

حساب المعامل الحركي والمقطع العرضي ومعدل فقدان الطاقة لعنصري الجرمانيوم والفضة باستخدام مطيافية الإستطارة الخلفية لردرفورد

اسماعيل ميلاد اشميلة¹، خديجة عيسى قحواط¹، جمال علي خليل²
¹قسم الفيزياء ، كلية التربية/الخمسة - جامعة المرقب
²قسم الفيزياء ، كلية العلوم/ جامعة مصراته
 Email: jamalali8887@yahoo.com

الملخص

في هذا البحث تم إجراء دراسة نظرية لحساب المعامل الحركي، والمقطع العرضي ومعدل فقدان الطاقة لعنصري الجرمانيوم (Ge) والفضة (Ag) وشرط رذرفورد للإستطارة الخلفية والتي تتحقق بقذف العنصرين بأيونات الهليوم بطاقة (2-5 MeV)، وتم معالجة المعادلات بطرق رياضية للحصول على النتائج، وتمت مقارنة هذه النتائج مع نتائج دراسات عملية سابقة. أن قيمة المعامل الحركي تكون مساوية للصفر تقريباً عند تساوي الكتل الذرية للأيونات الساقطة مع الكتل الذرية للهدف، ومن هنا نستنتج بان الإستطارة الخلفية تحصل عندما تكون الكتل الذرية للأيونات الساقطة أصغر من الكتل الذرية لمادة الهدف، وهذا هو شرط حصول الإستطارة الخلفية لردرفورد. وان قيمة المعامل الحركي أكبر ما يمكن عندما تكون زاوية الإستطارة صفر، حيث تقل قيمة المعامل الحركي تدريجياً عند زيادة زاوية الإستطارة لحد القيمة (90°)، وتكون قيمته تقريباً ثابتة في مدى الزوايا (180° < θ < 90°)، زيادة على ذلك تم ملاحظة أن المقطع العرضي التفاضلي يقل تدريجياً مع زيادة زاوية الإستطارة.

كلمات مفتاحية: العامل الحركي - الإستطارة الخلفية لردرفورد - المقطع العرضي التفاضلي - العيوب في البلورة - الكتل الذرية.

2. العمليات الذرية تعتمد على كيفية اختيار نوع الأيونات الساقطة وذرة الهدف لذلك فإن تحديد أعلى قيمة لطاقة الجسيم الساقط

المقدمة

تعد استطارة رذرفورد أحد التقنيات المستخدمة لتحليل مكونات سطح المواد وهي من التقنيات المهمة التي استخدمت في مجالات عديدة منها كشف العيوب في البلورة وتتبع المسارات النووية في المواد الصلبة، كما أن لها الفضل في تطوير التقنيات الحديثة كتقنية مطيافية الإستطارة الخلفية لردرفورد

Rutherford

Backscattering Spectrometry والتي يمكن معرفة المعامل الحركي K (Kinematic factor) الذي يقودنا إلى معرفة الكتل الذرية المكونة للهدف، وكذلك المقطع العرضي

التفاضلي للإستطارة (Differential Scattering cross Section)، وهذا يقودنا إلى التحليل الكمي للمكونات الذرية، وكذلك المقطع العرضي للإيقاف (Stopping Cross Section) الذي

يمثل قدرة الإيقاف لطاقة الأيونات الساقطة أثناء اختراقها للهدف داخل أعماق مختلفة، ويمكن كذلك الاستفادة من التراوح الإحصائي

(Statistical Fluctuation) لفقدان طاقة الأيونات الساقطة من خلال اختراقها مادة الهدف وسميت بالإستطارة الخلفية لردرفورد

(Rutherford Backscattering) الناتجة عن القذف للهدف بجسيمات ألفا بطاقات تتراوح بين (2-3 MeV) واختراقها للهدف،

وتعتمد هذه الإستطارة المرنة (Elastic Scattering) على زاوية الإستطارة الخلفية والتي ق أكبر من 90° (θ > 90°) [1,2,10,5].

عند اختراق الجسيمات المشحونة للمادة فإنها تفقد جزء من طاقتها نتيجة لتصادمها مع ذرات الهدف، وتسمى النسبة بين الطاقة المفقودة وبين المسافة التي تقطعها الجسيمات المشحونة داخل الهدف قدرة

إيقاف المادة (Stopping Power) أو معدل فقدان الطاقة الإلكتروني والذي يعبر عنه رياضياً بـ [12] (dE/dX).

