

مدى تأثير زاوية إسقاط جسيمات ألفا بطاقات مختلفة على هندسة الأثر في كاشفي CR-39 و LR-115

سواء فتحي محمود النجار* ، هناء إحسان حسن البارودي** و رنا هشام العبايجي***

* كلية طب الأسنان، قسم العلوم الأساسية ، جامعة الموصل.

** كلية التربية ، قسم الفيزياء ، جامعة الموصل.

*** كلية العلوم ، قسم الفيزياء ، جامعة الموصل.

الخلاصة

يتضمن البحث دراسة نظرية لقدرة إيقاف جسيمات ألفا و هندسة الأثر النووي في كاشفي الاثر CR-39 و LR-115 وذلك باستخدام البرامج العالمية الجاهزة Track-test vision1 و Track-test و SRIM-2008 ويأخذ طاقات مختلفة لجسيمات ألفا تراوحت بين (0.1-10MeV) ولزوايا إسقاط مختلفة تراوحت بين 30^0 - 80^0 بالنسبة للسقوط المائل إضافة إلى السقوط العمودي 90^0 ومن خلال النتائج المستحصلة تم دراسة العلاقة بين طاقة جسيمات ألفا وقدرة الإيقاف وكذلك قطر الأثر الكبير المتكون وعمق الأثر باستعمال ثلاث دوال للكاشف CR-39 و دالتين للكاشف LR-115 وتبين ان قطر الأثر يزداد بزيادة الطاقة ويصل أقصى قيمة له عند زاوية إسقاط معينة ويقل بعد ذلك وكذلك تم استنتاج علاقة أسية تربط بين قطر الأثر الكبير وزاوية الإسقاط عند طاقة معينة اما عمق الأثر فيزداد بازدياد الطاقة الى قيمة قصوى ثم يقل بعد ذلك ولجميع الزوايا وقد سجل أقصى عمق عند الزاوية 90^0 وذلك لكلا الكاشفين، وكذلك تضمن البحث دراسة مقارنة لتأثير ظروف القشط المثلى مع نتائج عملية لعدد من الباحثين من خلال سمك الطبقة المزالة.

المقدمة

10.77MeV والساقطة على الكاشف CR-39، ودرس الباحث [٥] معدل قشط الاثر V_T كدالة لانتقال الطاقة الخطي في الكاشف CR-39 بعد قصفه بجسيمات ألفا وبيروتونات وايونات الليثيوم وايونات الكربون وطاقات مختلفة. اما الباحث Ng [٦] وجماعته فقد درس مقارنة بين طول آثار جسيمات ألفا الساقطة بشكل عمودي ومائل وطاقات (1-4.5 MeV) من المصدر المشع Am^{241} باستخدام طريقة المتطابقات الراتنجية وتصوير المظاهر الجانبية للأثار بطريقة المقطع العمودي.

الهدف من الدراسة الحالية هو استخدام البرنامج الجاهز SRIM2008 لإيجاد قدرة إيقاف جسيمات ألفا في كاشف CR-39 بمدى طاقي (0.1-10 MeV) وفي كاشف LR-115 ومدى طاقي (0.1-4 MeV) والساقطة بزوايا مختلفة تراوحت من 30^0 - 90^0 واستخدام البرامج الجاهزة TRACK-TEST vision1 و TRACK-TEST لرسم الأثر ولدراسة شكل وعمق الأثر والقطر الكبير مع طاقات جسيمات ألفا وبزوايا إسقاط مختلفة واستنتاج علاقة تربط بينهم وبثوابت خاصة ومقارنة نتائج العمل الحالي بالظروف القشطية المثلى المستخدمة ومن خلال سمك الطبقة المزالة

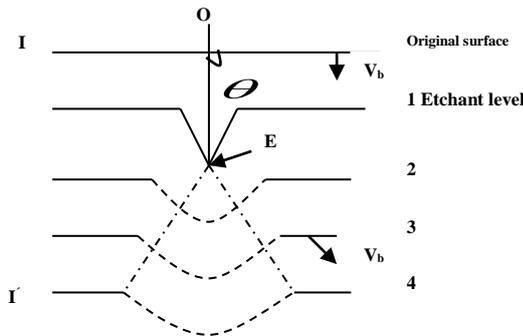
تعد قدرة الإيقاف من العوامل المهمة الأساسية في دراسة فقدان في طاقة الإشعاعات المؤينة في المواد المختلفة لقد وضع Beth معادلة خاصة لقدرة الإيقاف معتمدا على مبادئ ميكانيك الكم حيث اخذ بنظر الاعتبار التأثيرات النسبية، إذ استعمل صيغة قدرة الإيقاف الكتلية بدلا من قدرة الإيقاف الخطية وذلك لإلغاء تأثير الكثافة [١]. وهناك العديد من البحوث المنجزة في مجال استخدام كواشف الاثر النووي في دراسة قدرة إيقاف ومدى جسيمات ألفا فقد درس الباحث فريد عام 1989 [٢] علاقة نسبة معدل القشط V وقدرة الإيقاف مع المدى لكواشف نترات السيليوز CN بعد تشيعها بايونات مختلفة وطاقات مختلفة وبدرجات حرارية مختلفة، وقام الباحث فريد [٣] بدراسة قدرة الإيقاف والمدى لنماذج من كاشف CR-39 المشععة بايونات الاركون والأوكسجين والنيون والكربون وطاقات مختلفة وبزاوية 30^0 ووجد ان نسبة معدل القشط V تعتمد على قدرة الإيقاف، وباستخدام البرنامج الجاهز SRIM 2000 رسم الباحث Fromm وجماعته [٤] نسب معدل القشط V مع انتقال الطاقة الخطي LET كدالة للمدى لايونات الليثيوم Li^7 بطاقة

في واحد او اكثر من المتغيرات التي يمكن قياسها نتيجة تعرضها لجرعة من الإشعاع.

ان عملية القشط الكيميائي للآثر النووي في الكواشف يمر بثلاث مراحل كما في الشكل (1) المرحلة الأولى يتقدم المحلول القاشط باتجاه نقطة النهاية E لمسار الجسيم وتكون نهاية الأثر حادة [10]، والأثر مخروطيا بشكل كامل وعندها يمكن ملاحظة سطح الكاشف كما موضح في السطح رقم (1)، وبعدها تبدأ المرحلة الثانية للنمو وذلك بتقدم عملية القشط بكل الاتجاهات بسرعة القشط العام V_B . حينها تتشكل دائرة حول النقطة E ويتغير شكل الاثر من مخروط كامل الى مخروط ذو نهاية كروية ويتكون السطح رقم (2) و (3) بالتدريج، وتستمر عملية القشط الى ان يكبر الجزء الكروي على حساب الجزء المخروطي وفي المرحلة الاخيرة فان الاثر يأخذ الشكل الكروي تماما وسطحه يكون كما موضح في السطح رقم (4) في الشكل اعلاه وهكذا يكون معدل القشط على طول الاثر تقريبا مساويا الى V_B في الابعاد الثلاثة ويكون $(V_T \approx V_B)$.

في حالة السقوط العمودي للجسيمة على سطح الكاشف وعندما يكون معدل التأين للجسيمة الساقطة ثابتا على طول مسارها في المادة الصلبة فان معدل القشط على طول المسار يكون ثابتا، وهذا يجعل حسابات أبعاد الأثر بسيطة نسبيا كما في العلاقة التالية [11].

$$V = \frac{V_T}{V_B} = \frac{4V_B^2 T^2 + D^2}{4V_B^2 T^2 - D^2} \dots\dots\dots (3)$$



شكل (1) مراحل نمو الاثر بمعدل قشط ثابت [11].

حيث ان D تمثل قطر الاثر و T تمثل زمن القشط.

مع نتائج عملية ثلاث نماذج لعدد من الباحثين وبيان مدى تطابقها تحت ظروف قشبية مختلفة.

الجزء النظري

1- تفاعل الجسيمات المشحونة مع المواد.

تفقد الجسيمات المشحونة طاقتها عند مرورها في وسط ما عن طريق سلسلة من التفاعلات الكولومية مع الالكترونات ونوى الذرات في المادة المعترضة، للتعبير عن ماتقده من طاقة في الوسط المعترض ويعرف هذا المعدل الوسطي للطاقة المفقودة باسم قدرة الايقاف للمادة stopping power او معدل الطاقة المفقودة لوحدة المسار اوفقدان الطاقة الخطي (LET) وتكون بوحدة الطاقة لوحدة المسافة اما اذا تم اخذ الكثافة بنظر الاعتبار فتسمى حينها معدل الفقدان بالطاقة لوحدة المسافة لوحدة الكثافة، و تعد قدرة الإيقاف دالة لخصائص الجسيم القاصف كتلته وشحنته وطاقته [7] و فقدان الطاقة في المواد يمكن حسابها كما في العلاقة [18]:

$$\frac{1}{\rho} \frac{dE}{dX} = 0.3071 \frac{z^2 Z}{A \beta^2} \left[13.8373 + \ln\left(\frac{\beta^2}{1-\beta^2}\right) - \beta^2 - \ln I \right] \dots\dots\dots (1)$$

حيث ان Z العدد الذري للمادة المعترضة و z العدد الذري للجسيم المشحون اما I معدل جهد تأين الوسط و β يمثل سرعة الجسيم مقسومة على سرعة الضوء و A العدد الكتلي للمادة المعترضة من أكثر التطبيقات المباشرة لحساب الطاقة المفقودة هو مدى الايون المشحون في الوسط المعترض، وتمثل بالعلاقة :-

$$R(E) = \int_0^E \left(-\frac{dE}{dX} \right) dE \dots\dots\dots (2)$$

حيث E تمثل طاقة جسيمة الفا.

وهناك برنامج حاسوبي جاهز لحساب قدرة الإيقاف ومدى الجسيمات في المواد المختلفة والمعروف باسم (Stopping and Rang of Ions in Matter) [9] (SRIM).

٢- هندسة الاثر.

تعرف كواشف الاثر النووي انها تلك المواد البوليمرية الصلبة العازلة اوشبه الموصلية التي يحدث لها تغيير ملحوظ

نقطة النهاية، اما الباحثان Fewes and Henshaw [١٣] فقد قام بتحليل شكل الاثر معتمدا على تركيب وبنية اثر جسيمة الفا في الكاشف CR-39، وقدم بعد ذلك الباحث Fromm وجماعته [٤] نموذج يعالج شكل الاثر ببعدين، ومن اكثر النماذج الجيدة التي استطاعت وصف تطور شكل الاثر ومراحل نموه كان نموذج Nikezic and Yu [14] ولإيجاد متغيرات شكل الاثر مثل قطر الاثر الكبير والصغير وعمق الاثر ولدراسة هندسة الاثر لكل من كاشفي CR-39 و LR-115 استخدم برنامجي (TRACK-TEST visionl, TRACK-TEST) المصممين من قبل الباحثين Nikezic and Yu [١5] وللبرنامج إمكانية دراسة متغيرات الأثر بزوايا مختلفة وطاقات مختلفة لجسيمة ألفا، وهناك ثلاث أشكال من دالة نسبة معدل القشط $V(R')$ لكاشف CR-39 وشكلين أي دالتين لكاشف LR-115 وصيغتها:-

اما عند سقوط الجسيمات المشحونة على سطح الكاشف بصورة مائلة بحيث يصنع مسار الجسيمة مع سطح الكاشف زاوية مقدارها (θ) فان شكل الاثر وبعد اجراء عملية القشط يكون ذو فتحة بيضوية، عليه تكون محاور الشكل البيضوي (D,d) كما في المعادلتين الآتيتين :-

$$D = 2V_B T \frac{(V_T^2 + V_B^2)}{V_T \sin \theta} \dots\dots\dots (4)$$

$$d = 2V_B T \frac{(V \sin \theta - 1)^{\frac{1}{2}}}{(V \sin \theta + 1)^{\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots (5)$$

اذ تمثل D المحور الكبير لفتحة الاثر، اما d فتمثل المحور الصغير لفتحة الاثر [11].

