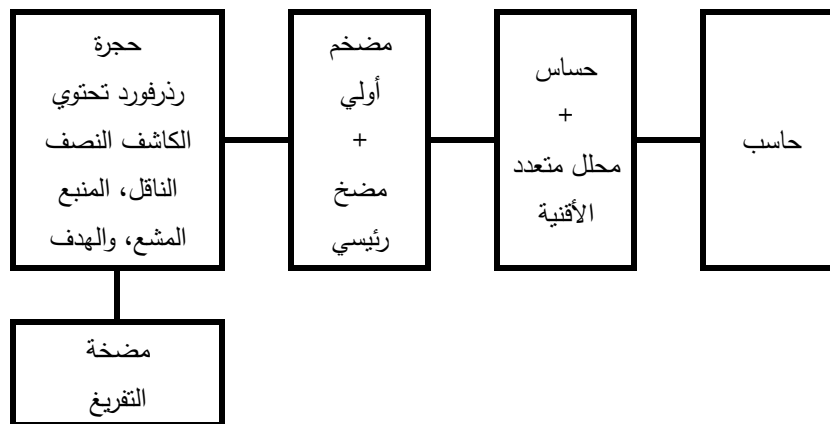
- 1- حجرة رذرفورد للتبعثر.
 - 2- كاشف نصف ناقل.
 - 3- حساس ومحلل متعدد الأفتنية MCA.
 - 4- منبع مشع Ra-226 (انظر الجدول رقم 3).
 - 5- منبع مشع Am-241 (انظر الجدول رقم 3).
 - 6- حاسوب مجهز ببرنامج CASSY لمعالجة القياسات.
 - 7- مضخة تخلية مع أنبوب مطاطي لوصلها بحجرة رذرفورد.
- ملاحظة: جميع هذه الأجهزة من شركة LEYBOLD الألمانية [9]، وهي موجودة في مخبر الفيزياء النووية (قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة تشرين)، حيث تم إنجاز هذا البحث.

جدول (3): يبين مواصفات منابع المستخدمة في هذا العمل.

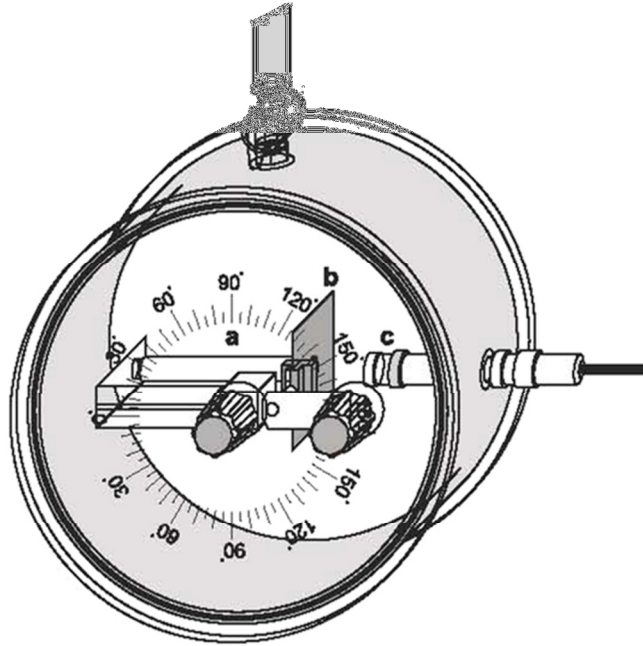
اسم المنبع	النشاط الإشعاعي مقدراً بالبيكريل Bq	الرقم المرجعي Code No.	تاريخ التصنيع
الأمرسيوم $^{241}_{95}Am$	$3,4 \cdot 10^5$ Bq	NW 76/76	20/12/2007
الراديوم $^{226}_{88}Ra$	$3,3 \cdot 10^3$ Bq	NW 229/81	20/12/2007

2- طريقة القياس:

الدائرة المستخدمة في هذه التجربة موضحة في الشكل (4)، والشكل (5) يوضح حجرة رذرفورد التي تحتوي الكاشف، المنبع المشع، والهدف.



شكل (4): مخطط مبسط للدائرة المستخدمة في القياسات.



شكل (5): حجرة رذرفورد مع المنبع المشع (a)، المادة الماصة أو الهدف (b)، و الكاشف (c).

إن آلية تخرية حجرة التبعثر لرذرفورد، ومعايرة الطاقة (أي رسم مستقيم المعايرة باستخدام منبع الراديوم-226) تمّ في عمل سابق قُبل للنشر في مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية [10].

