

دراسة ثباتية حمض الأسكوربيك في محاليله المائية

إيمان خليل شلفوح*¹، محمد اعتيقة الباقرمي¹، المهدي محمد عامر²
¹قسم الكيمياء، كلية العلوم، جامعة مصراتة، مصراتة، ليبيا
²قسم الكيمياء، كلية التربية، جامعة مصراتة، مصراتة، ليبيا

Email: emanshalfah@gmail.com

الملخص

تناول هذا البحث دراسة تأثير درجة الحرارة على تحلل حمض الأسكوربيك (فيتامين C) بتركيز 20ppm عند درجات حرارة 30، 40، 50، 60 °C وأوضح النتائج أنه كلما زادت درجة الحرارة زاد تحلل فيتامين C وأن التفاعل يتبع للدرجة الصفرية، وتم إيجاد الثوابت الترموديناميكية لهذا التفاعل، وأيضاً تم دراسة تأثير درجة الحموضة على عملية تحلل فيتامين C عند أرقام هيدروجينية (2، 5، 7، 8) حيث اتضح من النتائج انخفاضاً بسيطاً في الامتصاص عند pH=2، pH=5، مما يدل على استقرارية فيتامين C، أما عند pH=7، pH=8 لوحظ تحلل الفيتامين بشكل أسرع بمتابعة شدة الامتصاص عند 265nm، و النتائج متفقة مع معادلة الدرجة الأولى.

الكلمات المفتاحية: فيتامين C. ثباتية حمض الاسكوربيك، تأثير درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني

المقدمة Introduction

فيتامين C المعروف أيضاً بـحمض الأسكوربيك هو أهم فيتامين للتغذية البشرية التي يتم توفيرها من الفواكه والخضروات وهو عنصر غذائي قيم بسبب خصائصه المضادة للأكسدة والعلاجية [1] لا يستطيع جسم الإنسان تخليقه وبالتالي يجب الحصول على فيتامين C من خلال النظام الغذائي [2].

فيتامين C مادة متبلورة عديمة اللون والرائحة تنصهر عند 190-192 °C إذوب بسهولة في الماء وبقلة في الأستون والكحول ولكنه لا إذوب في البنزين والكلوروفورم والدهن [3] ويسهل تحلله في حالة وجوده على شكل محلول، بينما يكون ثابتاً إذا كان في الحالة الصلبة [4] وصيغته 3,4-(R)-5-((S)-1,2-dihydroxyethyl)- dihydroxyfuran-2)5H one

الكتلة المولية g/mol 176.12 والكثافة 1.65g/cm³ [6,5] يعتبر

فيتامين C حساس جداً للحرارة لذلك عملية الطهي وكثرة التسخين والتبريد يسبب في هدمه لهذا الطعام المطهي لا يمكن اعتباره مصدراً جيداً لفيتامين C [7].

وقد تم دراسة حركية حمض الأسكوربيك في درجات حرارة مختلفة، أجريت هذه الدراسة تحت ظروف درجات حرارة من 50-90 °C عند pH=3.8 أجريت الدراسة على مهروس التفاح حيث أخذت عينات عند فترات منتظمة وتم التقدير الطيفي لحمض الأسكوربيك عند طول موجي 243nm أظهرت النتائج زيادة تحلل حمض الأسكوربيك مع زيادة درجات الحرارة، كذلك أظهرت البيانات أن التفاعل من الدرجة الأولى [8].

الجزء العملي

المواد وطرق البحث:

حمض الأسكوربيك - هيدروكسيد الصوديوم - كلوريد الصوديوم - حمض الخليك - فوسفات الصوديوم أحادية الهيدروجين - فوسفات الصوديوم ثنائية الهيدروجين.

محاليل المواد الكيميائية المستخدمة:

- محلول من حمض الأسكوربيك بتركيز 20ppm

حضر المحلول الأصلي بتركيز 1000ppm حيث وزن (0.1g) من حمض الأسكوربيك وذوب في كأس بواسطة ماء مقطر ثم نقل إلى دورق قياسي سعته 100 ml وأكمل بالماء المقطر حتى العلامة، وأخذ من هذا المحلول 1 ml بواسطة ماصة حجمية إلى دورق قياسي سعته 50ml وأكمل بالماء المقطر حتى العلامة.

- المحاليل المنظمة

1-تحضير محلول pH=2 بتركيز 0.1M (حمض الهيدروكلوريك 0.01M وشدة أيونية 1M)

حضر محلول من حمض الهيدروكلوريك بتركيز 1M حيث أخذ من العبوة الأصلية 8.4ml من الحمض بواسطة الماصة ووضعت في

دورق قياسي سعته 100ml وأكمل الحجم بالماء المقطر حتى العلامة.