قد وضعت العديد من النماذج والدراسات من قبل العديد من الباحثين لتفسير تكوين الاثر في الكواشف فكان اول نموذج وضع من قبل العالمين Somogyi and Szalay [١٢] حيث افترض ان الاثر يكون حادا ومدبب الراس عند

١- بالنسبة لكاشف CR-39 الأولى لـ Green وجماعته [16] وصيغتها الرياضية هي :-

$$V = 1 + (A_1 \exp(-B \times y) + A_2 \times \exp(-B_2 \times y) \times (1 - \exp(-B_3 \times y)) \dots\dots\dots (6)$$

وبالثوابت $A_1=11.45$, $B_1=0.339$, $A_2=4$, $B_2=0.044$, $B_3=0.58$.

اما المعادلة الثانية فهي لـ Brun وجماعته [17] وصيغتها:-

$$V = 1 + \exp(-A_1 \times y + B_1) - \exp(-A_2 \times y - B_2) + \exp(B_3) - \exp(B_1) \dots\dots\dots (7)$$

وبالثوابت $A_1=0.1$, $B_1=1$, $A_2=1$, $B_2=1.27$, $B_3=1.27$.

المعادلة الثالثة والأخيرة فهي لـ Yu وجماعته [18] فهي بالصيغة :-

$$V = 1 + \exp(-A_1 \times y + B_1) - \exp(-A_2 \times y + B_2) \dots\dots\dots (8)$$

وبالثوابت $A_1=0.06082$, $B_1=1.119$, $A_2=0.8055$, $B_2=1.27$, $B_3=1.119$.

٢- بالنسبة لكاشف LR-115 فهناك معادلتين الأولى لدوراني وكرين [16] وهي نفسها المعادلة الأولى لكاشف CR-39 وهي معادلة Green وجماعته معادلة (6) ولكن بثوابت مختلفة وهي:

$$A_1=100$$
 , $B_1=0.446$, $A_2=5$, $B_2=0.107$, $B_3=1$

اما المعادلة الثانية وهي لـ ليب وجماعته [19] وهي

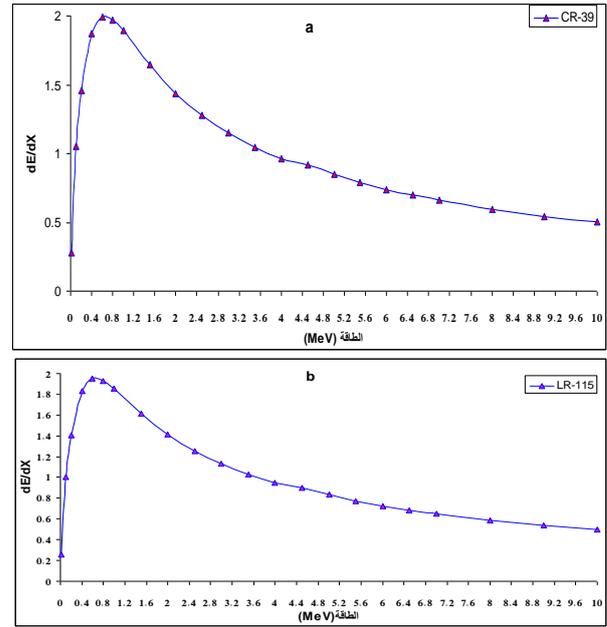
$$V = 1 + (2.14 \exp(-0.12 \times y) + 2.7 \times \exp(-0.135 \times y) \times (1 - \exp(-y)) \dots\dots\dots (9)$$

حيث ان $y = V_T$.

LR-115. وبما انه لدينا الجسيم القاصف ثابت وهو جسيمات الفا وبالطاقات ذاتها فان الاختلاف يعزى الى نوع الكاشف اي كثافته اذ تبلغ كثافة كاشف CR-39 1.4g.cm^{-3} وكذلك 1.32g.cm^{-3} LR-115 وكذا الاختلاف في التركيب الكيميائي للكاشف وان النسب المئوية لكل من الهيدروجين و الكربون والاكسجين هي $(6.56,52.554,40.87)\%$ على الترتيب والتي تدخل في تركيب كاشف CR-39 والنسب المئوية لكل من الهيدروجين والكربون والأكسجين والنتروجين هي $(28.58, 3.17,)\%$ على التوالي لمكونات لكاشف LR-115.

النتائج والمناقشة

الشكل (2 a,2b) يوضح العلاقة بين قدرة الإيقاف و طاقة جسيمات الفا في كاشفي الأثر النووي CR-39 و LR-115 وباستخدام البرنامج الرياضي الجاهز SRIM لحساب قدرة الإيقاف ومدى الجسيمات في المواد المختلفة وبمدى طاقي من 0.01 MeV والى 10 MeV، ان اقصى قيمة لها عند الطاقة 0.7 MeV لجسيمات الفا في كاشف الأثر النووي CR-39 وكما هو مبين في الشكل (2,a).

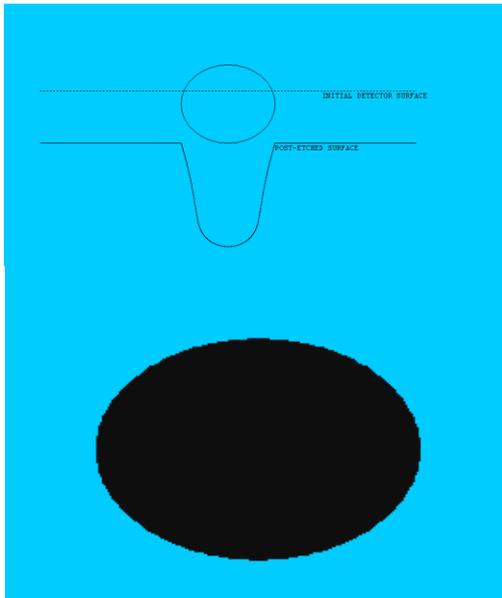


الشكل (2 a,b) يوضح العلاقة بين قدرة الايقاف و طاقة

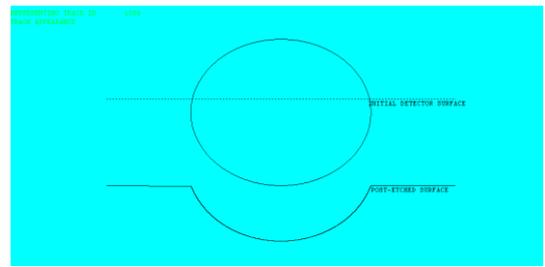
جسيمات ألفا في كاشفي الأثر النووي CR-39 و LR-

115 وباستخدام البرنامج الرياضي الجاهز SRIM 2008..

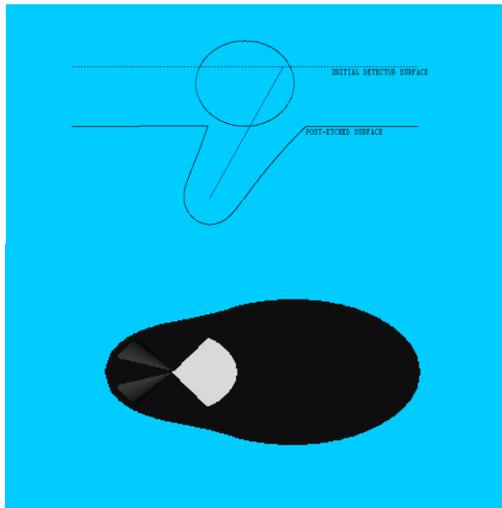
وبعد هذه القيمة تبدو العملية وكأنها تأخذ منحى آخر اذ كلما ازدادت الطاقة تقل قدرة الإيقاف أي ان عدد التأينات لوحدة الطول من مسار جسيمة الفا يقل بازدياد الطاقة أي ان الجسيمات السريعة تفقد طاقة اقل وعدد التصادمات التي تخوضها خلال مسارها اقل ويكون مداها اطول من الطاقات الواطئة، وبمقارنة أقصى انتقال لطاقة جسيمات الفا لوحدة المسار في كاشف LR-115 مع كاشف CR-39 نلاحظ وكما في الشكل (2,b) ان السلوك او التصرف ذاته، ان أقصى قدرة إيقاف لجسيمات الفا في كاشف الأثر النووي عند الطاقة 0.6 MeV، وهذا يتفق مع ما جاء به الباحثان [11] اما قدرة الايقاف فقد كانت $1.999\text{ MeV.cm}^2/\text{gm}$ لكاشف CR-39 و $1.955\text{ MeV.cm}^2/\text{gm}$ لكاشف



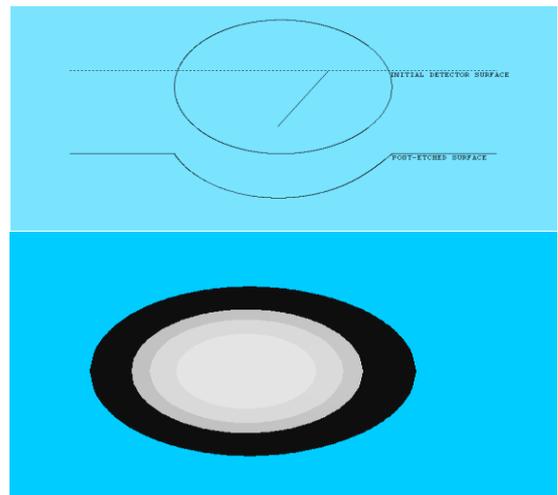
$\theta = 90^\circ$



$\theta = 60^\circ$



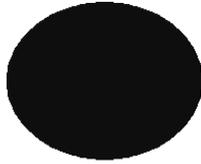
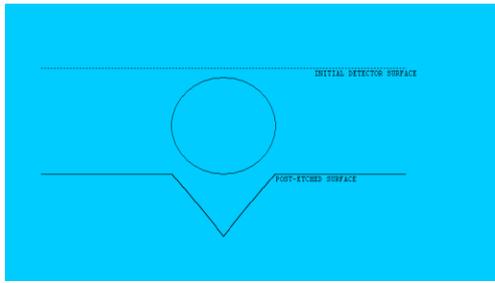
$\theta = 30^\circ$



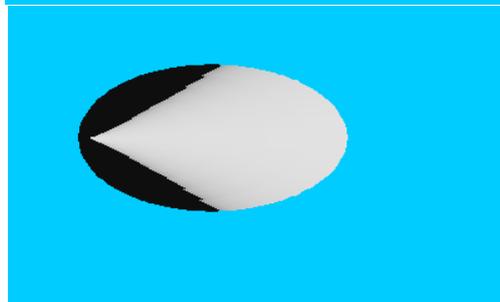
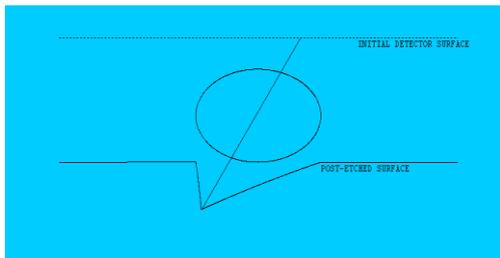
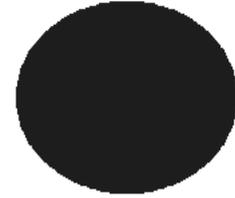
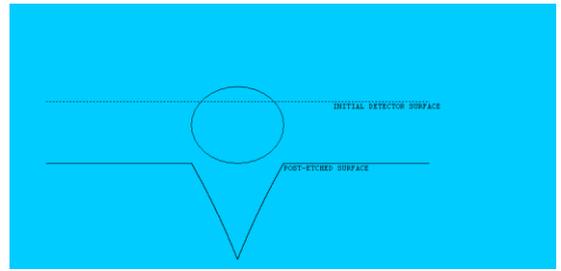
الطاقة 1MeV للزوايا (٩٠،٦٠،٣٠)

الطاقة 3MeV للزوايا (٩٠،٦٠،٣٠)