النتائج والمناقشة:

1- قياس تغير العد بتابعية الزاوية θ لنظير الأمريسيوم-241 (دون هدف):

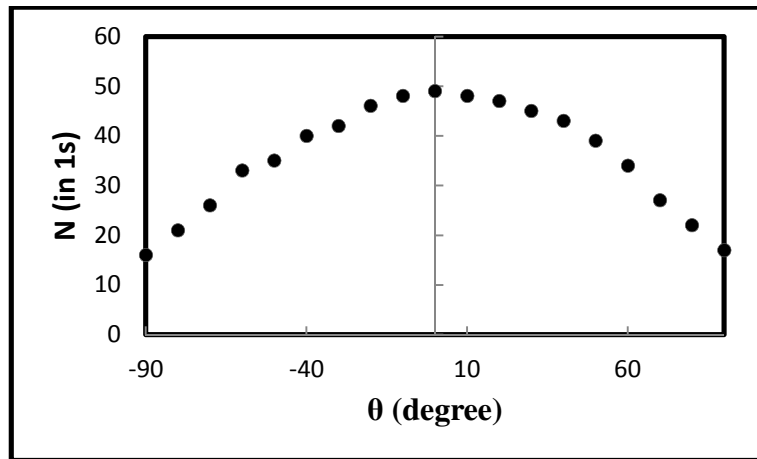
بما أن المسافة التي تقطعها جسيمات ألفا قصيرة جداً في الهواء، فيجب أن يُنجز العمل التجريبي تحت تخرية مناسبة.

بما أن الكاشف المستخدم مُثبت في جدار غرفة التبعثر (الشكل 5)، تم قياس تغير العد بتابعية الزاوية θ لنظير الأمريسيوم-241 (بدون هدف) بتغير زاوية المنبع بالنسبة لمحور الكاشف في المجال الزاوي من (0°) إلى $(\pm 90^\circ)$. النتائج التي تم الحصول عليها موضحة في الجدول (4) ومرسومة على الشكل (6).

جدول (4): يوضح العد بتابعية الزاوية θ لنظير الأمريسيوم-241 دون هدف.

θ (degree)	$N (s^{-1})$	θ (degree)	$N (s^{-1})$
0	49	0	49
10	48	-10	48
20	47	-20	46
30	45	-30	42

40	43	-40	40
50	39	-50	35
60	34	-60	33
70	27	-70	26
80	22	-80	21
90	17	-90	16



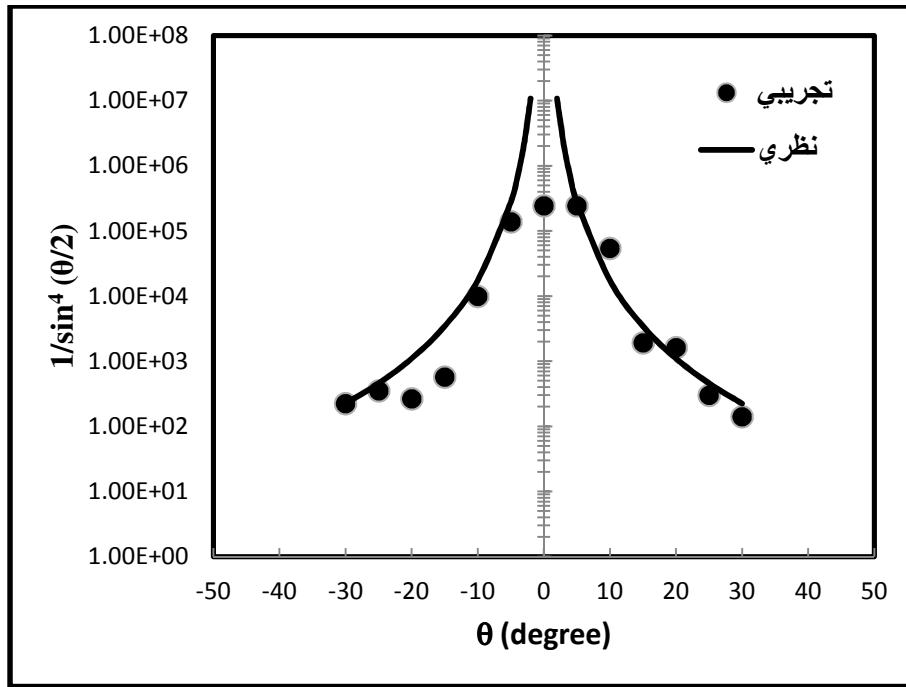
الشكل (6): يمثل تغير العد N بتابعة الزاوية θ لنظير الأмериسيوم-241 (دون هدف)، (قيم وسطى للعد ب 100 ثانية و 1000 ثانية).

2- قياس تغير العد بتابعة الزاوية θ لنظير الأмериسيوم-241 (مع هدف):