ولما لهذه التقنية من أهمية، كما سبق وأن ذكر، ونظراً لتعدد توفر بعض الأجهزة العملية الخاصة بهذه القياسات جاءت فكرة استخدام

تقنية الحاسوب والطرق الرياضية لحساب القيم التي تحقق شرط رذرفورد للإستطارة نظرياً ومقارنتها مع النتائج العملية [1,2,3,4].

الأساس النظري

أولاً: المعامل الحركي

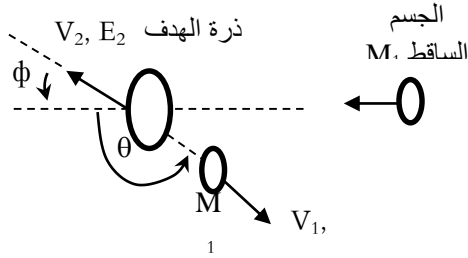
إن الطاقة المفقودة أثناء اختراق الأيونات للهدف تمثل بالمعامل الحركي (K)، والذي يعتمد على كتلة الأيونات الساقطة (M₁) وكتلة الهدف (M₂) وزاوية الإستطارة الخلفية (θ) عند حدوث التصادم

المرن بين الجسيم الساقط وذرة الهدف، ولحدوث التصادمات الذرية بين جسيمين يتطلب الخضوع للشروط الآتية [10,12]:

1. طاقة الأيونات الساقطة (E₀) يجب أن تكون أكبر بكثير من طاقة ترابط ذرات الهدف.

(E₀) تتغير حسب الحالة، فعندما يكون الشعاع الساقط مكون من أيونات الهيدروجين (H⁺) فإن طاقته ستكون (1MeV) لأن التأثيرات النووية ستظهر بطاقة أقل من (1MeV)، وإذا كان الشعاع مكون من أيونات الهليوم (He⁺) فإن طاقته ستكون (2-3 MeV) لأن التأثيرات النووية ستظهر بطاقة أقل من (2-3 MeV).

3. في التصادمات المرنة البسيطة بين الجسيم الساقط الذي كتلته (M₁) وسرعته (V₀) والهدف الساكن ذو الكتلة (M₂) يتحقق قانوني حفظ الطاقة وكمية الحركة (الزخم)، وبعد التصادم يصبح كل من الجسيم الساقط والهدف بسرعات وزوايا مختلفة هي (V₁، θ، V₂، φ) على الترتيب كما موضح في الشكل (1).



شكل (1) التشتت والأستطارة التي تحدث للأيون مع ذرة الهدف بعد التصادم

ومن خلال قانوني حفظ الطاقة والزخم الذي ينص على أن الطاقة والزخم قبل التصادم يساوي الطاقة والزخم بعد التصادم والممثل بالآتي:

$$\frac{1}{2} M_1 V_0^2 = \frac{1}{2} M_1 V_1^2 + \frac{1}{2} M_2 V_2^2 \quad (1)$$

$$M_1 V_0 = M_1 V_1 \cos \theta + M_2 V_2 \cos \phi \quad (2)$$

$$0 = M_1 V_1 \sin \theta + M_2 V_2 \sin \phi \quad (3)$$

من المعادلات السابقة نحصل على:

$$M_1^2 V_0^2 - 2M_1^2 V_0 V_1 \cos \theta + M_1^2 V_1^2 \cos^2 \theta = M_1 M_2 V_0^2 + M_1 V_1^2 [M_2 + M_1 \sin \theta] \quad (4)$$

$$\left(\frac{V_1}{V_0}\right)^2 \{M_1^2 \cos^2 \theta + M_1 [M_2 + M_1 \sin^2 \theta]\} - \left(\frac{V_1}{V_0}\right) 2M_1^2 \cos \theta + M_1 [M_1 - M_2] = 0 \quad (5)$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{4E_0} \right)^2 \cdot \frac{4}{\sin^4 \theta} \cdot \frac{\left[1 - \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \sin^2 \theta \right]^{\frac{1}{2}} + \cos \theta}{\left[1 - \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \sin^2 \theta \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (14)$$