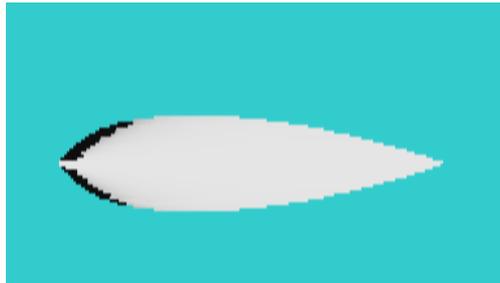
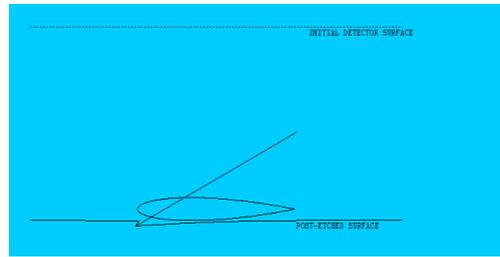
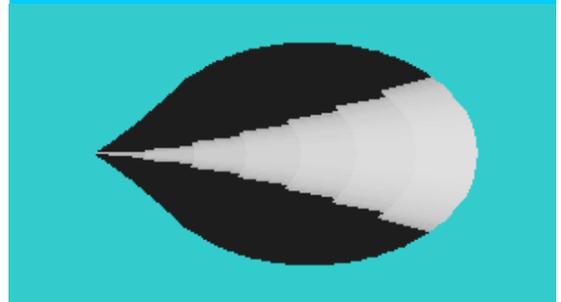
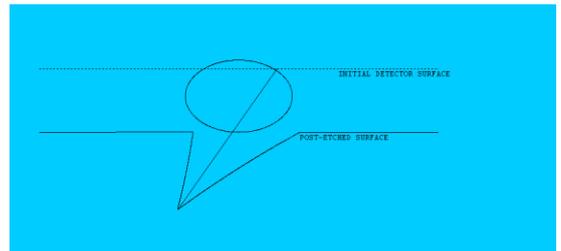
شكل (3,a) الشكل الهندسي للأثر ببعدين وثلاثة ابعاد للطاقات MeV (٣, ١) وللزوايا (90,60,3 0) باستخدام برنامج TRACK-TEST V1.



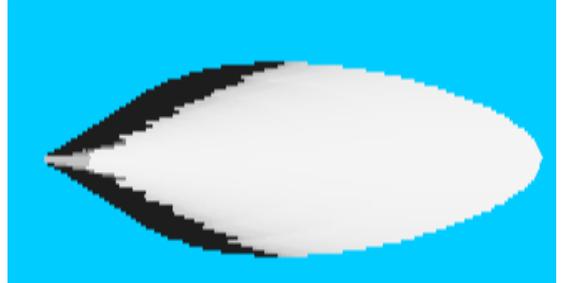
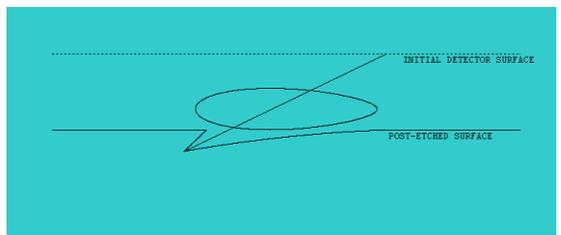
$$\theta = 90^\circ$$



$$\theta = 60^\circ$$



$$\theta = 30^\circ$$



الطاقة 7MeV للزوايا (90,60,30)°

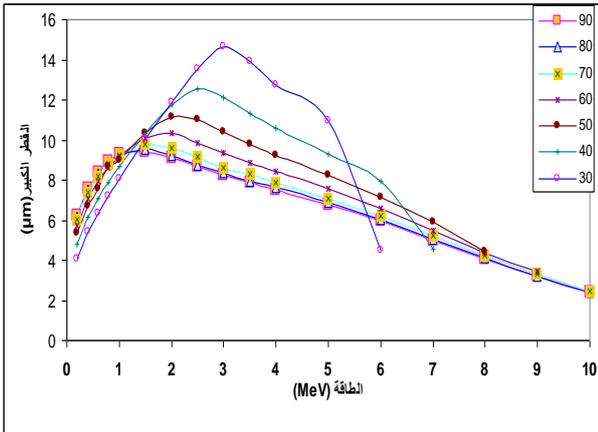
الطاقة 5MeV للزوايا (90,60,30)°

شكل (3,b) الشكل الهندسي للأثر ببعدين وثلاث ابعاد للطاقات (7, 5) MeV وللزوايا (90,60,30) باستخدام برنامج

TRACK-TEST V1

و 60° فقد كانت عند الطاقة 2MeV وكانت $11.14\mu\text{m}$ و $10.3\mu\text{m}$ على التوالي.

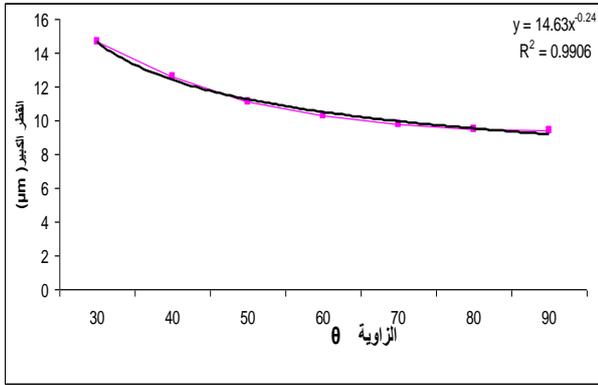
وباستعمال المعادلة الثانية ومن خلال الشكل (5) نلاحظ السلوك ذاته وكما يبدو في الشكل (4) اما الاختلاف فان أقصى قيمة لقطر الأثر الكبير سجلت عند الطاقة 3MeV وكانت $12.34\mu\text{m}$ عند زاوية السقوط 30° . وفي الشكل (6) كان أيضا قطر الأثر الكبير أعلى مايمكن لزاوية السقوط 30° وعند الطاقة 3MeV للمعادلة الثالثة ومقاربا لما وجد من المعادلة الثانية أي ان الاختلاف في قطر الاثر الكبير كان في القيمة المستنتجة من العلاقة الأولى فقط وبمقدار $2.3\mu\text{m}$ وهذا السلوك مشابه لزاويا السقوط الأخرى، اذ ان هناك اختلاف صغير بين قيم قطر الاثر الكبير المستنتج من العلاقة الأولى عن القيم المستنتجة من العلاقة الثانية والثالثة. ومن الملاحظات المهمة من الأشكال (4, 6, 5) ان قطر الأثر الكبير للطاقات 7MeV تقريبا ومايليها يكاد يكون ثابتا أي انه لا يوجد اختلاف في القطر أي بمعنى آخر ان قطر الأثر يبقى ثابتا مهما ازدادت الطاقة ولجميع الزوايا أي ان قدرة الإيقاف في الكاشف تكاد ثابتة وكما لاحظنا في الشكل (1,a) أي لا يوجد هنالك جدوى من العمل في ذلك المدى من الطاقات.



شكل (٤) علاقة القطر الكبير مع الطاقة لكاشف CR-39 باستعمال المعادلة الأولى.

في الشكل المجسم ببعدين و بثلاثة إبعاد (3,a,b) والذي تم رسمه باستخدام برنامج رسم الاثر الجاهز TRACK-TEST V1 لكاشف CR-39 يوضح شكل الأثر وهندسته وتطور نموه، وقد تم استعمال العلاقات (6,7,8) لإيجاد كل من المحور الرئيسي والمحور الثانوي وعمق الاثر لأثار جسيمات الفا لكاشف CR-39 اما العلاقات (8,9) فاستعملت لإيجاد المتغيرات ذاتها ولكن للكاشف LR-115 وبزوايا السقوط العمودي 90° والمائل بزوايا تراوحت بين (30° - 80°) وبمدى طاقي لجسيمات الفا تراوح بين (0.1 MeV - 10)، علما انه تم تثبيت ظروف القشط المتلى لكاشف CR-39 بواقع 70°C لدرجة حرارة المحلول القاشط وبمعيارية 6.25 N و 4 ساعات لزمن القشط ومعدل القشط العام $V_B = 1.37\mu\text{m}\backslash\text{hr}$ [11] اما بالنسبة للكاشف LR-115 فقد كانت لحرارة المحلول القاشط وبمعيارية 2.5 N وزمن قشط 1.75 ساعات اما معدل القشط العام $V_B = 3.22\mu\text{m}\backslash\text{hr}$ [20].

ويعد إعطاء المعلومات وكما مطلوب من خلال خطوات تنفيذ البرنامج TRACK-TEST أمكن التوصل إلى المتغيرات الخاصة برسم شكل الأثر هندسيا وبثلاث أبعاد ولدراسة العلاقة بينها والطاقة فان الشكل (4) يمثل العلاقة بين المحور الرئيسي (القطر الكبير) وطاقات جسيمات ألفا باستعمال العلاقة الأولى وكما تسمى في البرنامج اي علاقة (دالة) Green وجماعته [16] من الملاحظ بصورة عامة ان قطر الأثر يزداد إلى ان يصل أقصى قيمة ثم يقل بعد مدى معين من الطاقة وهذا السلوك مشابه لما توضحه علاقة قدرة إيقاف جسيمات ألفا مع زيادة الطاقة وكما يوضحه الشكل (2a,2b)، ومن الجدير بالملاحظة ان سلوك زيادة قطر الأثر الكبير مع زيادة الطاقة يبدو واضحا وان قيمه للزوايا الاكبر من 60° تبدو اكبر من تلك التي سجلت للزوايا الأصغر من 60° وللمدى الطاقي من 0.2MeV الى 1.5MeV ، اذ يحدث بعد هذا المدى انقلاب وتغير واضح في قيم قطر الأثر الكبير اذ تبدو قيمه اكبر بكثير للزوايا الأصغر من 60° من تلك التي سجلت للزوايا الأكبر من 60° ، فقد بدا القطر الكبير عند الزاوية 30° وعند الطاقة 3MeV اكبر مايمكن وقيمه $14.65\mu\text{m}$ اما للزاوية 40° فان أقصى قيمة له عند الطاقة 2.5 MeV وقيمه $13.56\mu\text{m}$ وللزوايا 50°

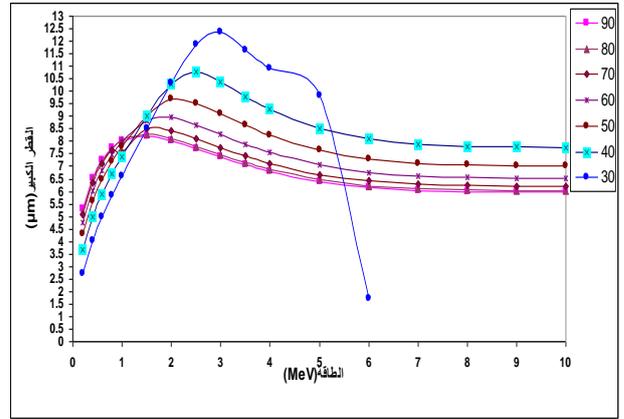


شكل (٧) علاقة القطر الكبير مع الزاوية لكاشف CR-39 باستعمال المعادلة الاولى والتي يصل فيها القطر الكبير اقصى قيمة له عند الزاوية 30° .