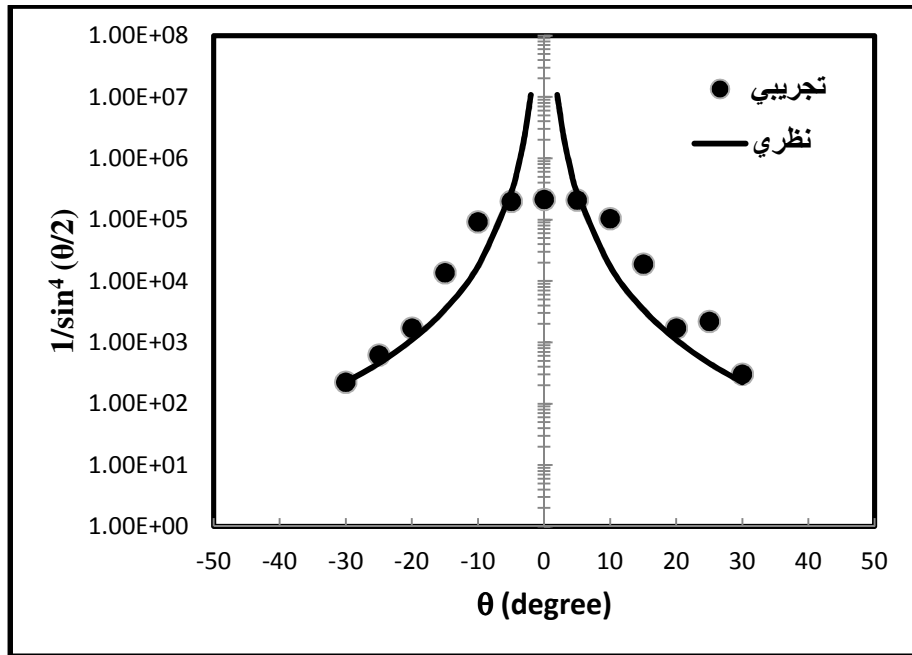
إن جسيمات ألفا الصادرة عن منبع الأмериسيوم ^{241}Am تمر عبر شق عرضه 5 ملم ملاصق لورقة الهدف (إما من الذهب أو الألمنيوم) ومن ثم تتبعثر وفق زوايا مختلفة. يتم تسجيل وقياس عدد جسيمات ألفا بواسطة كاشف نصف ناقل. بتغيير زاوية المنبع بالنسبة لمحور الكاشف (الكاشف والهدف ثابتان) بخطوة قدرها 5° ، على سبيل المثال، يمكننا تحديد معدل تبعثر جسيمات ألفا في المجال الزاوي من 5° إلى 30° . إن الأجهزة المستخدمة في هذا العمل تسمح بتدوير المنبع، الشق وورقية الهدف مجتمعين، بينما يبقى الكاشف ثابتاً، مثبتاً في جدار غرفة التبعثر. تم قياس وتسجيل معدل تبعثر جسيمات ألفا، الصادرة عن منبع من الأмериسيوم ^{241}Am ، على هدف من الألمنيوم وهدف من الذهب، باستخدام عدة شقوق ذات أبعاد مختلفة، وبأوضاع مختلفة بالنسبة للهدف وللکاشف. نعرض هنا النتائج المتعلقة بالوضعية التالية: يوجد أمام الكاشف شق (0.6×0.2) سم، الشق أمام الهدف (0.5×1.2) سم، هناك شق (0.1×1.2) سم وراء الهدف وملاصق له.

جدول (5): من أجل التفاعل Am+Al والتفاعل (Am+Au).

Am+Al				Am+AU			
θ (degree)	N(1000s)	N(1/s)	N(1/s) $\times 5190$	θ (degree)	N(1000s)	N(1/s)	N(1/s) $\times 5190$
-30	43	0.043	223.17	-30	43	0.043	223.17
-25	68	0.068	352.92	-25	120	0.12	622.8
-20	51	0.051	264.69	-20	330	0.33	1712.7
-15	110	0.11	570.9	-15	2640	2.64	13701.6
-10	1900	1.9	9861	-10	17770	17.77	92226.3
-5	26600	26.6	138054	-5	38150	38.15	197998.5
0	47000	47	243930	0	41000	41	212790
+5	46600	46.6	241854	+5	40000	40	207600
+10	34000	34	54060	+10	20000	20	103800
+15	1200	1.2	1908	+15	3630	3.63	18839.7
+20	310	0.31	1608.9	+20	330	0.33	1712.7
+25	58	0.058	301.02	+25	424	0.424	2200.56
+30	27	0.027	140.13	+30	58	0.058	302.577



الشكل (7): مقارنة تغير $1/\sin^4(\theta/2)$ بتابعية الزاوية θ مع $N = f(\theta)$ من أجل التفاعل Am+Al. القيم التجريبية ضربت بـ 5190.



الشكل (8): مقارنة تغير $1/\sin^4(\theta/2)$ بتابعية الزاوية θ مع $N = f(\theta)$ من أجل التفاعل $Am+Au$. القيم التجريبية ضربت بـ 5190.

نشير هنا إن ضرب القيم التجريبية بالمقدار (5190) يعود إلى قسمة القيم النظرية على نفس المقدار السابق. يمكن أن نعبر عن ذلك بالعلاقة التالية:

$$f(\theta) = \frac{A}{\sin^4\left(\frac{\theta-B}{2}\right)}$$

حيث A يمثل عامل الانزياح العمودي (وفق المحور اللوغاريتمي)، بينما العامل B يمثل عامل الانزياح الأفقي (على طول المحور θ)، في عملنا هذا أخذنا $B = 0$.