ومن هذا المحلول حضر محلول اخر بتركيز 0.01 M

(أخذ 2.5ml من المحلول بواسطة الماصة ووضعت في دورق قياسي سعته 250ml) وتم ضبط الشدة الأيونية عند 1 M باستخدام كلوريد الصوديوم

-تحضير محلول pH=5 بتركيز 0.1M (حمض الخليك 1M، هيدروكسيد صوديوم 1M، شدة أيونية 1M)

أخذ 50ml من حمض الخليك تركيزه 1M وضع في دورق قياسي سعته 500ml أضيف إليه 32.5ml من هيدروكسيد الصوديوم و233.75ml من كلوريد الصوديوم وأكمل الحجم بالماء المقطر حتى العلامة.

3-تحضير محلول PH=7 بتركيز 0.1M (فوسفات الصوديوم أحادية الهيدروجين 1M، فوسفات الصوديوم ثنائية الهيدروجين 1M، شدة أيونية 1M)

أخذ 30.75ml من فوسفات الصوديوم أحادية الهيدروجين تركيزها 1M في دورق قياسي سعته 500ml وأضيف إليه 19.25ml من فوسفات الصوديوم ثنائية الهيدروجين تركيزها 1M وكذلك 225ml من محلول كلوريد الصوديوم تركيزه 2M وأكمل الحجم بالماء المقطر حتى العلامة.

4-تحضير محلول pH=8 بتركيز 0.1M (فوسفات الصوديوم أحادية الهيدروجين 1M، فوسفات الصوديوم ثنائية الهيدروجين 1M، شدة أيونية 1M)

أخذ 23.5ml من فوسفات الصوديوم أحادية الهيدروجين تركيزها 1M في دورق قياسي سعته 250ml وأضيف إليه 6ml من فوسفات الصوديوم ثنائية الهيدروجين تركيزها 1M و 27.5 ml من محلول كلوريد الصوديوم تركيزه 2M وأكمل الحجم بالماء المقطر حتى العلامة.

محاليل المعايرة

1-محلول هيدروكسيد الصوديوم 0.5M

وزن 2g من هيدروكسيد الصوديوم وأذيب في كأس بواسطة الماء المقطر ونقل إلى دورق قياسي سعته 100ml وأكمل الحجم بالماء المقطر حتى العلامة وتم ضبط الشدة الأيونية عند 1M باستخدام كلوريد الصوديوم.

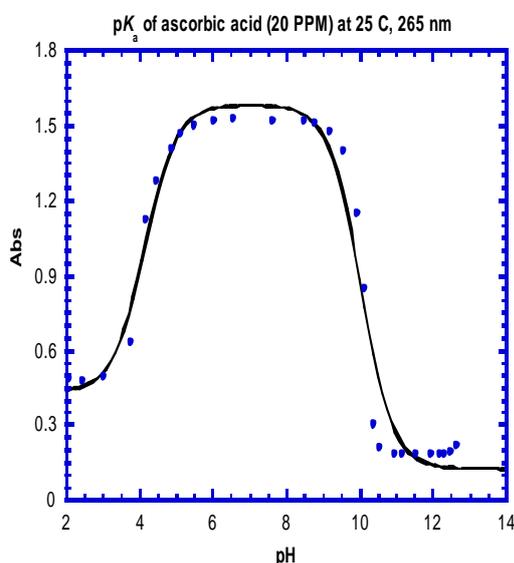
2-محلول هيدروكسيد الصوديوم 0.1M

وزن 0.4g من هيدروكسيد الصوديوم وأذيب في كأس بواسطة الماء المقطر ونقل إلى دورق قياسي سعته 100ml وأكمل الحجم بالماء المقطر حتى العلامة وتم ضبط الشدة الأيونية عند 1M باستخدام كلوريد الصوديوم.

-تأثير درجة الحرارة على ثباتية الفيتامين

عند دراسة تأثير درجة الحرارة على تحلل فيتامين C تم استخدام محلول من حمض الأسكوربيك بتركيز 20ppm ووضع في حمام مائي عند درجات حرارة 30، 40، 50، 60 °C وتم تتبع تحلل المحلول

مائي لحمض الأسكوربيك تركيزه 20ppm عند 25°C وشدة أيونية 1M، والمتمثلة في الشكل (2)، والذي يتضح منه أن شدة الامتصاص عند 265nm كانت أعلى ما يمكن خلال مدى 9-5 pH والذي يكون حامض الأسكوربيك خلال هذا المدى في صورة أحادي التآين.