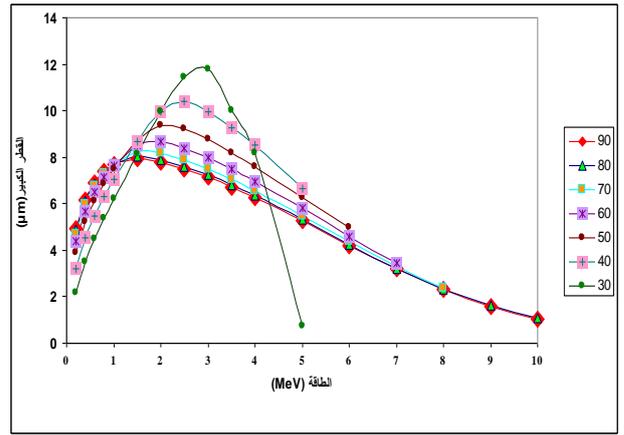
وفي محاولة لرسم العلاقة بين أقصى قيمة لقطر الأثر الكبير مع زاوية الإسقاط عند طاقة معينة ثابتة وكانت 3MeV فان الشكل (٨) يبين ان العلاقة عكسية أسية أي كلما ازدادت زاوية السقوط فان قطر الأثر الكبير يتناقص بشكل واضح للزوايا الأقل من 60° وتكاد تكون قيم قطر الأثر الكبير متساوية للزوايا الأكبر من 60° وقد تم استنتاج علاقة تجريبية للاستفادة منها لإيجاد أقصى قطر للأثر الكبير عند أي زاوية إسقاط وعند تثبيت الطاقة 3MeV وكما في العلاقة التالية:-

$$D = 90.23\theta^{-0.5447} \dots\dots\dots (11)$$

ولإيجاد العلاقة بين عمق الأثر مع الطاقة لجسيمات الفا الساقطة فقد تم رسم الإشكال (٩،١٠،١١) لكاشف CR-39 للعلاقات الثلاث المستعملة من الملاحظ ان منحنيات براك تصف العلاقة بين عمق الأثر و الطاقة حيث يزداد عمق الأثر مع زيادة الطاقة ونلاحظ ان هناك فرق بين عمق الاثر مع الطاقة للزوايا المختلفة اذ تمتلك قيم عمق الأثر أعلى قيمة لها عند الزاوية 90° واقل قيمة لها عند الزاوية 30° .



شكل (٥) علاقة القطر الكبير مع الطاقة لكاشف CR-39 باستعمال المعادلة الثانية.

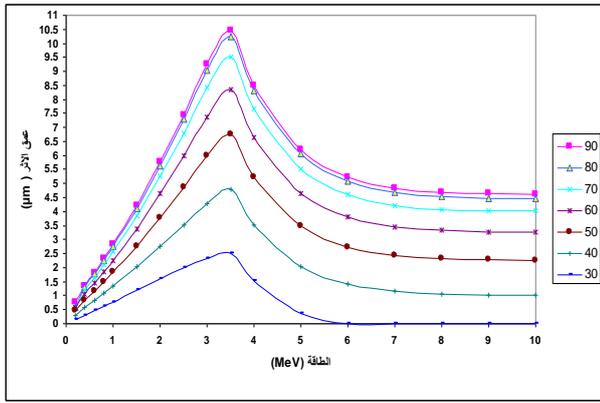


شكل (٦) علاقة القطر الكبير مع الطاقة لكاشف CR-39 باستعمال المعادلة الثالثة.

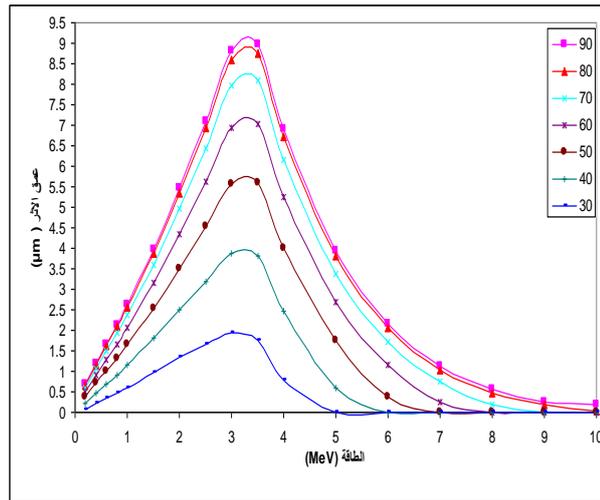
الشكل (٧) يوضح أقصى قيمة لقطر الاثر الكبير مع زاوية اسقاط جسيمات الفا في الكاشف CR-39 والتي تم استنتاج قيمها من الشكل (٤) وكما يبدو فان قطر الاثر الكبير يكون في اقصى قيمته عند الزاوية 30° ويقل تدريجيا كلما ازدادت زاوية إسقاط جسيمات الفا على الكاشف CR-39 وقد تم التوصل الى علاقة تربط بين أقصى قيمة لقطر الأثر الكبير مع زاوية الإسقاط وكما يأتي:-

$$D = 14.63(\theta)^{-0.24} \dots\dots\dots (10)$$

ومن العلاقة يمكن استنتاج أقصى قيمة لقطر الأثر الكبير لاي زاوية إسقاط لجسيمات ألفا على الكاشف CR-39.

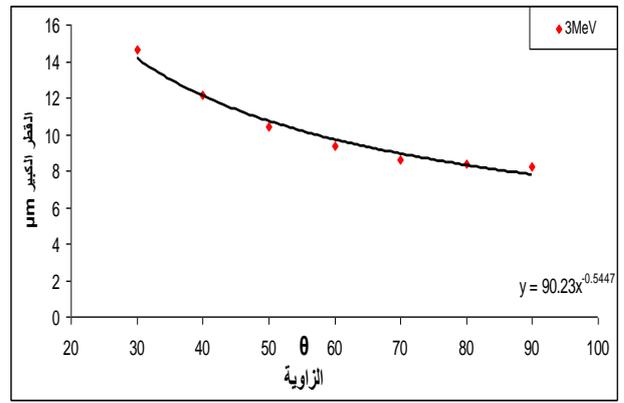


شكل (١٠) العلاقة بين عمق الأثر مع الطاقة لكاشف CR-39 باستخدام المعادلة الثانية.



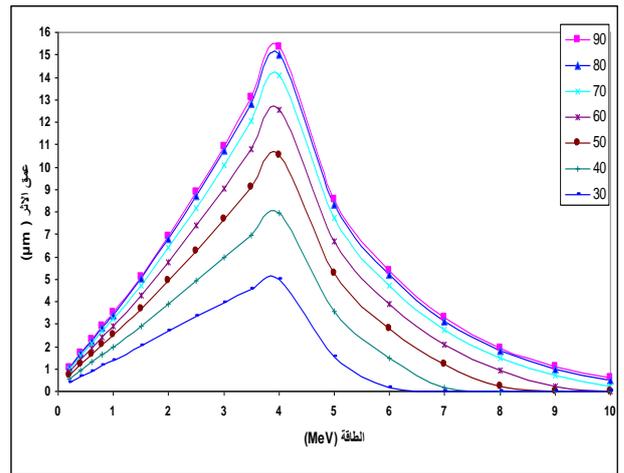
شكل (١١) العلاقة بين عمق الأثر مع الطاقة لكاشف CR-39 باستخدام المعادلة الثالثة.

اما الأشكال (12,a,b,c) فتبين العلاقة بين القيمة القصوى لعمق الأثر مع زاوية اسقاط جسيمات الفا ومن الملاحظ ان الطاقة المقابلة لأقصى قيمة لقطر الأثر 4MeV للدالة الاولى وقيمتها 3.5 MeV للدالتين الثانية والثالثة من الشكل نلاحظ ان العلاقة تكون لوغارتمية أي بزيادة الزاوية تزداد قيمة عمق الأثر عند الزوايا الاقل من ٦٠° اما عند الزوايا الاكبر من ٦٠° فتكاد تكون متساوية.



شكل (٨) علاقة القطر الكبير مع الزاوية لكاشف CR-39 باستعمال المعادلة الأولى عند الطاقة 3MeV.

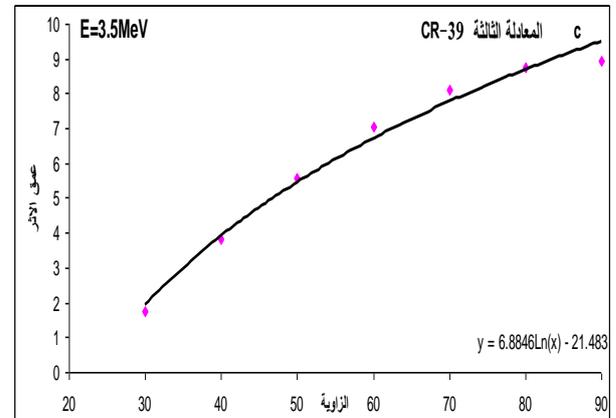
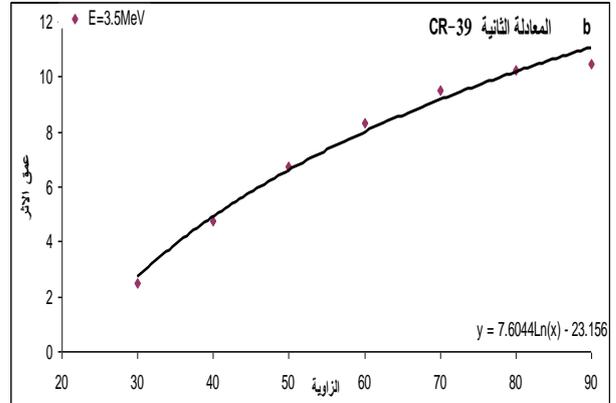
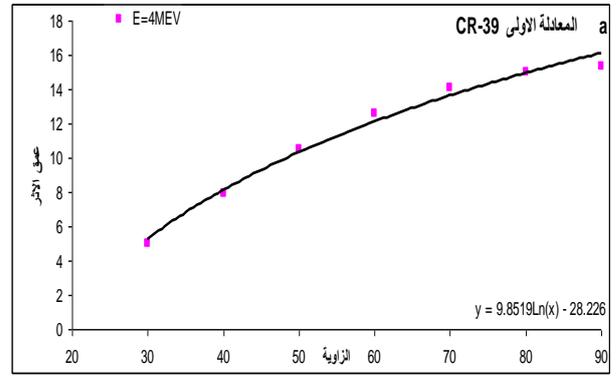
وذلك لان شكل الأثر المتكون عند الزوايا الكبيرة يكون دائري ويكون عمق الأثر كبير، أما عند الزوايا الصغيرة $(30-50)^\circ$ يكون شكل الأثر بيضوي فيكون عمق الأثر اقل أي بمعنى آخر سيكون التلف الحاصل في الكاشف متجانس حول مسار جسيمات الفا الساقطة ويتمحور حول مسار الجسم الساقط عموديا او القريب من العمودي بينما في حالة السقوط المائل فأن التلف سيكون منتشر حول الأثر بشكل بيضوي وسيكون عمق الأثر اقل أي ان مسار جسيمات الفا في المادة اقل ولكنها تحدث تلف سطحي اكبر.



شكل (٩) العلاقة بين عمق الأثر مع الطاقة لكاشف CR-39 باستخدام المعادلة الأولى.