3- حساب المقطع العرضي التفاضلي تجريبياً [8]:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{I}{I_0 \Delta\Omega n_0} \right) \left(\frac{cm^2}{sr} \right)$$

و:

$$I_0 = \frac{a \times s_1}{4 \pi d_1^2}$$

و:

$$\Delta\Omega = \frac{s_2(cm^2)}{d_2^2}$$

و:

$$n_0 = t \frac{N_A}{M}$$

حيث:

- I معدل العد في الخط الطيفي المأخوذ بعين الاعتبار.
- I_0 النشاط الإشعاعي للمنبع المشع a مضروباً بسطح الشق الموضوع أمام الهدف من جهة المنبع المشع S_1 مقسوماً على $4\pi d_1^2$ حيث d_1 المسافة بين هذا الشق والمنبع المشع.
- $a = 3.4 \times 10^5$ Bq
- $S_1 = 0.5 \times 1.2 = 0.60$ cm²
- $d_1 = (3 - 2.5) \sim 2.75$ cm
- $\Delta\Omega$ زاوية صلبة صغيرة تُحدد بالنسبة بين سطح الشق S_2 الموضوع أمام الكاشف والمسافة بين هذا الشق والهدف d_2 .
- $S_2 = 0.6 \times 0.2 = 0.12$ cm²
- $d_2 = 3.25$ cm
- n_0 عدد ذرات الهدف بوحدة السطح ويساوي سماكة الهدف t مضروباً بعدد أفكادرو N_A مقسوماً على الكتلة المولية لهذا الهدف M (g.mol⁻¹).
- $N_A = 6.022 \times 10^{23}$ (mol⁻¹)
- $t = x \times \rho$ (g/cm²)
- حيث x سماكة الهدف، و ρ الكثافة الحجمية للهدف.

$$I_0 = \frac{a \times s_1}{4\pi d_1^2} = \frac{(3.4 \times 10^5)(0.6)}{4 \times 3.14 \times (2.75)^2} = 0.021 \times 10^5 \left(\frac{\text{Bq} \equiv \text{counts} \equiv \text{particles}}{\text{sec}} \right)$$

$$\Delta\Omega = \frac{s_2(\text{cm}^2)}{d_2^2} = \frac{0.2 \times 0.2}{3.25^2} = 0.00379 \text{ sr}$$

أخذنا هنا السطح الفعال للكاشف: (0.2×0.2) سم².من أجل الذهب: $M \approx 197$ (g.mol⁻¹)، $\rho = 19.3$ (g/cm³)، $x = 2$ μm

$$n_0 = t \frac{N_A}{M} = 2 \times 10^{-4}(\text{cm}) \times 19.3 \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) \frac{6.022 \times 10^{23}(\text{mol}^{-1})}{197(\text{g.mol}^{-1})} = 1.18 \times 10^{19} \left(\frac{1}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{I}{0.021 \times 10^5 \times 0.00379 \times 1.18 \times 10^{19}} \right) \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{sr}} \right) = 10648 \times 10^{-24} (I) \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{sr}} \right)$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = 10648 \times 10^{-24} (I) \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{sr}} \right) = 10648 \left(\frac{\text{barn}}{\text{sr}} \right) = 10648 \times 10^3 \left(\frac{\text{mbarn}}{\text{sr}} \right) = 1.0648 \times 10^7 \left(\frac{\text{mbarn}}{\text{sr}} \right)$$

من أجل الألمنيوم: $M \approx 27$ (g.mol⁻¹)، $\rho = 2.7$ (g/cm³)، $x = 8$ μm

$$n_0 = t \frac{N_A}{M} = 8 \times 10^{-4}(\text{cm}) \times 2.7 \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) \frac{6.022 \times 10^{23}(\text{mol}^{-1})}{27(\text{g.mol}^{-1})} = 4.82 \times 10^{19} \left(\frac{1}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{I}{0.021 \times 10^5 \times 0.00379 \times 4.82 \times 10^{+19}} \right) \left(\frac{cm^2}{sr} \right) = 2607 \times 10^{-24} (I) \left(\frac{cm^2}{sr} \right)$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = 2607 \times 10^{-24} (I) \left(\frac{cm^2}{sr} \right) = 2607 (I) \left(\frac{barn}{sr} \right) = 2607 \times 10^3 (I) \left(\frac{mbarn}{sr} \right) = 2.607 \times 10^6 (I) \left(\frac{mbarn}{sr} \right)$$

جدول (6): قيم المقطع العرضي التفاضلي تجريبياً.