شكل (2) يوضح العلاقة بين قيم pH والامتصاص

ومن المعادلة المطبق بها في الشكل (2) تم الحصول على القيم التالية:
 $pK_{a1}=4.13$, $pK_{a2}=10.03$

2-تأثير درجة الحرارة على تحلل فيتامين C
 لتقدير استقرارية فيتامين C ومقاومته لدرجات الحرارة تمت دراسة تأثير درجة الحرارة على ثابت معدل التفاعل k لفيتامين C في محلوله المائي عند درجات حرارة (60,50,40,30)°C وتم متابعة تقدم التفاعل بمتابعة انخفاض شدة الامتصاص مع الزمن عند طول موجي 265nm.

لإيجاد رتبة التفاعل لتحلل فيتامين C في محلوله المائي تم اختيار التفاعل الأسرع عند 60°C ومتابعة التفاعل إلى نهايته ثم التطبيق في معادلتى الرتبة الأولى والصفيرية ويتضح من الشكلين (3) و(4) أن النتائج المتحصل عليها لا تتفق مع معادلة الدرجة الأولى بينما تتفق تماما مع المعادلة الصفيرية مع معامل ارتباط مرتفع ($R=0.9992$).

جدول (1) يوضح درجات الحرارة وثابت سرعة التفاعل ونصف العمر لتحلل فيتامين C

درجة الحرارة C°	ثابت سرعة التفاعل k $M. min^{-1}$	نصف العمر $(t/2)$ Min
30	0.0031	189
40	0.0057	40
50	0.0092	29
60	0.0231	19

بواسطة جهاز (Cary60 UV-visible Spectrophotometric) عند طول موجي 265nm.

-تأثير الرقم الهيدروجيني (pH)

1-تأثير تغير pH على ثباتية فيتامين سي

استعملت المحاليل المنظمة في تتبع تحلل فيتامين C حيث حضر محلول الفيتامين بتركيز 20ppm وتم تكملة الحجم بالمحلول المنظم بدلا من الماء المقطر ووضع في حمام مائي درجة حرارته 40 °C وتم تتبع التحلل بواسطة uv-spectrophotometer عند طول موجي 265nm.

2 -المعايرة الطيفية

أجريت معايرة طيفية لمتابعة التغير في طيف امتصاص حامض الأسكوربيك عند 25 °C بإضافة محلول هيدروكسيد الصوديوم وإجراء مسح للامتصاص بعد كل إضافة وتسجيل الرقم الهيدروجيني في كل مرة.

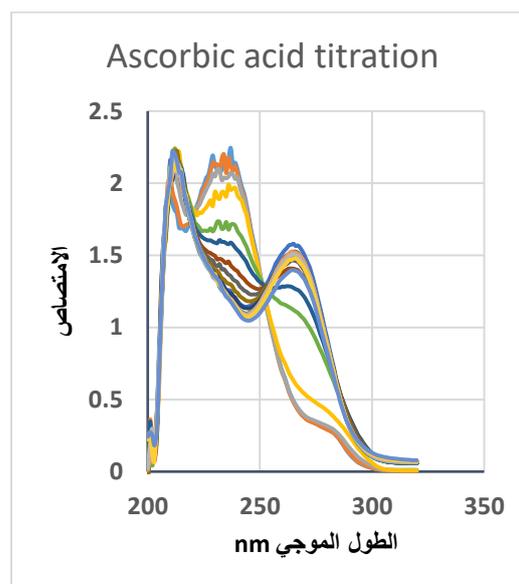
النتائج والمناقشة

1-معايرة فيتامين C:

يملك فيتامين C أهمية حيوية كونه من أشهر المواد المضادة للأكسدة الطبيعية، ولكن على الرغم من ذلك لا يتوفر عدد كبير من الأبحاث التي اهتمت بدراسة اتران حامض-قاعدة لهذا المركب، لذلك تم إجراء معايرة بواسطة جهاز طيف الاشعة المرئية وفوق البنفسجية في المحلول المائي ضمن المدى من ال pH (2-10).