ثالثاً: معدل فقدان الطاقة الإلكتروني (قدرة الإيقاف الإلكتروني) عند اختراق الأيونات لمادة الهدف فإن معدل فقدان الطاقة الإلكتروني في مادة الهدف سيحدث بتأثير قوة كولوم الناتجة بين الأيونات الساقطة والإلكترونات ذرات مادة الهدف، ويعتمد معدل فقدان الطاقة على قوة التصادم حيث عندما تكون هذه القوة صغيرة ستحدث (إثارة) لهذه الذرات، أما عندما تكون قوة التصادم كبيرة بدرجة تكفي لإنتزاع الإلكترون من مداره إلى خارج الذرة والذي يؤدي بدوره لحدوث (التأين) [7,8]، وينتج عن ذلك فقدان طاقته تدريجياً وتقليل سرعته. وقد يحدث أيضاً فقدان طاقة الأيونات الساقطة على مادة الهدف نتيجة للتصادم مع نواة الذرة، لذا يمكن كتابة قدرة الإيقاف بالصيغة الآتية:

$$\frac{dE}{dX} = \left(\frac{dE}{dX} \right)_n + \left(\frac{dE}{dX} \right)_e \quad (15)$$

إن معدل فقدان الطاقة يعتمد على العدد الذري (Z_1) وطاقة الأيونات الساقطة (E_0)، وتخضع لأحد الشرطين الآتيين: أولاً: عندما تكون طاقة الأيونات الساقطة صغيرة والعدد الذري كبير فإن:

$$\left(\frac{dE}{dX} \right)_n \gg \left(\frac{dE}{dX} \right)_e$$

وعليه فإن:

$$\frac{dE}{dX} = \left(\frac{dE}{dX} \right)_n$$

ثانياً: عندما تكون قيمة طاقة الأيونات الساقطة كبيرة والعدد الذري لها صغير فإن:

$$\left(\frac{dE}{dX} \right)_e \gg \left(\frac{dE}{dX} \right)_n$$

وعليه فإن:

$$\frac{dE}{dX} = \left(\frac{dE}{dX} \right)_e$$

إن معدل فقدان الطاقة الإلكتروني يكون أكبر بكثير من معدل فقدان الطاقة النووي، ويمكن حساب معدل فقدان الطاقة الإلكتروني من معادلة بيت (Bethe Formula):

$$\left. \frac{dE}{dX} \right|_e = \frac{2\pi Z_1^2 e^4}{E} N Z_2 \left(\frac{M_1}{m_e} \right) \ln \frac{2m_e V^2}{I} \quad (16)$$

حيث I طاقة التهييج ($I \cong 10Z_2$)، E طاقة الأيونات الساقطة، M_1 سرعة الأيونات الساقطة $V^2 = \frac{2E}{M}$ ، N الكثافة الذرية للهدف، Z_2 و Z_1 كتلة الأيونات الساقطة، والعددان الذريان للأيون الساقط والهدف على التوالي، m_e كتلة الإلكترون ($m_e = 0.000549$ amu)

النتائج والمناقشة

أولاً: حساب المعامل الحركي

عند رسم العلاقة بين المعامل الحركي وزوايا الإستطارة لعدد من المواد التي قذفت بأيونات الهليوم بطاقة ($2MeV$)، والموضحة بالشكل (2) نلاحظ من الشكل (2) أن قيمة المعامل الحركي أكبر ما يمكن عندما تكون زاوية الإستطارة صفر، ثم تقل قيمة المعامل الحركي تدريجياً عند زيادة زاوية الإستطارة إلى القيمة (90°)، وتكون قيمته

$$\left(\frac{V_1}{V_0} \right)^2 = \left[\pm \frac{\sqrt{M_2^2 - M_1^2 \sin^2 \theta} + M_1 \cos \theta}{(M_2 + M_1)} \right]^2 \quad (6)$$

إن الطاقة المفقودة أثناء اختراق الأيونات للهدف، ستمثل بالمعامل الحركي (K)، الذي يربط بين طاقة الأيونات الساقطة وطاقة الأيونات المنتشرة والذي تمثله المعادلة الآتية:

$$E_1 = KE_0 \quad (7)$$

$$K = \left[\frac{\sqrt{1 - \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \sin^2 \theta} + \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \cos \theta}{1 + (M_2 + M_1)} \right]^2 \quad (8)$$

نفرض أن ($X = \frac{M_1}{M_2}$) ستكون صيغة المعادلة (8) كالآتي:

$$K = \left[\frac{(1 - X^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}} + X \cos \theta}{1 + X} \right]^2 \quad (9)$$

عندما تكون ($\theta = 0^\circ$) فإن:

$$K = \left[\frac{1 - X}{1 + X} \right]^2 \quad (10)$$

أما عندما تكون ($\theta = 90^\circ$) فإن:

$$K = \left[\frac{1 - X}{1 + X} \right] \quad (11)$$

نلاحظ من المعادلتين (10)، (11) بأن قيمة المعامل الحركي عند الزاوية ($\theta = 90^\circ$) تساوي الجذر التربيعي للمعامل الحركي عند الزاوية ($\theta = 180^\circ$).