Am+Al				Am+AU			
θ (degree)	N(1/s) = I	(d σ /d Ω) (mbarn/sr)	Δ (d σ /d Ω) (mbarn/sr)	θ (degree)	N(1/s) = I	(d σ /d Ω) (mbarn/sr)	Δ (d σ /d Ω) (mbarn/sr)
-30	0.043	0.42 $\times 10^5$	2 $\times 10^5$	-30	0.043	4.58 $\times 10^5$	22 $\times 10^5$
-25	0.068	1.15 $\times 10^5$	4.4 $\times 10^5$	-25	0.120	1.28 $\times 10^6$	3.7 $\times 10^6$
-20	0.051	1.33 $\times 10^5$	5.9 $\times 10^5$	-20	0.330	3.51 $\times 10^6$	6.11 $\times 10^6$
-15	0.110	2.87 $\times 10^5$	8.65 $\times 10^5$	-15	2.640	2.81 $\times 10^7$	1.73 $\times 10^7$
-10	1.900	4.95 $\times 10^6$	3.5 $\times 10^6$	-10	17.770	18.92 $\times 10^7$	4.5 $\times 10^7$
-5	26.600	69.35 $\times 10^6$	13.45 $\times 10^6$	-5	38.150	40.62 $\times 10^7$	6.58 $\times 10^7$
0	47.000	122.53 $\times 10^6$	17.87 $\times 10^6$	0	41.000	43.66 $\times 10^7$	6.82 $\times 10^7$
+5	46.600	121.49 $\times 10^6$	17.80 $\times 10^6$	+5	40.000	42.59 $\times 10^7$	6.73 $\times 10^7$
+10	34.000	38.64 $\times 10^6$	6.63 $\times 10^6$	+10	20.000	21.30 $\times 10^7$	4.76 $\times 10^7$
+15	1.200	3.13 $\times 10^6$	2.86 $\times 10^6$	+15	3.630	3.86 $\times 10^7$	2 $\times 10^7$
+20	0.310	8.08 $\times 10^5$	14.51 $\times 10^5$	+20	0.330	3.51 $\times 10^6$	6.11 $\times 10^6$
+25	0.058	1.51 $\times 10^5$	6.30 $\times 10^5$	+25	0.424	2.51 $\times 10^6$	3.85 $\times 10^6$
+30	0.027	0.70 $\times 10^5$	4.26 $\times 10^5$	+30	0.058	6.18 $\times 10^5$	25.66 $\times 10^5$

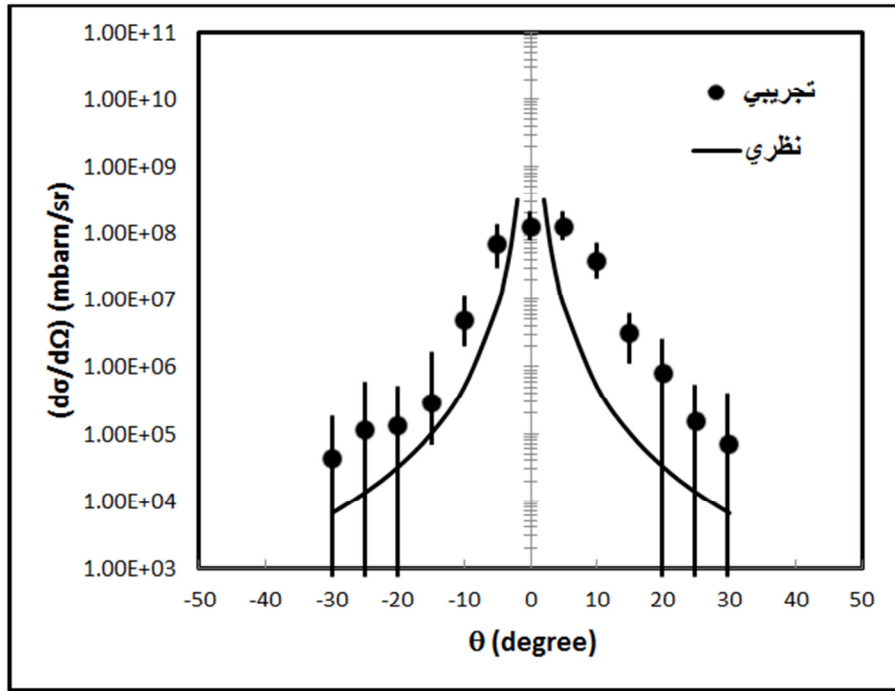
تم حساب الخطأ الإحصائي (الناتج عن العد) المرتكب في قياس المقطع العرضي التفاضلي انطلاقاً من العلاقة

التالية:

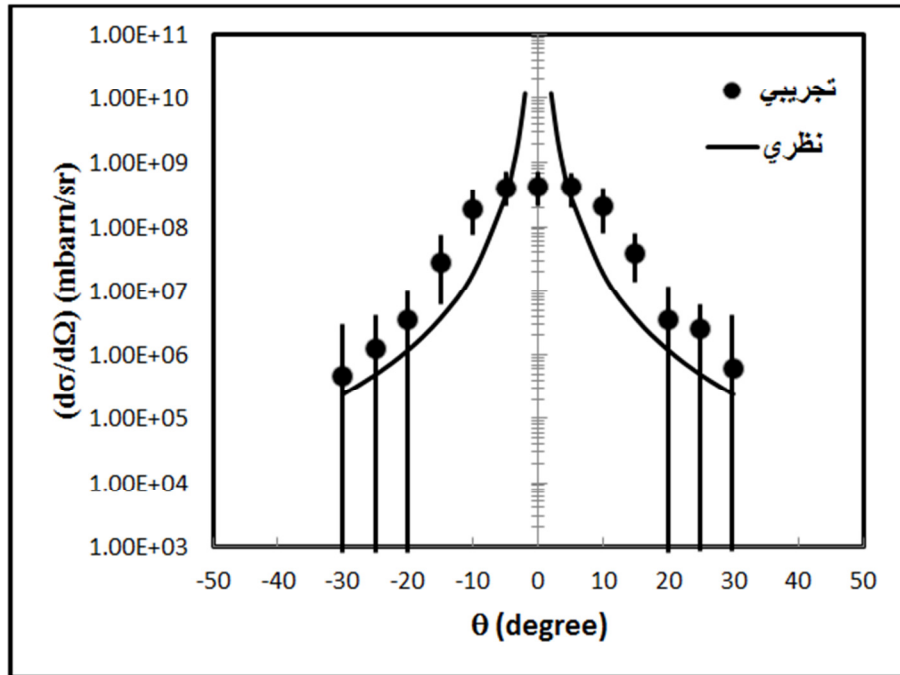
$$\frac{\Delta(d\sigma/d\Omega)}{(d\sigma/d\Omega)} = \frac{\Delta I}{I} \Rightarrow \Delta(d\sigma/d\Omega) = (d\sigma/d\Omega) \frac{\sqrt{I}}{I}$$