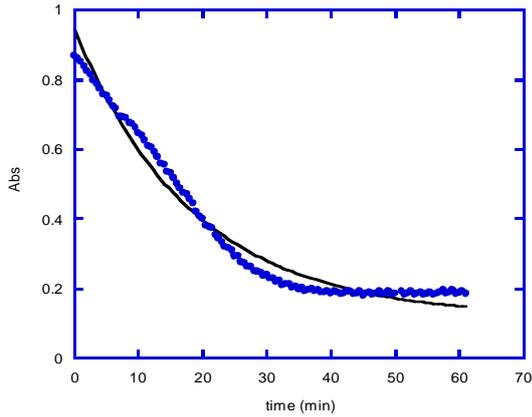
أجريت هذه المعايرة عند درجة حرارة 25 °C وكان تركيز فيتامين C 20ppm وشدة أيونية 1M (حيث تم ضبط الشدة الأيونية بإضافة NaCl) وتمت المعايرة باستخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم، حيث كان تركيز محلول NaOH المستخدم 0.5M في المحاليل الحامضية (خلال المدى من ال pH 2 - 3) تم استخدام محلول NaOH بتركيز 0.1M خلال مدى ال pH من (3 - 10).

وتم إجراء مسح للامتصاص خلال المدى من 200 إلى 320 nm وقياس pH المحلول بعد كل إضافة من محلول القاعدة، أدى إضافة المحلول القاعدي إلى حدوث إزاحة في قمة الامتصاص إلى طول موجي أعلى. حيث انخفضت شدة الامتصاص عند 235nm مع زيادة قيمة ال pH مع ظهور قمة امتصاص جديدة عند طول موجي 265nm وهذا يؤكد تكون شكلين أيونيين يختلفان عن بعضهما في خواص امتصاص الضوء، كما يتضح ذلك من الشكل (1).

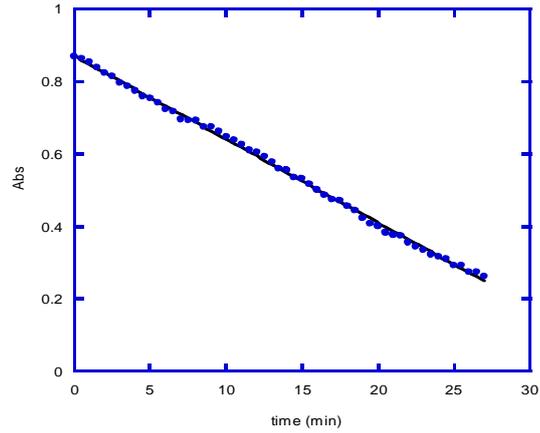


شكل (1) معايرة فيتامين C

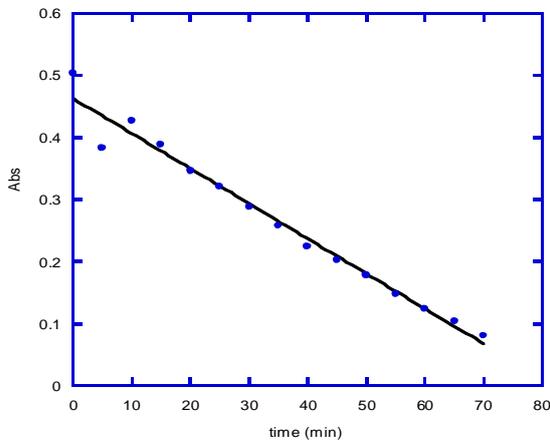
لتقدير قيمتي pK_a لحمض الأسكوربيك تحت هذه الظروف تم رسم العلاقة بين قيم ال pH مقابل قيم الامتصاص عند 265nm لمحلول



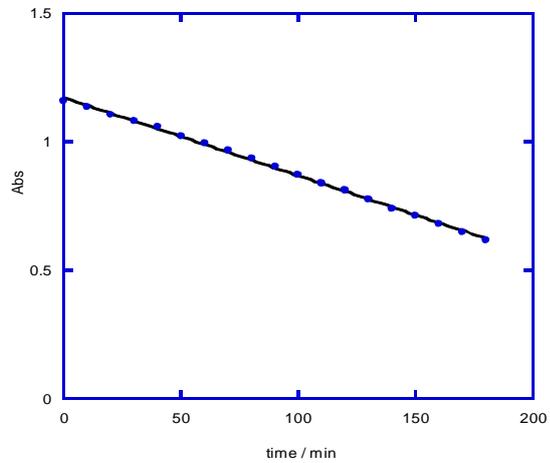
شكل (4) يوضح تحلل فيتامين C عند 60 درجة مئوية وفقا لمعادلة الرتبة الأولى