ثانياً: المقطع العرضي التفاضلي للإستطارة

عند اصطدام الجسيم بمساحة المقطع العرضي للتصادم فإنه سوف تتفاعل مع النواة الهدف وعليه كلما زادت مساحة المقطع زادت احتمالية التفاعل مع النواة الهدف، وتتباين مساحة مقطع التفاعل للنواة الهدف تبعاً لطبيعة التفاعل وطاقة الجسيمات الساقطة، ويرمز للمقطع العرضي بالرمز (σ).

عند سقوط جسيمات ألفا بسرعة ثابتة على الهدف فإنها تستطير بزوايا إستطارة (θ)، وبعدها تكشف بواسطة كاشف الحاجز السطحي (Surface Barrier Detector) بزوايا صلبة ($d\Omega$) (Solid angle) وإن عدد الجسيمات التي يسجلها الكاشف خلال المقطع العرضي التفاضلي للإستطارة، فإذا كان سمك مادة الهدف t والكثافة الذرية للهدف N فإن المقطع العرضي التفاضلي يكون:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{1}{Nt} \right) \left[\frac{dQ/d\Omega}{Q} \right] \quad (12)$$

حيث Q العدد الكلي للجسيمات الساقطة، وهذه المعادلة تمثل احتمالية حدوث التصادمات المرنة بين الجسيمات الساقطة وذرات الهدف.

إن العدد الكلي للجسيمات المنتشرة (A) يمكن تمثيلها بالمعادلة الآتية:

$$A = \sigma \Omega \cdot Q \cdot Nt \quad (13)$$

$d\sigma$

العامل الحركي (K) والمقطع العرضي التفاضلي للاستطارة ($d\Omega$) لعنصري الفضة والجرمانيوم وهذه القيم استخدمت في الحسابات التي أجريت يوضح القيم المستخدمة لدراسة مطيافية RBS.

الجدول (1) يوضح القيم المستخدمة لدراسة مطيافية لعنصري الفضة والجرمانيوم.

العنصر	العدد الذري Z	M (atom)	N tom/mm ²	المعامل الحركي K	مقطع عرضي تفاضلي للاستطارة $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ (nm ² /steradan)
Ag	47	107.8682	58.6	0.881006	$1 \times 4.71687 \times 10^9$
Ge	32	72.59	44.37	0.828302	$1 \times 2.18746 \times 10^9$

رابعاً: حساب معدل فقدان الطاقة الالكتروني (أو قدرة الإيقاف الالكتروني):

تم حساب معدل فقدان الطاقة لجسيمات الفا لعنصري الفضة (Ag) والجرمانيوم (Ge) باستخدام المعادلة (16). وعند مقارنة النتائج النظرية المتحصل عليها مع النتائج العملية السابقة [1] المتحصل عليها. لوحظ توافقاً جيداً عند الطاقة (2MeV) المستخدمة في مطيافية الإستطارة الخلفية لردفورد مع النتائج العملية، وقد وجد أن معدل نسبة الخطأ المئوي بين الدراسة الحالية والنتائج العملية بحدود 1% وهذا الاختلاف البسيط يمكن أن يعزى إلى دقة القياسات العملية والظروف التي أجريت فيها. والشكلين (4) و(5) يوضحان هذا الاختلاف البسيط بين الدراستين، والجدول (2) يبين قيم معدل فقدان الطاقة لقيم مختلفة من طاقات السقوط لأيونات الهليوم بين (5MeV-2) ولقد تم التعويض في المعادلة (16) بالقيم الآتية

لعنصري الفضة والجرمانيوم.