إذ اعتبرنا هنا أن $\Delta I = \sqrt{I}$. القيم التي تم الحصول عليها مُعطاة في الجدول رقم (8)، وممثلة على الشكلين

(9) و (10).



الشكل (9): المقطع العرضي التفاضلي من أجل التفاعل Am+Al.



الشكل (10): المقطع العرضي التفاضلي من أجل التفاعل Am+Au.

4- تحديد العدد الذري Z للهدف تجريبياً:

إذا قارنا معدلات التبعثر (معدلات العد) بين هدفين مختلفين (على سبيل المثال الذهب Au والألمنيوم Al) عند نفس الزاوية، باستخدام قانون التبعثر لرذرفورد، العلاقة (1)، نستنتج أن:

$$\frac{N_{Au}}{N_{Al}} = \frac{c_{Au} \cdot d_{Au} \cdot Z_{Au}^2}{c_{Al} \cdot d_{Al} \cdot Z_{Al}^2}$$

حيث:

c_{Al} الكثافة الحجمية للألمنيوم،

c_{Au} الكثافة الحجمية للذهب،

d_{Al} سماكة ورقة الألمنيوم،

d_{Au} سماكة ورقة الذهب،

Z_{Al} العدد الذري للألمنيوم،

Z_{Au} العدد الذري للذهب.

مع القيم التالية:

$$d_{Au} = 2 \mu\text{m}, d_{Al} = 8 \mu\text{m}, c_{Au} \approx c_{Al} \text{ and } Z_{Au} = 79$$

نحصل على ما يلي:

$$\frac{N_{Au}(\theta)}{N_{Al}(\theta)} = \frac{c_{Au} \cdot d_{Au} \cdot Z_{Au}^2}{c_{Al} \cdot d_{Al} \cdot Z_{Al}^2}$$

$$Z_{Al} = \sqrt{\frac{N_{Al}(\theta) \cdot c_{Au} \cdot d_{Au} \cdot Z_{Au}^2}{N_{Au}(\theta) \cdot c_{Al} \cdot d_{Al}}} = \sqrt{\frac{N_{Al}(\theta)}{N_{Au}(\theta)}} \cdot \frac{Z_{Au}}{2}$$

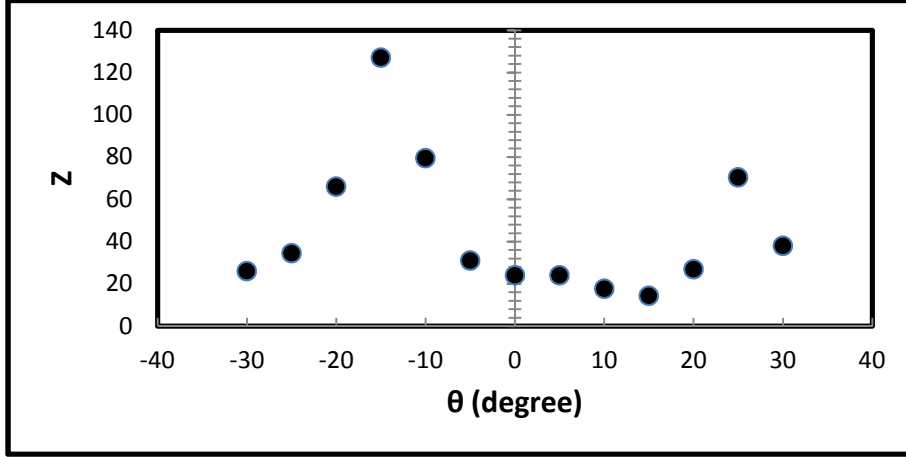
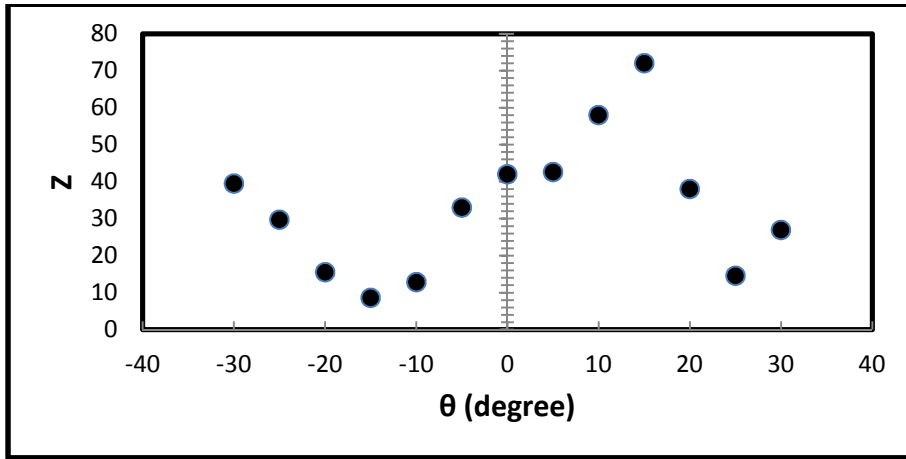
أو:

$$Z_{Au} = \sqrt{\frac{N_{Au}(\theta) \cdot c_{Al} \cdot d_{Al} \cdot Z_{Al}^2}{N_{Al}(\theta) \cdot c_{Au} \cdot d_{Au}}} = \sqrt{\frac{N_{Au}(\theta)}{N_{Al}(\theta)}} \cdot 2Z_{Al}$$

جدول (7): من أجل التفاعل Am+Al والتفاعل (Am+Au).

Am+Al			Am+Au		
θ (degree)	N(1/s)	Z_{Al}	θ (degree)	N(1/s)	Z_{Au}
-30	0.043	39.5	-30	0.043	26
-25	0.068	29.7	-25	0.12	34.5
-20	0.051	15.5	-20	0.33	66
-15	0.11	8.6	-15	2.64	127
-10	1.9	12.9	-10	17.77	79.5
-5	26.6	33	-5	38.15	31
0	47	42	0	41	24
+5	46.6	42.6	+5	40	24
+10	34	58	+10	20	17.7
+15	1.2	72	+15	3.63	14.3

+20	0.31	38	+20	0.33	26.82
+25	0.058	14.6	+25	0.424	70.3
+30	0.027	27	+30	0.058	38

الشكل (11): تغير العدد الذري للذهب بتابعة الزاوية θ .الشكل (12): تغير العدد الذري للألمنيوم بتابعة الزاوية θ .

نلاحظ من الجدول (7)، والشكلين (11) و (12) أنه عند الزاوية (-10°) نحصل على أفضل قيمة للعد الذري لكل من الألمنيوم ($Z_{Al} = 12.9$) والذهب ($Z_{Au} = 79.5$).

تم أيضاً تحديد العدد الذري تجريبياً انطلاقاً من العلاقة (3) التي تسمح بحساب المقطع العرضي التفاضلي:

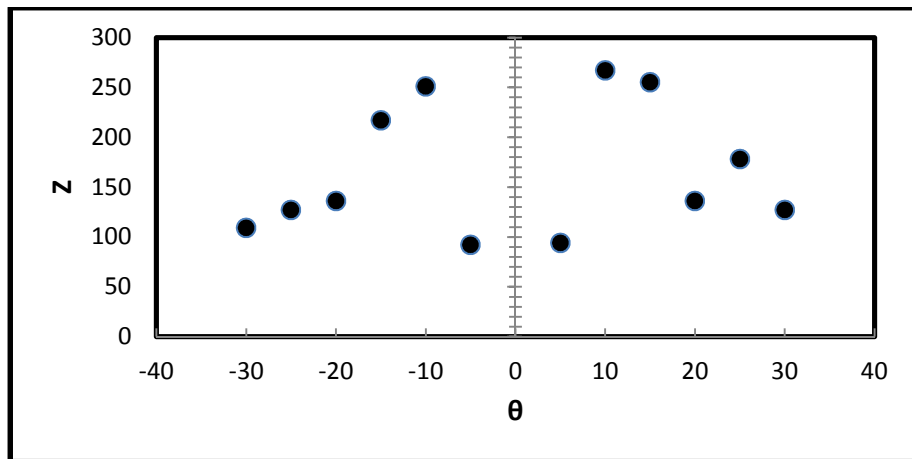
$$Z_2 = \frac{E_\alpha}{Z_1} \sqrt{\left(1.296 \frac{mb}{sr}\right)^{-1} \frac{d\sigma}{d\Omega} \sin^2 \frac{\theta}{2}} \quad (6)$$

إن قيم العدد الذري التي تم الحصول عليها بالاستعانة بالجدول رقم (6) والعلاقة (6) معطاة في الجدول (8)، بينما الشكلين (13) و (14) يمثلين تغيرات Z بتابعة زاوية التبعثر θ .