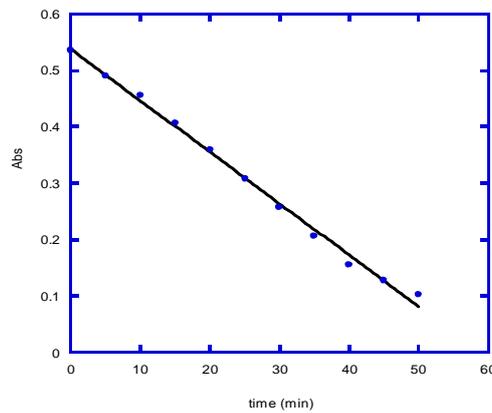
شكل (3) يوضح تحلل فيتامين C عند 60 درجة مئوية وفقا لمعادلة الرتبة الصفرية



شكل (6): يوضح تحلل فيتامين C عند 40 درجة مئوية وفقا لمعادلة الرتبة الصفرية



شكل (5): يوضح تحلل فيتامين C عند 30 درجة مئوية وفقا لمعادلة الرتبة الصفرية

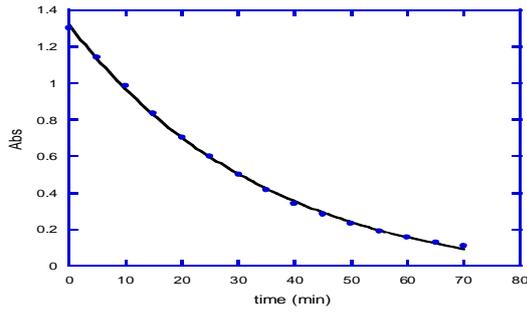


شكل (7) يوضح تحلل فيتامين C عند 50 درجة مئوية وفقا لمعادلة الرتبة الصفرية

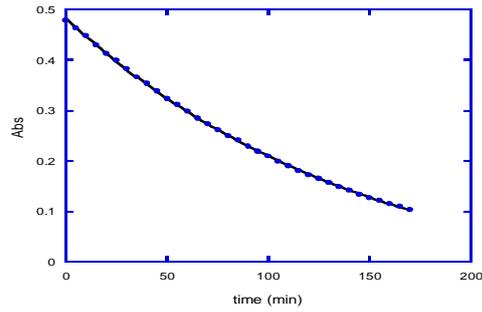
أما عند استخدام الفوسفات بتركيز $0.05M$ كمحلول منظم عند قيمتي $pH = 7, 8$ لوحظ انخفاضاً في الامتصاص عند $265nm$ مما يدل على تفكك الفيتامين، وأن النتائج تتفق مع معادلة الدرجة الأولى على عكس النتائج المتحصل عليها عند تحلل فيتامين C في محلوله المائي دون استخدام محلول منظم والذي كان يتبع الرتبة الصفرية، وقد كانت قيمة ثابت سرعة التفاعل عند $pH7$ ($6.67 \times 10^{-3} min^{-1}$) وعند $pH8$ ($2.86 \times 10^{-2} min^{-1}$)، كما هو موضح في الشكلين: (8)، (9).

تأثير درجة الحموضة على عملية تحلل فيتامين C:

تم دراسة تحلل فيتامين C في محلول تركيزه $20ppm$ عند $40^\circ C$ وعند أرقام هيدروجينية (8,7,5,2)، حيث استخدمت محاليل منظمة للتحكم في قيمة الـ pH وضبطت قيمة الشدة الأيونية عند $1M$ بواسطة $NaCl$ ، واستخدم محلول حامض الهيدروكلوريك عند $pH=2$ وحامض الخليك عند $pH=5$ وبمتابعة التغير في الامتصاص لهذين المحلولين لوحظ انخفاضاً بسيطاً جداً في الامتصاص على مدار ثلاث ساعات مما يدل على استقرارية المركب تحت هذه الظروف.



شكل (9) تحلل فيتامين C عند 40 °C و pH8.



شكل (8) تحلل فيتامين C عند 40 °C و pH7

في محلوله المائي بزيادة درجات الحرارة $(30, 40, 50, 60)^\circ\text{C}$ حيث تم متابعة تقدم التفاعل بمتابعة انخفاض شدة الامتصاص مع الزمن عند طول موجي 265nm. ومع الزيادة في قيم k نقل فترة نصف العمر لفيتامين C لتصل إلى 19 دقيقة عند 60°C وجد أن رتبة التفاعل لتحلل فيتامين C في محلوله المائي تتفق تماما مع المعادلة الصفرية مع معامل ارتباط مرتفع ($R=0.9992$)، استقرار فيتامين C عند دراسة تحلله في محلول منظم pH (5,2)، أما عند استخدام الفوسفات كمحلول منظم عند قيمتي 7, 8 pH لوحظ انخفاضا في الامتصاص عند 265nm مما يدل على تفكك الفيتامين، وأن النتائج تتفق مع معادلة الدرجة الأولى وقد كانت قيمة ثابت سرعة التفاعل عند pH7 $(6.67 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1})$ وعند pH8 $(10^{-2} \text{ min}^{-1})$ (2.86×10^{-2}) ، زيادة قيمة ثابت سرعة التفاعل k مع زيادة تركيز الفوسفات في المحلول المنظم.