$$m_e = 0.000549 \text{ amu (u)}$$

$$e^2 = 1.44 \text{ ev} \cdot \text{nm}$$

$$M_1 = 4.0063$$

$$\text{Ag}($$

$$Z=2$$

$$I=8.23 * Z(2)$$

$$N=58.6$$

$$\text{Ge}($$

$$Z=4$$

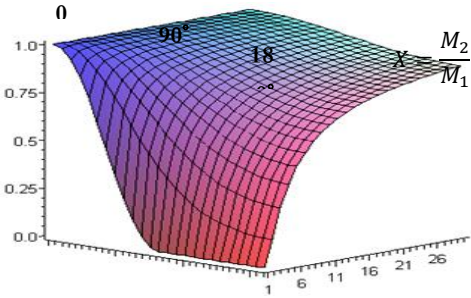
$$I=10 * Z(2)$$

$$N=44.5$$

الجدول (2) قيم معدل فقدان الطاقة لقيم السقوط لأيونات الهليوم

عنصر الجرمانيوم (Ge)	معدل فقدان الطاقة الالكتروني		طاقة الأيونات الساقطة	
	eV/nm (dE/dX)		E ₀ MeV	
	عنصر الفضة (Ag)			
	TRIM	RBS	TRIM	RBS
2	54.33	54.55	32.20	33.13
3	45.65	48.51	27.88	29.35
4	39.66	42.41	25.00	25.88
5	35.32	39.87	21.91	23.1

تقريباً ثابتة في مدى الزوايا ($90^\circ < \theta < 180^\circ$)، بالإضافة لذلك لودحظ أن تغير العامل الحركي يكون طفيفاً عندما تكون الكتل الذرية للأهداف كبيرة، ويعود السبب في ذلك إلى كثرة التصادمات مع إلكترونات مادة الهدف التي تكون كثيرة في هذه الحالة. ونلاحظ أيضاً بأن العامل الحركي تكون قيمته مساوية للصفر تقريباً عندما تكون الكتل الذرية للأيونات الساقطة M_1 والكتل الذرية للهدف M_2 متساوية، ومن هنا نستنتج بأن الإستطارة الخلفية تحصل عندما تكون الكتل الذرية للأيونات الساقطة أصغر من الكتل الذرية لمادة الهدف وهذا هو شرط حصول الإستطارة الخلفية لردفورد.

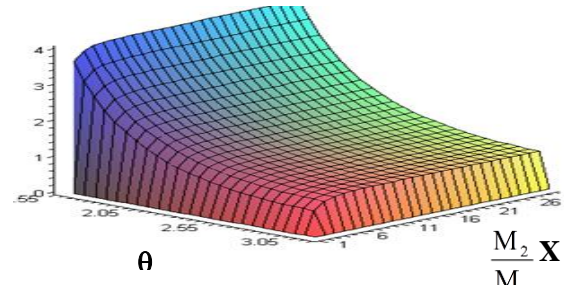


شكل (2) العلاقة بين المعامل الحركي وزوايا الاستطارة عند الطاقة

ثانياً: حساب المقطع العرضي التفاضلي للإستطارة

وقد تم حساب المقطع العرضي التفاضلي للإستطارة كدالة لزوايا الإستطارة لعدد من المواد التي قدفدت بأيونات الهليوم بطاقة 2MeV، وبإجراء الحسابات المطلوبة باستخدام برنامج (Maple11) بالاعتماد على المعادلة (14) لتوضيح علاقة المقطع العرضي التفاضلي كدالة لزوايا الإستطارة، وقد تم حساب المقدار $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right) = \frac{z_1 z_2 e^2}{4E_0}$ كدالة لزوايا الإستطارة من 90° إلى 180° لقيم مختلفة من الكتل الذرية للهدف. وقد لوحظ من الشكل (3) أن المقطع العرضي التفاضلي يقل تدريجياً عند زيادة زاوية الإستطارة لجميع مواد الهدف ذي الكتل الذرية المختلفة، وقد لوحظ أيضاً أنه بالقرب من زاوية الإستطارة (180°) يكون تغير المقطع العرضي التفاضلي للإستطارة طفيفاً.