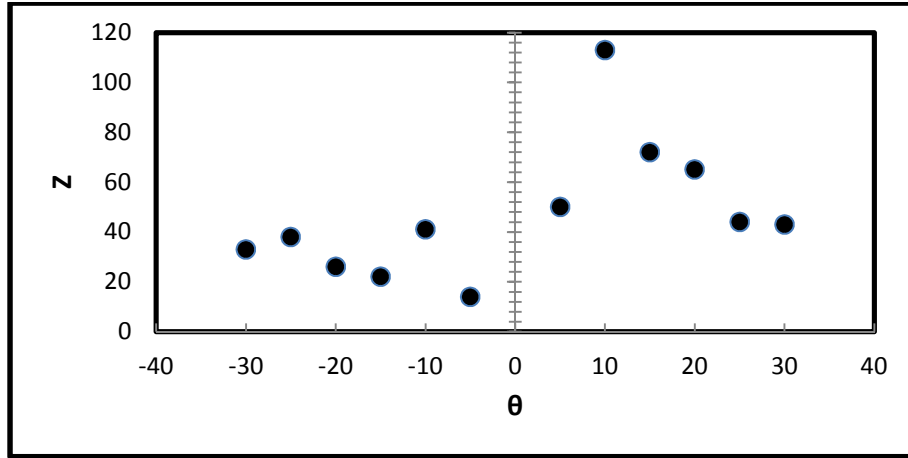
نلاحظ من الجدول (8)، والشكلين (13) و (14) أنه عند الزاوية (-5°) نحصل على أفضل قيمة للعدد الذري لكل من الألمنيوم ($Z_{Al} = 14$) والذهب ($Z_{Au} = 92$).

جدول (8): قيم العدد الذري انطلاقاً من العلاقة (6) والجدول رقم (8).

Am+Al			Am+AU		
θ (degree)	$(d\sigma/d\Omega)$ (mbarn/sr)	Z_{Al}	θ (degree)	$(d\sigma/d\Omega)$ (mbarn/sr)	Z_{Au}
-30	0.42×10^5	33	-30	4.58×10^5	109
-25	1.15×10^5	38	-25	1.28×10^6	127
-20	1.33×10^5	26	-20	3.51×10^6	136
-15	2.87×10^5	22	-15	2.81×10^7	217
-10	4.95×10^6	41	-10	18.92×10^7	251
-5	69.35×10^6	14	-5	40.62×10^7	92
0	122.53×10^6		0	43.66×10^7	
+5	121.49×10^6	50	+5	42.59×10^7	94
+10	38.64×10^6	113	+10	21.30×10^7	267
+15	3.13×10^6	72	+15	3.86×10^7	255
+20	8.08×10^5	65	+20	3.51×10^6	136
+25	1.51×10^5	44	+25	2.51×10^6	178
+30	0.70×10^5	43	+30	6.18×10^5	127



الشكل (13): تغير العدد الذري للذهب بتابعية الزاوية θ .

الشكل (14): تغير العدد الذري للألمنيوم بتابعة الزاوية θ .

الاستنتاجات والتوصيات:

استناداً إلى هذا العمل التجريبي، تم قياس معدل العد، والمقطع العرضي الفعّال لتبعثر رذرفورد لتبعثر، أي لتصادم أشعة ألفا الصادرة عن منبع مشع لنظير الأмериسيوم-241 (^{241}Am)، مع أهداف (ورقات رقيقة) من الذهب والألمنيوم. تشير المقارنة بين النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها في هذا العمل، والنتائج النظرية إلى أن التطابق جيداً بينهما.

يُعتبر هذا العمل أساسياً في فهم تبعثر رذرفورد وآلية قياس المقطع العرضي التفاضلي لهذا المفعول، إذ يمكن التوصية باستخدام طاقات متنوعة لجسيمات ألفا، وأهداف مختلفة أيضاً أي ذات عدد ذري متنوع غير الألمنيوم والذهب من باب المقارنة.

المراجع:

- [1] E. H. Wickmann, *Quantum Physics*. Berkeley course, New York, McGraw Hill, 1967, Chap. 6 and 9.
- [2] E. Merzbacher, *Quantum Mechanics*. New York, John Wiley, 1962, chap. 12.
- [3] C. Cohen-Tannoudji, B. Diu et F. Laloë, *Mécanique Quantique*. Paris, Hermann, 1973, chap. VIII.
- [4] Messiah, *Mécanique Quantique*. Paris, Dunod, 1960. Vol. 1, chap. X.
- [5] L. Landau et E. Lifchitz, *Mécanique Quantique*. Moscou, Mir, 1966, chap. XVII et XVIII.
- [6] R. D. Evans, 1955, appendice B, paragraphe 3g.
- [7] Luc Valentin, *Physique subatomique: noyaux et particules*. Enseignement des sciences. Hermann, Paris, 1975, chap. I, 7-24.
- [8] ORTEC, *Rutherford scattering of Alphas from Thin Gold Foil*. Experiment 15, 85-87.
- [9] *Atomic and Nuclear Physics, Radioactivity, Detection of Radioactivity*, Printed in the Federal Republic of Germany by Leybold Didactic GmbH, 2007.
- [10] J. Jabbour et al., *Analytical and experimental study of energy loss of the radiation alpha in function of target atomic number Z*. Accepted for publication in Tishreen University Journal, 2012.