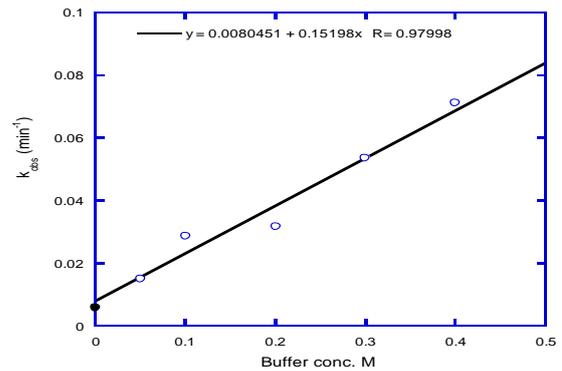
المراجع References

- 1- Adebayo. E, The Titrimetric and Spectrophotometric Determination of Ascorbic acid levels in Selected Nigerian Fruits. *IOSR Journal Of Environmental Science Toxicology and Food Technology* 2015, 9, 44-46.
- 2- Mussa. S, Sharaa. I, Analysis of vitamin C (ascorbic acid) contents packed fruit juice by UV-spectrophotometry and redox titration methods. *IOSR Journal of Applied Physics* 2014, 6 (5), 46-52.
- 3- Rahmawati. S, Bundjali. B, Kinetics of the oxidation of vitaminC. *Indonesian Journal of Chemistry* 2012, 12 (3), 291-296.
- 4- LLeskova.S, Vitamin C degradation during storage of fortified foods. *Journal of food and nutrition research* 2006, 45 (2), 55-61.
- 5-المهداوي.ت، اساسيات الكيمياء الحيوية. *الدار الجماهيرية للنشر والتوزيع والإعلان، 1993*
- 6- Hussein.A, Spectrophotometric determination of ascorbic acid in aqueous solutions and in pharmaceuticals formulations. *Journal of Al-Nahrain University-Science* 2013, 16 (3), 65-71.
- 7- Njoku. P, Ayuk. A, Okoye. C, Temperature effects on vitamin C content in citrus fruits. *Pakistan Journal of Nutrition* 2011, 10 (12), 1168-1169.
- 8- Ruiz. G, Roux. S, Courtois. F, Bonazzi. C, Kinetic modelling of ascorbic and dehydroascorbic acids concentrations in a model solution at different temperatures and oxygen contents. *Food Research International* 2018, 106, 901-908

لاختبار ما إذا كان التفاعل محفزا بالفوسفات، تم إجراء التفاعل في تراكيز مختلفة $(0.4, 0.3, 0.05, 0.2) M$ من محلول الفوسفات المنظم تحت نفس الظروف، وجد أن التفاعل قد حفز بوجود الفوسفات حيث زادت قيمة k مع زيادة تركيز الفوسفات في المحلول المنظم كما هو موضح في الجدول (2). ولطرح تأثير المحلول المنظم على قيمة k ، تم رسم العلاقة بين قيم k المشاهدة مقابل تركيز المحلول المنظم كما هو موضح في الشكل (10) فأعطت خطا مستقيما قيمة التقاطع فيه 0.008 وهي تمثل قيمة k بعد طرح تأثير المحلول المنظم، وهي قيمة مقارنة لتلك المتحصل عليها في المحلول المائي عند 40°C (وهي 0.0057).