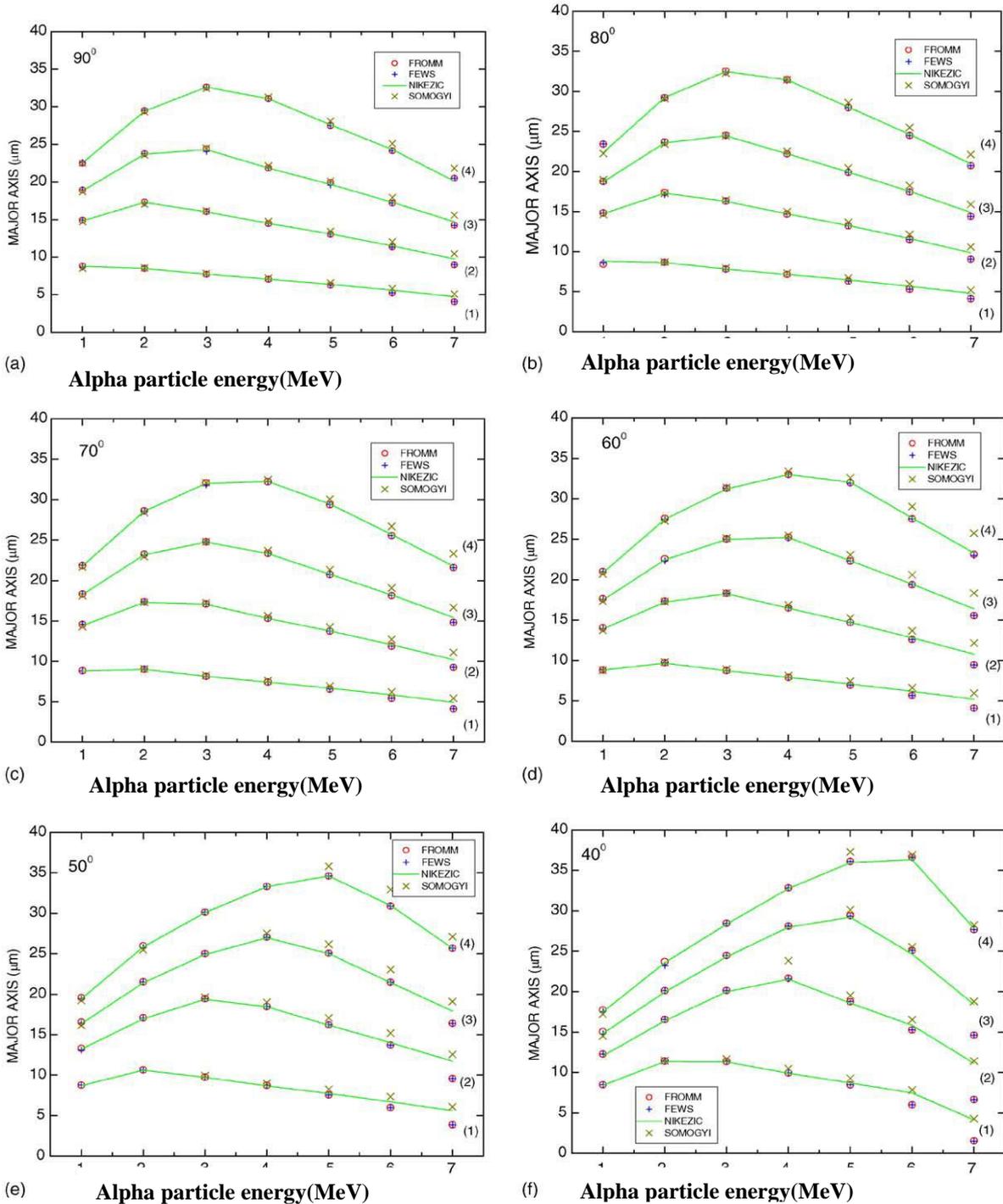
سناء فتحي محمود النجار

في الإشكال (١٣) تقع ضمن الإشكال المستنتجة من قبل الباحثين علما ان ظروف القشط قد تم تثبيتها من قبلهم، وكان سمك الطبقة المزالة وكما مشار اليه في الأشكال الاولى 15.07 mm والثالثة 10.275 mm والثانية 5.14 mm والرابعة 20.55 mm اما سمك الطبقة المزالة للعمل الحالي فقد كانت 6.25mm وهي ضمن نتائج الباحثين وكما مشار اليه في الأشكال أنفة الذكر.



شكل (12,a,b,c) العلاقة بين عمق الأثر مع الزاوية لكاشف CR-39.

لقد وضع العديد من الباحثين علاقات تربط بين القطر الكبير لاثار جسيمات الفا مع الطاقات المختلفة وللزاويا إسقاط مختلفة، الشكل (١٣) يوضح هذه العلاقة للباحثين Somogyi, Nikezic, Fromm و [١١] Few ولظروف قشط مختلفة وعليه فان سمك الطبقة المزالة من الكاشف ستعتمد على زمن القشط وتركيز المحلول القاشط ودرجة حرارته وعند محاولة مقارنة القيم المستنتجة لقطر الاثر الكبير مع الطاقات والزاويا ولظروف القشط المثلى للكاشف CR-39 بتركيز 6.25 N للمحلول القاشط NaOH وبدرجة حرارة 70°C وزمن قشط 4 hr فان القيمة المستنتجة وكما موضح



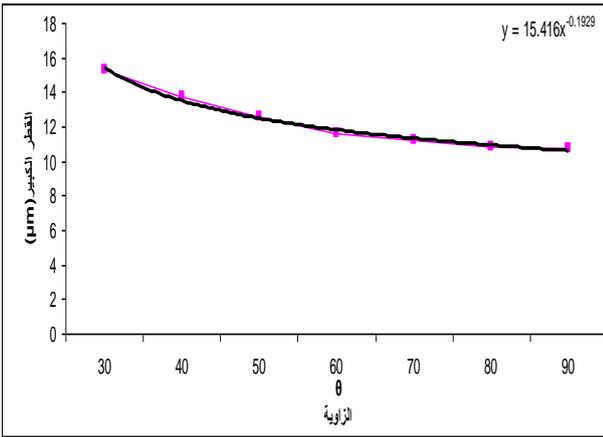
شكل (١٣) يمثل مقارنة نتائج البحث الحالي مع نتائج عدد من الباحثين بالنسبة للكاشف CR-39 للعلاقة بين طاقة جسيمات الفا مع القطر الكبير. سمك الطبقة المزالة (1- 5.14 mm) (2- 10.275 mm) (3- 15.07 mm) (4 - 20.55 mm) (6.25 mm - البحث الحالي).

قطر الاثر الكبير بعد الطاقة 1MeV اذ تبدو قيمه اكبر بكثير للزوايا الأصغر من 60° من تلك التي سجلت للزوايا الأكبر من 60°، فقد بدا القطر الكبير عند الزاوية 30° وعند الطاقة 3MeV اكبر مايمكن اما للزاوية 40° فان أقصى قيمة له عند الطاقة 2.5MeV وللزوايا 50° و60° فقد كانت عند الطاقة 2MeV و 1.5 على التوالي.

اما بالنسبة لكاشف LR-115 فنلاحظ الشكل (١٤) والذي يمثل العلاقة بين المحور الرئيسي (القطر الكبير) وطاقات جسيمات ألفا باستعمال العلاقة الأولى وكما تسمى في البرنامج اي علاقة (دالة) كرين وجماعته [16] من الملاحظ بصورة عامة ان قطر الأثر يزداد الى ان يصل أقصى قيمة ثم يقل ويحدث الانقلاب والتغير الواضح في قيم

ولإيجاد علاقة تربط بين أقصى قيمة لقطر الاثر الكبير مع زاوية إسقاط جسيمات الفا في الكاشف LR-115 فقد تم رسم الشكل (١٦) وكما يبدو فان قطر الاثر الكبير يكون في اقصى قيمة عند الزاوية 30^0 ويقل تدريجيا كلما ازدادت زاوية إسقاط جسيمات الفا على الكاشف LR-115 وقد تم التوصل الى علاقة تربط بين أقصى قيمة لقطر الاثر الكبير مع زاوية الإسقاط وكما يأتي :-

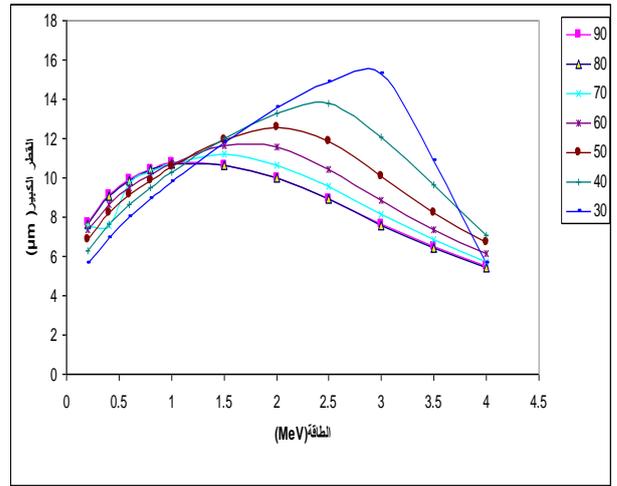
$$D = 15.416(\theta)^{-0.1920} \dots\dots\dots (12)$$



شكل (١٦) العلاقة بين قطر الأثر الكبير وزاوية إسقاط جسيمات ألفا عند طاقات مختلفة لكاشف LR-115.

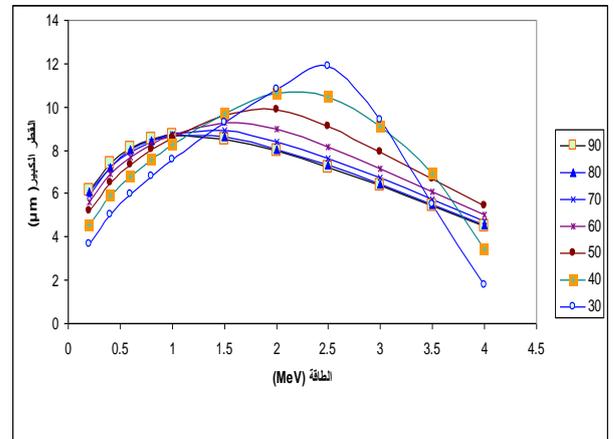
وعند رسم العلاقة بين القطر الكبير مع زاوية الإسقاط عند طاقة معينة ; 3MeV فان الشكل (١٧) يبين ان العلاقة عكسية اسية أي كلما ازدادت زاوية السقوط فان قطر الأثر الكبير يتناقص بشكل واضح للزوايا الاقل من 60° وتكاد تكون قيم قطر الاثر الكبير متساوية للزوايا الاكبر من 60° ، وكما في العلاقة التالية:-

$$D = 134.15\theta^{-0.6524} \dots\dots\dots (13)$$

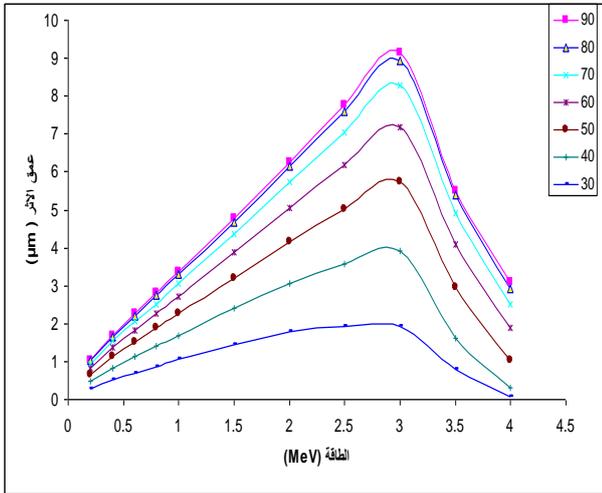


شكل (١٤) العلاقة بين القطر الكبير مع الطاقة لكاشف LR-115 باستعمال المعادلة الأولى.