$$\frac{d\sigma/d\Omega}{\left(\frac{z_1 z_2 e^2}{4E_0}\right)}$$



ثالثاً: حساب العامل الحركي والمقطع العرضي للإستطارة عند

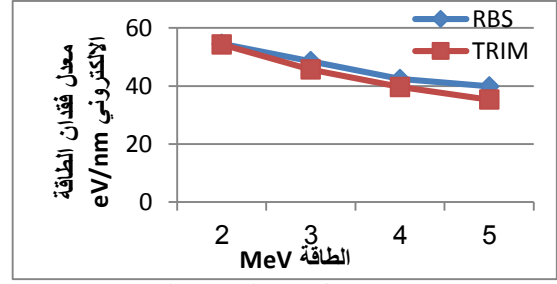
قصف نظام ثنائي الطبقة (Ag/Ge) بأيونات الهليوم

لحساب شكل (3) المقطع العرضي التفاضلي للإستطارة كدالة لزوايا الإستطارة لعدد من المواد التي قصفبت بأيونات He+ بطاقة (2MeV)

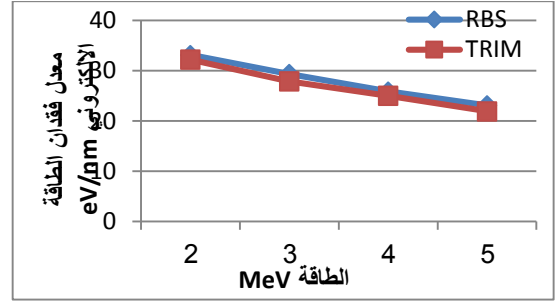
العامل الحركي والمقطع العرضي التفاضلي للإستطارة بالاعتماد على المعادلتين (9) و (14) وعند قصف النظام (Ag/Ge) ثنائي الطبقة بأيونات الهليوم حُسبت هذه القيم بطاقة سقوط عمودي $E_0 = 2\text{MeV}$ على طبقة الفضة والجرمانيوم، ويوضح الجدول (1) قيم

12. Iv Mitchell, Rutherford Back Scattering Bull, Vol. 30 printed In Great Britain, 1989.

13. AL-Da amy, S. A., Quantum and Classical of Electronic Stopping for the Cluster Ions ,



شكل (4): معدل فقدان الطاقة في الفضة



شكل (5): معدل فقدان الطاقة في الجرمانيوم

المراجع

أولاً: المراجع العربية:

1. بثينة عبد المنعم إبراهيم، استخدام مطيافية الاستطارة الخلفية لرذرفورد لدراسة تأثير الإشعاع على نظام Ag/Ge ثنائي الطبقة، مجلة العلوم الأساسية التطبيقية المجلد 15 العدد 2، طرابلس- ليبيا 2005.
2. مالك الرحية، دراسة الانتشار في الأفلام الرقيقة الثنائية بطريقة تبعثر رذرفورد المرتد، مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية، سلسلة العلوم الأساسية المجلد 28 العدد 1، 2006.
3. غلي نول ترجمة مريم مختار عتيق، كشف وقياس الإشعاعات، دار الكتب الوطنية، بنغازي- ليبيا، 2006.
4. محمد شحادة الدغمة، فيزياء الإشعاع قياساته وتطبيقاته العملية، معهد الانماء العربي، الطبعة الأولى، بيروت- لبنان، 1998.
5. فخري إسماعيل حسن، مقدمة في الفيزياء الحديثة، دار المريخ للنشر الرياض، المملكة العربية السعودية، 2003.
6. بشير علي القائد، البرمجة باستخدام لغة ++C، كلية العلوم جامعة طرابلس منشورات ELGA ، 2005.
7. راشد عويد، شهلة عبد السادة، حساب قدرة الإيقاف الإلكتروني للجسيمات المشحونة باستخدام عامل التصادم، مجلة القادسية للعلوم الصرفة جامعة الكوفة، المجلد 19 العدد 2 ، 2014.
8. ايمان حمود عبد الله، دراسة مدي الجسيمات المشحونة الثقيلة لبعض العناصر والمركبات في مدي الطاقة (0.3-110MeV) ، مجلة جامعة بابل للعلوم الصرفة والتطبيقية، المجلد 23 العدد 3، 2015.

ثانياً المراجع الأجنبية:

9. Wei- Kan Chu, Tames W. Mayer, and Marc A. Nicolle., Back Scattering Spectrometry, Academic press, 1987.
10. Ming Zhao, High Reslution Rutherford Back Scattering Spectroscopy, Kyoto. Japan, 2008.
11. Mighael. Nastast, Jamesw. Mater, Tames k. Hlrvonen, Ion- Soltld Interactions: Fundamentals And Applications, Gambndeg University, 1996.