جدول (2) يوضح تأثير تركيز المحلول المنظم على ثابت سرعة التفاعل عند 40°C

التركيز (M)	ثابت سرعة التفاعل (min^{-1})
0.05	0.0149
0.1	0.0285
0.2	0.0317
0.3	0.0536
0.4	0.071



شكل (10) يوضح تأثير تركيز المحلول المنظم على تحلل فيتامين C عند 40°C ، (●: قيمة k في المحلول المائي)

الاستنتاجات

أشارت نتائج الدراسة عند إجراء مسح للامتصاص خلال المدى من 200 إلى 320 nm وقياس pH المحلول بعد كل إضافة من محلول القاعدة، أدى إضافة المحلول القاعدي إلى حدوث إزاحة في قمة الامتصاص إلى طول موجي أعلى. حيث انخفضت شدة الامتصاص عند 235nm مع زيادة قيمة الـ pH و ظهور قمة امتصاص جديدة عند طول موجي 265nm، زيادة ثابت معدل التفاعل k لفيتامين C

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

اسماعيل ميلاد اشملهة¹، خديجة عيسى قحواط¹، جمال علي خليل²
 1قسم الفيزياء ، كلية التربية/ الخمس - جامعة المرقب
 2قسم الفيزياء ، كلية العلوم/ جامعة مصراته
 Email: jamalahi8887@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 لردفورد. وان قيمة المعامل الحركي أكبر ما يمكن عندما تكون زاوية الإستطارة صفر، حيث نقل 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 لردفورد - المقطع العرضي التفاضلي - العيوب في البلورة - الكتل الذرية.

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 لردفورد

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 لردفورد (**Rutherford Backscattering**) الناتجة عن القذف الهدف 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

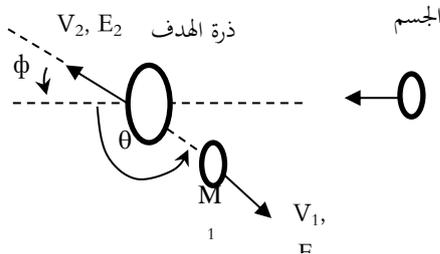
أولاً: المعامل الحركي

إن الطاقة المفقودة أثناء اختراق الأيونات للهدف تمثلت 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، وحدث التصادمات الذرية بين جسيمين يتطلب الخضوع للشروط الآتية [10,12]:

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

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

(**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 بسرّع وزوايا مختلفة هي (**θ, V₁**) ، (**φ, V₂**) على الترتيب كما موضح في الشكل (1).



شكل (1) التشتت والإستطارة التي تحدث لأيون 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 بالاتي:

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

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

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

من المعادلات السابقة نحصل على:

$$M_1^2 V_0^2 - 2 M_1^2 V_0 V_1 \cos \theta + M_1^2 V_1^2 \cos^2 \theta =$$

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

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

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

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، V سرعة الأيونات الساقطة $V^2 = \frac{2E}{M}$ ، N الكثافة الذرية للهدف، M_1 كتلة الأيونات الساقطة، Z_1 و Z_2 العددين الذريين 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 الإنستارة 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 الإنستارة صفر، ثم تقل قيمة المعامل الحركي تدريجياً عند زيادة زاوية الإنستارة إلى القيمة (90°)، وتكون قيمته تقريباً ثابتة في مدى الزوايا ($90^\circ < \theta < 180^\circ$)، بالإضافة لذلك لقد لوحظ أن تغير المعامل 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 المعامل الحركي تكون قيمته مساوية للصفر تقريباً عندما تكون الكتل الذرية للأيونات الساقطة M_1 والكتل الذرية للهدف M_2 متساوية، ومن هنا نستنتج بأن الإنستارة الخلفية تحصل عندما تكون

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

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

$$(7) E_1 = K E_0$$

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

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 للإنستارة

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

عند سقوط جسيمات ألفا بسرعة ثابتة على الهدف فإنها تستطير بزاوية إنستارة (θ)، وبعدها تكشف بواسطة كاشف الحاجز السطحي (Surface Barrier Detector) بزاوية صلدة ($d\Omega$) (Solid angle) وأن عدد الجسيمات التي يسجلها الكاشف خلال المقطع العرضي التفاضلي للإنستارة، 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 المشتتة (A) يمكن تمثيلها بالمعادلة الآتية:

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

وتعطى

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

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

العنصر	العدد الذري Z	الكتلة (atom) M	الكثافة N tom/nm ³	المعامل الحركي K	مقطع عرضي تفاضلي للإستطارة $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ nm ² /steradan
Ag	47	107.8682	58.6	0.881006	1×4.716870^9
Ge	32	72.59	44.37	0.828302	1×2.187460^9

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

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 لردفور 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

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

$$e^2 = 1.44 \text{ eV.nm}$$

$$M_1 = 4.0063$$

Ag(

Z=2

I=8.23*Z(2)