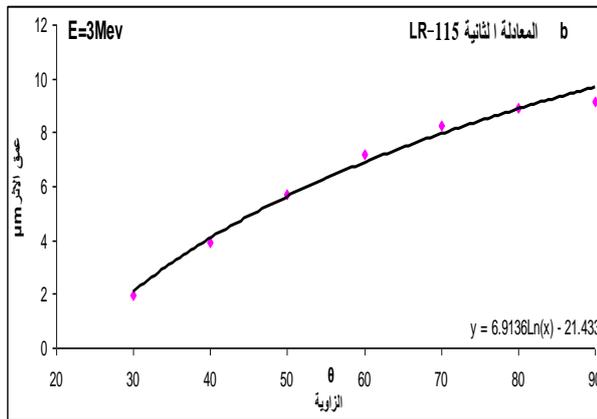
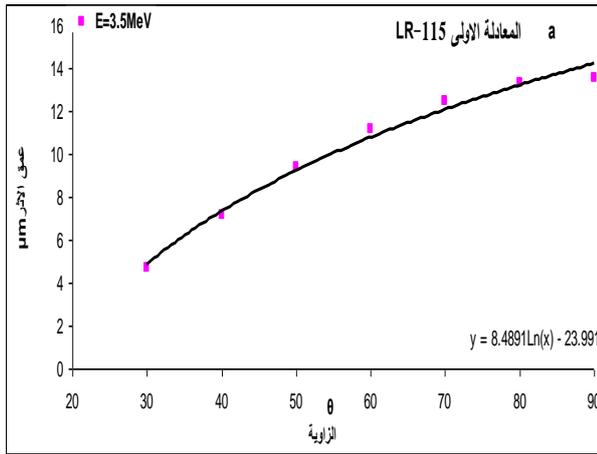
وباستعمال المعادلة الثانية ومن خلال الشكل (١٥) نلاحظ السلوك ذاته وكما بدا في الشكل (١٤) اما الاختلاف فانه أقصى قيمة لقطر الاثر الكبير سجلت عند الطاقة 3MeV وكانت $15.26\mu\text{m}$ عند زاوية السقوط 30° من العلاقة الاولى. وفي الشكل (١٥) كان أيضا قطر الاثر الكبير اعلى مايمكن لزاوية السقوط 30^0 وعند الطاقة 2.5MeV وان الاختلاف في قطر الأثر الكبير كان في القيمة المستنتجة من العلاقة الاولى وبمقدار $3.38\mu\text{m}$ وهذا السلوك مشابه لزاويا السقوط الأخرى، اذ ان هناك اختلاف بسيط بين قيم قطر الأثر الكبير المستنتج من العلاقة الأولى عن القيم المستنتجة من العلاقة الثانية [20].



شكل (١٥) العلاقة بين القطر الكبير مع الطاقة لكاشف LR-115 باستعمال المعادلة الثانية.

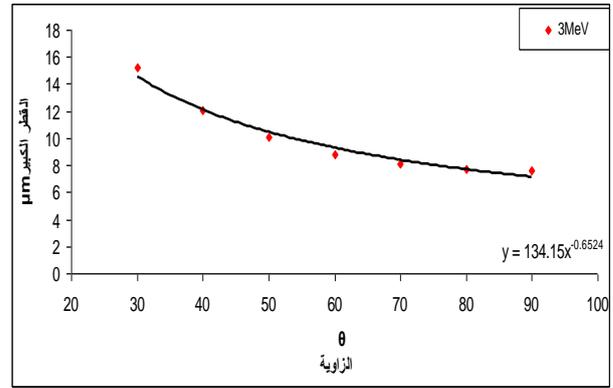


شكل (١٩) العلاقة بين عمق الأثر مع الطاقة لكاشف LR-115 باستخدام المعادلة الثانية.



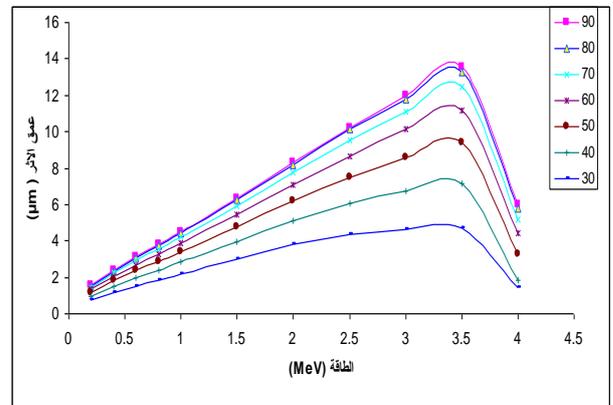
شكل (20,a,b) العلاقة بين عمق الأثر زاوية الإسقاط لكاشف LR-115 باستخدام المعادلة الأولى a، المعادلة الثانية b.

اما بالنسبة للشكل (٢٠,a,b) فيوضح العلاقة بين الزاوية مع عمق الاثر لكاشفين CR-39 و LR-115 فنلاحظ انه يزداد بزيادة زاوية جسيمة الفا الساقطة على سطح الكاشف



شكل (١٧) العلاقة بين القطر الكبير مع الزاوية عند الطاقة 3MeV لكاشف LR-115.

و بالنسبة لكاشف LR-115 فنلاحظ أيضا منحني براك بين قيم عمق الأثر مع الطاقة لجسيمات الفا الساقطة للزاويا المختلفة ونلاحظ من الأشكال (١٨ و ١٩) ان أعلى قيمة لعمق الاثر للدالة الأولى عند الطاقة 3.5MeV وتبلغ $15\mu\text{m}$ وعند الطاقة 3MeV وتبلغ $9\mu\text{m}$ لتعود بنزول حاد للقيم عند الطاقة 4MeV ونلاحظ ان الزاوية 90° تمتلك أعلى قيمة كذلك والزاوية 30° تمتلك اقل قيمة للدالتين المستخدمتين، ان عمق الأثر يزداد وصولا الى القيمة القصوى له ثم تهبط قيمتها بشكل كبير وذلك بسبب فقدان الكبير لطاقة الجسيم اذ تكون كمية الطاقة المفقودة على طول مسار الجسيم للطاقات المنخفضة كبيرة مقارنة بالطاقات العالية للجسيم، ولذلك تصبح الطاقة الكامنة للأثر المستتر اكبر والمنطقة تصبح هشة فتزداد مهاجمة المحلول القاشط له، ولذلك يقل عمق الاثر كلما ازادت طاقة الجسيم القاصف [14][20].

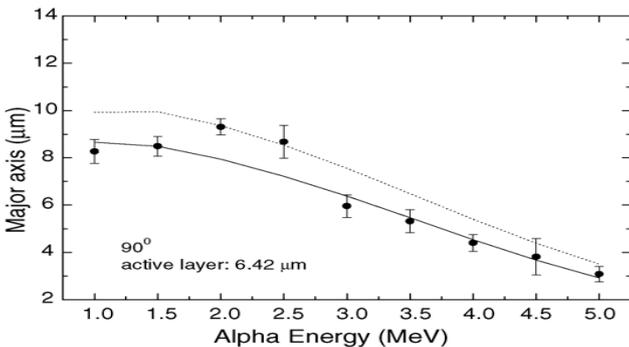
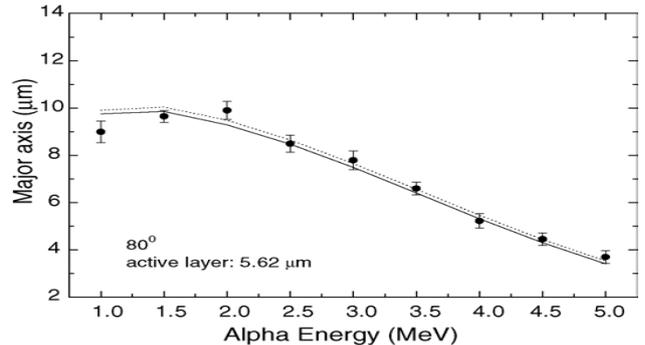
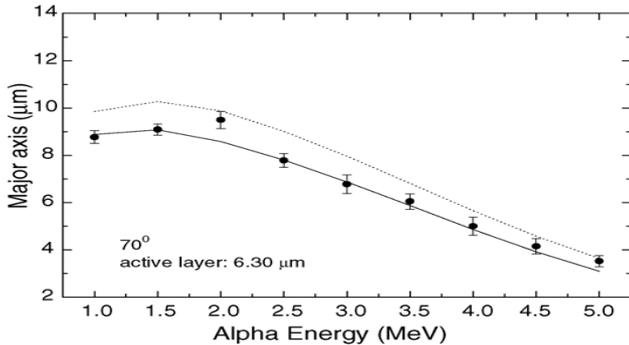
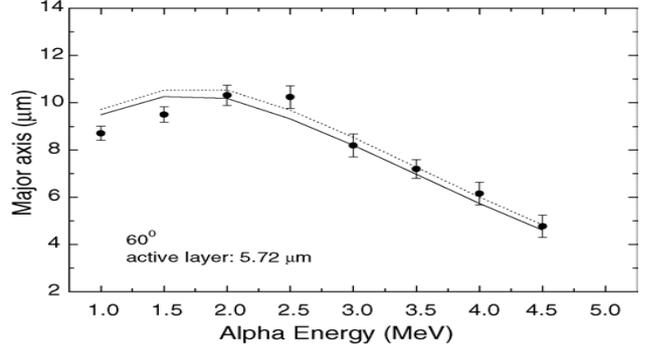
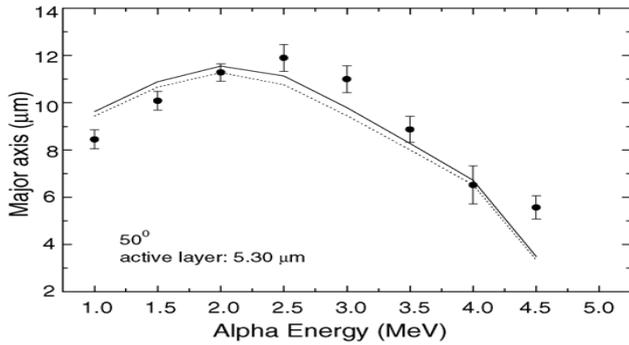
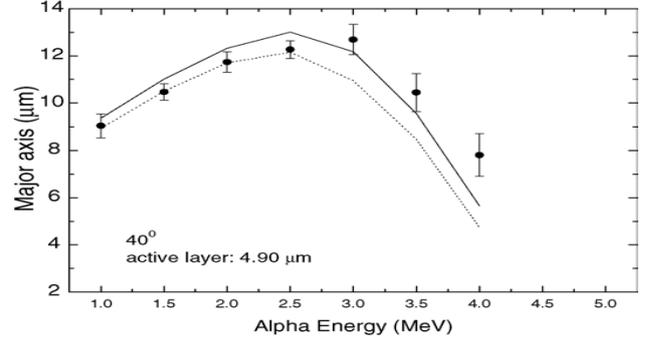
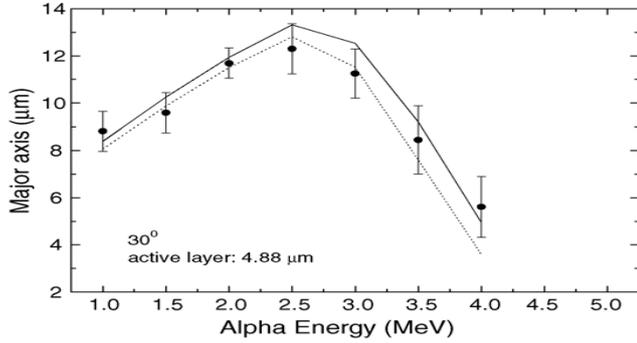


شكل (١٨) العلاقة بين عمق الأثر مع الطاقة لكاشف LR-115 باستخدام المعادلة الأولى.

هنالك توافق جيد [١٩] علما ان ظروف القشط المثلى التي تم استعمالها للكاشف LR-115 كانت بتركيز 2.5 N ودرجة حرارة $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ وزمن قشط 1.75 hr وعليه فان سمك الطبقة الفعالة $5.5\text{ }\mu\text{m}$ وان نتائج عمل الباحث كانت تحت ظروف قشطية مختلفة وبأسماك مختلفة للطبقة الفعالة وكما مدون على الأشكال.

وذلك لان أقطار الأثار المتكونة في الكواشف للجسيمات الساقطة على سطحه تعتمد على طاقته وكتلته ويمكن استخدام الكواشف الصلبة كمطياف لنوع الجسيمات القاصفة وطاقتها [14].

اما الشكل (٢١) فيمثل مقارنة بين النتائج التي حصلنا عليها من البحث الحالي مع نتائج الباحث Yip ونلاحظ ان



شكل (٢١) يمثل مقارنة نتائج البحث الحالي مع نتائج الباحث Yip وجماعته [19] بالنسبة للكاشف LR-115 للعلاقة بين طاقة جسيمات الفا مع القطر الكبير البحث الحالي.

الإستنتاجات

- [4] Fromm, M.; Meyer, P. and Chambaudet, Nucl. Instr. and Meth., in physics Reserch B, (Cited in Nikezic.D., and, K. N .(2004), 107-337, 1996.
- [5] Fromm, M.; Awad, M.and Ditlov, V. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, "Many-Hit Model Calculation for Track Etch Rate in CR-39 SSNTD Using Confocal Microscope Data" Vol.226, PP.565-574, 2004.
- [6] Ng, F.M.F.; Luk K.Y.; Nikezic D. and Yu K. N. Nuclear Ins. And Methods in Physics Research B, "Determination of lpha-perticle Track Depth in Detector from Their Cross-Section Replica Heights" Vol.263, PP.266-270, 2007.
- [7] Ammi, H.; Zemih, R.; Mammeri, S.; Allab, M. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research "Mean excitation energies extracted From Stopping Power Measurements of Protons in Polymers by using the Modified Bethe-Bloch Formula", Vol.230, PP68-72, 2005.
- [8] Leung, P. T, Physical Review A. "Bethe Stopping -Power Theory for Heavy - Target Atoms", Vol. 40, No.9, pp5417-5419, 1989.
- [9] Ziegler, J.F., (2008)(<http://www.srim.org/>).
- [10] Durrani, S.A.; Bull, R.K. "Solid State Nuclear Track Detection, Principles, Methods and Applications" Pergamon Press Oxford 1987.
- [11] Nikezic. D. and Yu, K.N. Materials Science and Engineering "Formation and growth of tracks in nuclear track materials", Vol.46, pp.51-123, 2004.
- [12] Somogyi, G. and Szalay, S Nucl. Instr. And Meth., "Trac diameter kinetics in dielectric track detectors", (Cited in Nikezic. D. and Yu, K.N. 2004 Vol.109, pp211-232, 1973.
- [13] Fewes, A. P. and Henshaw, D, L. Nucl.Instr. and Meth. "High resolution alpha spectroscopy using CR-39 plastic track detector" (Cited in Nikezic. D. and Yu, K.N.2004), Vol.197, pp517-529, 1982.
- [14] Nikezic. D.; Yu, K.N., Nuclear Ins. and Methods in Physics Research, "Profiles and parameters of tracks in the LR-115 Detector irradiated with alpha particles", Vol.19, pp.105-112, 2002.

١. ان أقصى قيمة لقدرة ايقاف جسيمات الفا في الكاشف CR-39 بلغت $1.999 \text{ MeV.cm}^2/\text{gm}$ عند الطاقة 0.7 MeV و $1.955 \text{ MeV.cm}^2/\text{gm}$ عند الطاقة 0.6 MeV لكاشف LR-115 ويعود الفرق بين القيمتين الى اختلاف كثافتيهما وتركيبهما الكيميائي.

٢. ان الشكل الهندسي للاثر النووي في الكاشف CR-39 والمستنتج من برنامجي TRACK-TEST و V1 TRACK-TEST يكون دائري الشكل عند زاوية الاسقاط 90° ويتغير نحو الشكل البيضوي كلما قلت الزاوية، وانه يختلف كذلك باختلاف طاقة جسيمات الفا.

٣. تم استنتاج علاقة رياضية اسية خاصة تربط بين اقصى قيمة لقطر الاثر الكبير مع زاوية الاسقاط ولطاقات مختلفة ولكلا الكاشفين.

٤. تم استنتاج علاقة رياضية اسية خاصة تربط بين اقصى قيمة لقطر الاثر الكبير مع زاوية الاسقاط ولكلا الكاشفين CR-39 و LR-115 عند الطاقة 3MeV .

٥. ان شكل العلاقة بين الطاقة وعمق الاثر تؤكد ان عمق الاثر يزداد الى ان يصل اقصى قيمة له ولجميع زوايا الاسقاط وعند طاقة ثابتة ثم يقل بعد ذلك ولكلا الكاشفين.

٦. تبين ان هنالك توافق جيد بين النتائج المستحصلة من الدراسة النظرية الحالية وضمن ظروف القشط المستعملة مع نتائج عدد من الباحثين للعلاقة بين طاقة جسيمات الفا مع قطر الاثر الكبير ولظروف قشطية مختلفة.

References

- [1] Lilley, J.S. "Nuclear Physics" John willy & Jons ltd. England, 2001.
- [2] Farid, S.M., J.Islamic Academy of Sciences, "Dependence of Sensitivity of Different Plastic Track Detectors on Etching Temperature", Vol.2, No.2, 139-146, 1989.
- [3] Farid, S.M., J. Islamic Academy of Sciences, "On the Temperature Dependence of Sensitivity of C R-39 Plastic Track Detector", Vol.3, No.2, pp.109-112, 1990.

- [15] Nikezic. D.; Yu, K. N., Computer Physics Communicaion, "Computer Program TRACK-TEST for Calculating Parameters and plotting profiles for etch pits in nuclear track ateriale", Vol.174, pp.160-165, 2006.
- [16] Green, P. G.; Ramil, A.G.; Al-Najjar, S.A. R.; Abu-Jarad, F. and Durrani, S. A. and Durrani, S. A., Nucl. Instr. And Meth., "A Study of Bulk-Etch., and Track in CR-39", Vol.203,pp.551-559, 1982.
- [17] Brun C.; Fromm, M; Jouffroy, M.; Meyer, P.; Groetz, J. E.; Abel, F.; Chambaudet, A.; Dorschel, B.; Hermsdorf, D.; Bretschneider, R.; Kader, K. and Kuhnc, H., Radiat. Meas., "Intercomparative Study of the Detection Characteristics of the CR-39 SSNTD for Light Ions: Present Status of the Besancon-Dresden Approaches", Vol.34. pp.89, 1999.
- [18] Yu, K. N.; NgF. M. F. and Nikezic, D., Radiat Meas., "Measuring Depths of Sub-Micron in a CR-39 Detector from Replicas using Atomic Force Microscopy", Vol.40, pp.380-383, 2005.
- [19] Yip, C.W.Y.; Nikezic.D.; Ho, J.P.Y. Yu, K.N., Materials chemistry and Physics "Chemical etching Characteristics for Cellulose nitrate", Vol.95, pp.307-312, 2006.
- [20] A'bdol, N.S., مجلة التربية والعلم, "Calculations of Track Growth's and Profile's Plots in Cellulose Nitrate LR-115 Detector for Alpha Particles", 2000.

Appendix

جدول (١)

خاص بشكل رقم (٤) علاقة القطر الكبير مع الطاقة لكاشف CR-39 باستعمال المعادلة الاولى.

(MeV) الطاقة	$\theta = 90$ القطر الكبير	$\theta = 80$ القطر الكبير	$\theta = 70$ القطر الكبير	$\theta = 60$ القطر الكبير	$\theta = 50$ القطر الكبير	$\theta = 40$ القطر الكبير	$\theta = 30$ القطر الكبير
0.2	6.228886	6.178674	6.019536	5.746702	5.346811	4.800129	4.069335
0.4	7.582316	7.532846	7.375224	7.102288	6.699373	6.142833	5.389438
0.6	8.378016	8.334967	8.197044	7.956154	7.59407	7.079361	6.351419
0.8	8.921684	8.891979	8.795875	8.621778	8.706146	7.898293	7.220643
1	9.262435	9.257689	9.235416	9.165648	8.994763	8.652461	8.045626
1.5	9.409485	9.50995	9.781665	10.10011	10.33104	10.34824	10.01329
2	9.080663	9.206106	9.611475	10.30857	11.14254	11.75319	11.8805
2.5	8.648856	8.76709	9.155265	9.871243	11.03184	12.57813	13.56503
3	8.239751	8.346122	8.63	9.337863	10.39862	12.133	14.65741
3.5	7.872571	7.968826	8.283014	8.857192	9.79052	11.29493	13.88368
4	7.520851	7.609074	7.896187	8.417066	9.252332	10.56531	12.72838
5	6.7872	6.861911	7.104132	7.539892	8.228106	9.280868	10.92351
6	5.94382	6.005255	6.203785	6.558561	7.112584	7.94487	4.486331
7	5.014262	5.062815	5.219251	5.49701	5.926156	4.544899	
8	4.070016	4.107117	4.226313	4.346783	4.419596		
9	3.181032	3.208603	3.297005	3.452431			
10	2.400458	2.420457	2.484502				

جدول (٢)

خاص بشكل (٥) علاقة القطر الكبير مع الطاقة لكاشف CR-39 باستعمال المعادلة الثانية.

(MeV) الطاقة	$\theta = 90$ القطر الكبير	$\theta = 80$ القطر الكبير	$\theta = 70$ القطر الكبير	$\theta = 60$ القطر الكبير	$\theta = 50$ القطر الكبير	$\theta = 40$ القطر الكبير	$\theta = 30$ القطر الكبير
0.2	5.292032	5.2	5.062409	4.759291	4.307531	3.666432	2.738062
0.4	6.541084	6.490403	6.327841	6.042189	5.608059	4.978984	4.047913
0.6	7.261523	7.221115	7.089397	6.850459	6.47072	5.890492	4.991214
0.8	7.742276	7.719803	7.640814	7.478449	7.183925	6.681666	5.835836
1	8.038051	8.043056	7.568963	7.984874	7.804078	7.404692	6.633449
1.5	8.203533	8.283048	8.512553	8.810315	9.033535	9.012849	8.532878
2	7.998953	8.095612	8.406849	8.948203	9.675943	10.28572	10.32959
2.5	7.704259	7.797196	8.099811	8.648722	9.521041	10.78803	11.8746
3	7.391859	7.478354	7.759761	8.270062	9.086953	10.3615	12.34475
3.5	7.088456	7.16854	7.42865	7.898449	8.645718	9.802798	11.64602
4	6.812902	6.887236	7.12817	7.56153	8.245959	9.293583	10.932
5	6.397336	6.463067	6.675474	7.054845	7.646791	8.535172	9.845417
6	6.153777	6.214514	6.410387	6.758573	7.297492	8.09577	1.706795
7	6.037619	6.095496	6.284012	6.617411	7.131274	7.887257	
8	5.991533	6.048972	6.233871	6.561412	7.065364	7.804658	
9	5.97575	6.032871	6.216703	6.54224	7.042799	7.776392	
10	5.971017	6.028038	6.211552	6.536486	7.036029	7.76791	

جدول (٣)

خاص بعلاقة (٦) علاقة القطر الكبير مع الطاقة لكاشف CR-39 باستعمال المعادلة الثالثة.

(MeV) الطاقة	$\theta = 90$ القطر الكبير	$\theta = 80$ القطر الكبير	$\theta = 70$ القطر الكبير	$\theta = 60$ القطر الكبير	$\theta = 50$ القطر الكبير	$\theta = 40$ القطر الكبير	$\theta = 30$ القطر الكبير
0.2	4.940134	4.883486	4.702475	4.385905	3.908494	3.213763	2.151046
0.4	6.174509	6.124128	5.961566	5.672321	5.224341	4.555489	3.513191
0.6	6.895506	6.857039	6.729819	6.49304	6.105053	5.492187	4.492427
0.8	7.386361	7.366697	7.294141	7.135902	6.835402	6.303815	5.365836
1	7.70624	7.709043	7.710657	7.656171	7.469451	7.043412	6.186767
1.5	7.950493	8.021605	8.22871	8.504421	8.714252	8.673989	8.125519
2	7.8006	7.89074	8.179571	8.677416	9.349196	9.934199	9.936376
2.5	7.506748	7.595462	7.883667	8.403402	9.219862	10.38987	11.44972
3	7.142986	7.225768	7.49483	7.981548	8.756884	9.954148	11.7818
3.5	6.727092	6.802813	7.048615	7.492089	8.195912	9.28083	10.00139
4	6.266556	6.334822	6.556021	6.953695	7.581098	8.534312	8.158509
5	5.267879	5.321371	5.494169	5.802516	6.282959	6.66838	0.725083
6	4.209188	4.249075	4.377452	4.604974	4.955741		
7	3.19086	3.219324	3.310692	3.471789			
8	2.305057	2.324613	2.387282				
9	1.593509	1.606364					
10	1.058579	1.066438					

جدول (٤)

خاص بالعلاقة بين عمق الأثر مع الطاقة لكاشف CR-39 باستخدام المعادلة الأولى.