N=58.6

Ge(

Z=4

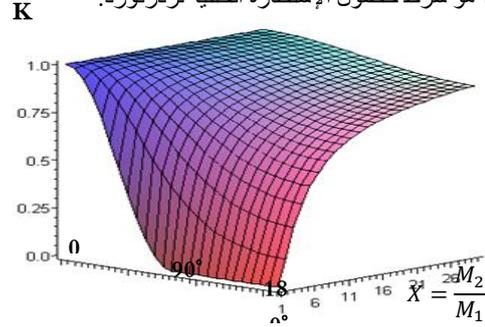
I=10*Z(2)

N=44.5

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

طاقة الأيونات الساقطة E ₀ MeV	معدل فقدان الطاقة الإلكتروني eV/nm (dE/dX)			
	عنصر الفضة (Ag)		عنصر الجرمانيوم (Ge)	
Energy	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

الكتل الذرية لأيونات الساقطة أصغر من الكتل الذرية لمادة الهدف وهذا هو شرط حصول الإستطارة الخلفية لردفور.



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

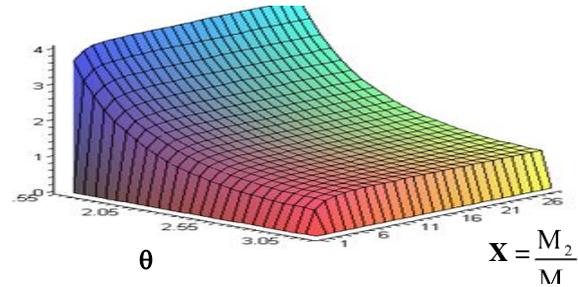
ثانياً: حساب المقطع العرضي التفاضلي للإستطارة

وقد تم حساب المقطع العرضي التفاضلي للإستطارة كدالة لزوايا الإستطارة لعدد من المواد التي قُدفت بأيونات الهليوم بطاقة 2MeV، وإجراء 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.

$$\frac{d\sigma/d\Omega}{(Z_1 Z_2 e^2 / 4E_0)}$$



ثالثاً: حساب المعامل 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 قُصفت بأيونات He⁺ بطاقة (2MeV)

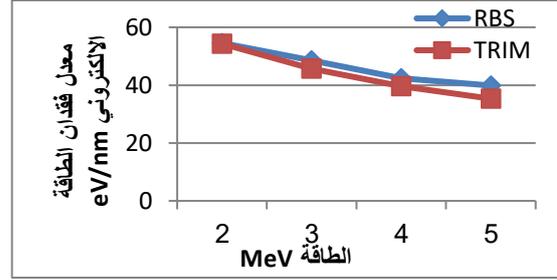
العامل الحركي والمقطع العرضي التفاضلي للإستطارة بالاعتماد على المعادلتين (9) و(14) وعند قصف النظام (Ag/Ge) ثنائي الطبقة بأيونات الهليوم حُسبت هذه القيم بطاقة سقوط عمودي = E₀ 2MeV على طبقة الفضة والجرمانيوم، ويوضح الجدول (1) قيم

المعامل الحركي(K) والمقطع العرضي التفاضلي للإستطارة (d sigma / d Omega) لعنصري الفضة والجرمانيوم وهذه القيم استخدمت في الحسابات التي أجريت يوضح القيم المستخدمة لدراسة مطيافية RBS.

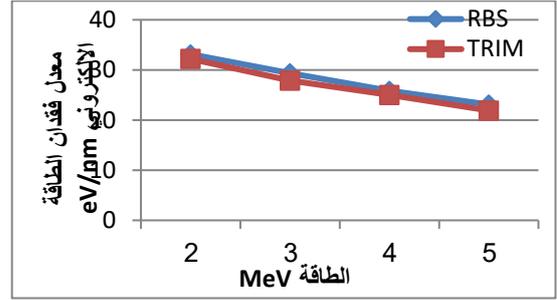
7. راشد عويد، شهلة عبد السادة، حساب قدرة الإيقاف الإلكتروني للجسيمات المشحونة باستخدام عامل التصادم، مجلة القادسية للعلوم الصرفة جامعة الكوفة، المجلد 19 العدد 2، 2014.
8. ايمان حمود عبد الله، دراسة مدي الجسيمات المشحونة الثقيلة لبعض العناصر والمركبات في مدي الطاقة (0.3-110MeV)، مجلة جامعة بابل للعلوم الصرفة والتطبيقية، المجلد 23 العدد 3، 2015.

ثانياً المراجع الأجنبية:

9. Wei- Kan Chu, Tames W. Mayer, and Marc A. Nicollet., 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. Hlrvonon, Ion- Soltid Interactions: Fundamentals And Applications, Gambndeg University, 1996.
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 الرحبة، 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 الاشعاعات، 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 E LGA ، 2005.