(MeV) الطاقة	$\theta = 90$ القطر الكبير	$\theta = 80$ القطر الكبير	$\theta = 70$ القطر الكبير	$\theta = 60$ القطر الكبير	$\theta = 50$ القطر الكبير	$\theta = 40$ القطر الكبير	$\theta = 30$ القطر الكبير
0.2	1.051857	1.030983	0.967877	0.86497	0.726587	0.558813	0.370237
0.4	1.716827	1.684737	1.586905	1.427304	1.211971	0.949327	0.650839
0.6	2.296606	2.255083	2.126717	1.917794	1.635517	1.290336	0.896221
0.8	2.881365	2.829614	2.67092	2.411948	2.061742	1.632802	1.141644
1	3.485485	3.423398	3.232703	2.921484	2.500358	1.983981	1.391511
1.5	5.109229	5.018918	4.739612	4.28421	3.667365	2.909674	2.037586
2	6.902442	6.778816	6.397573	5.775261	4.931855	3.894776	2.698951
2.5	8.849782	8.688837	8.190082	7.37667	6.273871	4.916925	3.350428
3	10.9219	10.71811	10.08841	9.060446	7.666453	5.950415	3.967765
3.5	13.09255	12.84193	12.06691	10.80175	9.085767	6.972653	4.52981
4	15.33115	15.02996	14.0969	12.57277	10.50473	7.957313	5.011231
5	8.54855	8.343884	7.710645	6.676614	5.273212	3.543079	1.538785
6	5.342472	5.184568	4.696035	3.898308	2.815626	1.480886	0.154731
7	3.261737	3.134191	2.739581	2.095222	1.220695	0.186242	0
8	1.921623	1.813637	1.47953	0.933961	0.194779	0	0
9	1.087234	0.991428	0.694994	0.210935	0	0	0
10	0.588797	0.50027	0.226353	0	0	0	0

جدول (٥)

خاص بالعلاقة بين عمق الأثر مع الطاقة لكاشف CR-39 باستخدام المعادلة الثانية.

(MeV) الطاقة	$\theta = 90$ القطر الكبير	$\theta = 80$ القطر الكبير	$\theta = 70$ القطر الكبير	$\theta = 60$ القطر الكبير	$\theta = 50$ القطر الكبير	$\theta = 40$ القطر الكبير	$\theta = 30$ القطر الكبير
0.2	0.7798	0.565	0.572263	0.594829	0.461048	0.304385	0.141198
0.4	1.329662	1.297884	1.200116	1.042018	0.831268	0.579714	0.306593
0.6	1.81627	1.774724	1.646739	1.439298	1.161579	0.82746	0.458688
0.8	2.310417	2.25896	2.100307	1.842792	1.497108	1.079197	0.613349
1	2.83228	2.761393	2.570754	2.260958	1.844316	1.338922	0.771721
1.5	4.21066	4.120294	3.841252	3.387156	2.774654	2.027782	1.180819
2	5.75675	5.633314	5.251951	4.630767	3.791474	2.764984	1.59404
2.5	7.446748	7.285444	6.786917	5.974402	4.87541	3.52872	1.986754
3	9.2486	9.044793	8.41471	7.387381	5.996797	4.290555	2.331986
3.5	10.4643	10.23165	9.511887	8.336605	6.741514	4.775079	2.497049
4	8.510545	8.306423	7.674887	6.643646	5.244035	3.51858	1.519707
5	6.218878	6.048171	5.520056	4.657709	3.487334	2.044491	0.373022
6	5.21887	5.080112	4.596346	3.806415	2.734321	1.41264	0.00081
7	4.83191	4.681481	4.216025	3.45596	2.424381	1.152632	0
8	4.681084	4.532871	4.074244	3.325314	2.308841	1.055707	0
9	4.630982	4.483473	4.027073	3.281805	2.270315	1.023335	0
10	4.615985	4.468693	4.012969	3.268805	2.258813	1.013682	0

جدول (٦)

خاص بالعلاقة بين عمق الأثر مع الطاقة لكاشف CR-39 باستخدام المعادلة الثالثة.

(MeV) الطاقة	$\theta = 90$ القطر الكبير	$\theta = 80$ القطر الكبير	$\theta = 70$ القطر الكبير	$\theta = 60$ القطر الكبير	$\theta = 50$ القطر الكبير	$\theta = 40$ القطر الكبير	$\theta = 30$ القطر الكبير
0.2	0.685545	0.665029	0.602222	0.501933	0.371397	0.222644	0.077908
0.4	1.199178	1.167434	1.069897	0.912893	0.705382	0.461732	0.207058
0.6	1.660543	1.619032	1.491274	1.284923	1.010437	0.684218	0.333888
0.8	2.13302	2.081596	1.923167	1.666736	1.32428	0.914262	0.466851
1	2.62141	2.564367	2.373917	2.0652	1.651777	1.154268	0.605495
1.5	3.967957	3.877614	3.598778	3.145734	2.536423	1.797466	0.968837
2	5.466476	5.343055	4.961869	4.3417	3.505552	2.486865	1.334275
2.5	7.096782	6.93548	6.437088	5.625535	4.529617	3.190649	1.666975
3	8.811223	8.607388	7.977403	6.950956	5.563347	3.86472	1.924399
3.5	8.955207	8.744571	8.092931	7.028888	5.58476	3.80444	1.742017
4	6.893482	6.712936	6.154375	5.242308	4.00445	2.478412	0.770207
5	3.9474	3.809868	3.38433	2.689454	1.746353	0.585567	0.000393
6	2.170581	2.058981	1.713658	1.14976	0.384419	0	0
7	1.13045	1.034039	0.735686	0.248472	0	0	0
8	0.555476	0.467416	0.194974	0	0	0	0
9	0.255581	0.17189	0	0	0	0	0
10	0.191576	0.027618	0	0	0	0	0

جدول (٧)

خاص بالعلاقة بين القطر الكبير مع الطاقة لكاشف LR-115 باستعمال المعادلة الأولى.

(MeV) الطاقة	$\theta = 90$ القطر الكبير	$\theta = 80$ القطر الكبير	$\theta = 70$ القطر الكبير	$\theta = 60$ القطر الكبير	$\theta = 50$ القطر الكبير	$\theta = 40$ القطر الكبير	$\theta = 30$ القطر الكبير
0.2	7.707368	7.629889	7.487538	7.324325	6.842808	6.307459	5.607176
0.4	9.116147	9.054678	7.581325	8.616235	8.216187	7.663637	6.943225
0.6	9.937919	9.887692	9.745583	9.488051	9.131083	8.648993	7.992301
0.8	10.46148	10.42276	10.31403	10.13883	9.877551	9.501343	8.910532
1	10.75545	10.72949	10.72068	10.68215	10.55744	10.28812	9.778024
1.5	10.65892	10.64832	11.19572	11.60751	11.92091	12.02243	11.79659
2	10.01747	10.00099	10.67692	11.58886	12.60237	13.31177	13.54152
2.5	8.92958	8.905445	9.537013	10.40573	11.85365	13.75226	14.82584
3	7.628511	7.58512	8.121465	8.833475	10.04329	12.10425	15.26248
3.5	6.468187	6.404552	6.827236	7.338125	8.192463	9.639865	10.86895
4	5.479802	5.396845	5.74714	6.118735	6.716861	7.073256	5.625315

جدول (٨)

خاص بالعلاقة بين القطر الكبير مع الطاقة لكاشف LR-115 باستعمال المعادلة الثانية.

(MeV) الطاقة	$\theta = 90$ القطر الكبير	$\theta = 80$ القطر الكبير	$\theta = 70$ القطر الكبير	$\theta = 60$ القطر الكبير	$\theta = 50$ القطر الكبير	$\theta = 40$ القطر الكبير	$\theta = 30$ القطر الكبير
0.2	6.152469	6.09764	5.923234	5.621981	5.175912	4.553393	3.686157
0.4	7.409311	7.187811	7.198617	6.917514	6.49382	5.887189	5.015271
0.6	8.090838	8.053077	7.930204	7.707471	7.35212	6.8085	5.973627
0.8	8.480755	8.464976	8.406777	8.277061	8.023419	7.569645	6.79419
1	8.662244	8.680994	8.716993	8.71181	8.587838	8.248396	7.552321
1.5	8.50738	8.60515	8.895321	9.288361	9.613157	9.68397	9.28972
2	7.954807	8.058808	8.36983	9.001675	9.867892	10.64973	10.81243
2.5	7.227877	7.320086	7.621533	8.173654	9.069839	10.45867	11.87355
3	6.379089	6.456594	6.709373	7.17031	7.915579	9.100577	9.374352
3.5	5.454943	5.517444	5.72063	6.088486	6.675949	6.903041	5.470502
4	4.516389	4.565003	4.72243	5.005306	5.452216	3.400075	1.79094

جدول (٩)

خاص بالعلاقة بين عمق الأثر مع الطاقة لكاشف LR-115 باستخدام المعادلة الأولى.

(MeV) الطاقة	$\theta = 90$ القطر الكبير	$\theta = 80$ القطر الكبير	$\theta = 70$ القطر الكبير	$\theta = 60$ القطر الكبير	$\theta = 50$ القطر الكبير	$\theta = 40$ القطر الكبير	$\theta = 30$ القطر الكبير
0.2	1.548543	1.524967	1.444165	1.333044	1.171466	0.972518	0.742812
0.4	2.383971	2.347853	2.234137	2.054212	1.806961	1.502366	1.150194
0.6	3.106964	3.059909	2.911906	2.677601	2.355672	1.95899	1.50007
0.8	3.803552	3.745851	3.56509	3.277266	2.882669	2.396384	1.833593
1	4.509656	4.441005	4.2266	3.883793	3.414552	2.836227	2.166744
1.5	6.360178	6.261788	5.955921	5.463557	4.791328	3.962716	3.003103
2	8.308944	8.17628	7.765159	7.10045	6.194429	5.077559	3.783889
2.5	10.21615	10.14469	9.514591	8.654669	7.484048	6.040938	4.369283
3	11.97881	11.76403	11.10128	10.12322	8.557186	6.749848	4.656202
3.5	13.55021	13.28758	12.47852	11.15938	9.367821	7.158402	4.677196
4	5.97296	5.803593	5.179599	4.42397	3.262705	1.856907	1.413001

جدول (١٠)

خاص بالعلاقة بين عمق الأثر مع الطاقة لكاشف LR-115 باستخدام المعادلة الثانية.

(MeV) الطاقة	$\theta = 90$ القطر الكبير	$\theta = 80$ القطر الكبير	$\theta = 70$ القطر الكبير	$\theta = 60$ القطر الكبير	$\theta = 50$ القطر الكبير	$\theta = 40$ القطر الكبير	$\theta = 30$ القطر الكبير
0.2	1.037511	1.013881	0.941239	0.823592	0.666482	0.478271	0.272044
0.4	1.693264	1.657115	1.54567	1.364691	1.121623	0.827439	0.498438
0.6	2.26224	2.215143	2.069894	1.83369	1.515668	1.129074	0.693012
0.8	2.807518	2.749783	2.511619	2.281669	1.8907	1.414168	0.873907
1	3.356172	3.28751	3.075533	2.730371	2.264464	1.695538	1.048231
1.5	4.777746	4.679367	4.375441	3.880133	3.210434	2.390238	1.451801
2	6.2704	6.137865	5.728052	5.059837	4.155446	3.045869	1.77213
2.5	7.755873	7.584553	7.054925	6.191068	5.021101	3.58406	1.93087
3	9.148599	8.934153	8.270853	7.188628	5.722187	3.919563	1.935734
3.5	5.509201	5.405721	4.899948	4.074075	2.953197	1.604338	0.790144
4	3.090858	2.914292	2.522679	1.8832	1.015184	0.321839	0.072289