

Study of nuclear track parameters of normal incident alpha particles on CR-39 detector

Sabreen Thanoon Malo^{1*}, Yasir Yahya Kasim², Mushtaq Abed Al-Jubbori³

^{1*,2,3} Department of Physics, College of Education for Pure Sciences, University of Mosul, Mosul, Iraq

E-mail: ^{1*}Sabreen.esp115@student.uomosul.edu.iq, ²yaser-physics@uomosul.edu.iq,
³mushtaq_phy@uomosul.edu.iq

(Received February 10, 2021; Accepted March 22, 2021; Available online June 01, 2021)

DOI: [10.33899/edusj.2021.129461.1139](https://doi.org/10.33899/edusj.2021.129461.1139), © 2021, College of Education for Pure Science, University of Mosul.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract

In this paper, Solid State Nuclear Detector (SSNTD) CR-39 was broken into many fragments with areas of $(1 \times 1) \text{ cm}^2$. The samples were irradiated using ^{241}Am source. The measurements were taken at normal incident angle of the alpha particles for energies (3.17, 3.59 and 4.13) MeV respectively. The samples were etched using sodium hydroxide solution ($\text{NaOH } 6\text{N}$, $70 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$) for time interval of 0.25 h. The optical microscope provided with digital camera was used to preview the track profile formed in CR-39. This allowed measurement of the track length and in turn the track length as a function of the etching time. The track growth rate, track etch rate and track rate ratio were also investigated as a function of many parameters such as etching time, track depth and residual range. The study showed a good consistency among the investigated parameters. The curves of the track etch rate and track etch ratio manifested a consistency with Brack curve who interested in studying the linear energy loss in materials where the maximum energy loss occurs at the end of the alpha particle range.

Keywords: Alpha particle, CR-39, Track etch rate, Etch rate ratio, Track depth

دراسة معلمات الأثر النووي للسقوط العمودي لجسيمات الفا على كاشف CR-39

صابرين ذنون يونس ملو^{1*}، ياسر يحيى قاسم²، مشتاق عبد داود الجبوري³

^{1*,2,3} قسم الفيزياء، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة الموصل، الموصل، العراق

الخلاصة

في هذا البحث تم تقطيع كاشف الأثر النووي في الحالة الصلبة CR-39 الى عدة عينات (قطع) ذات مساحة $(1 \times 1) \text{ cm}^2$ ومن ثم تم تشيع هذه العينات من كاشف CR-39 من خلال مصدر الأمريشيوم ^{241}Am وبطاقات جسيمات الفا (3.13, 3.59 and 4.17) MeV وبزاوية سقوط عمودية على سطح الكاشف. قشطت هذه العينات بمحلول هيدروكسيد الصوديوم وبظروف قشطية ($\text{NaOH } 6\text{N}$, $70 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$) ولفترات قشط تتابعية قدرها 0.25h. استخدم المجهر الضوئي (البصري) الموصول بكاميرا رقمية لتصوير المظاهر الجانبية للأثار التي تم قياس اطوالها ومن ثم حساب طول الاثر دالة لزمان القشط، تمت دراسة معلمات تلك الأثار مثل معدل نمو الأثار ومعدل قشط الأثر ونسبة معدل القشط دالة لعدد من المعلمات منها زمن القشط، وعمق الأثر اضافة الى المدى المتبقي واظهرت الدراسة ان هنالك توافقاً جيداً بين المعلمات المدروسة. يلاحظ من هذه الدراسة ان معدل قشط الأثر ونسبة معدل القشط تنطبق مع منحنى براك الذي يهتم بدراسة فقدان الطاقة الخفي في المواد الصلبة اذ يتضح ان معدل فقدان يكون في حالته العظمى عند نهاية مدى الجسيم.

المقدمة

بدأت فكرة كواشف الأثر النووي الصلب في عام 1958 حينما لاحظ العالم الإنكليزي بينك Young في مؤسسة أبحاث الطاقة الذرية في إنكلترا انه يحدث تلف في بلورة فلوريد الليثيوم (Lif) المجاورة لرقائق (Foil) من اليورانيوم عند تعريضها للقصف بالنيوترونات الحرارية، وعند معالجتها بمحاليل كيميائية قاشطة مناسبة وعرضها تحت المجهر الضوئي تبين ظهور المناطق التالفة على هيئة حفر [1-5]، وكان عدد هذه الحفر متناسباً مع عدد شظايا الانشطار الناتجة عن تفاعل النيوترونات الحرارية مع رقاقة اليورانيوم التي تصطم بسطح بلورة الليثيوم [6,7]، ومنذ ذلك الوقت أصبحت هذه البلورة واحدة من مواد الكشف عن اثار الجسيمات المشحونة فكواشف الأثر النووي الصلبة (SSNTD's) (Solid state Nuclear Track Detectors) ما هي الا عبارة عن مواد صلبة لها القدرة على تخزين تأثير الإشعاع المؤين على شكل تلف في تركيبها الداخلي والذي يمكن مشاهدته مباشرة بالمجهر الإلكتروني او بشكل غير مباشر بالمجهر الضوئي الاعتيادي بعد معالجة الكاشف بمحلول كيميائي مثل هيدروكسيد الصوديوم NaOH كما في بحثنا هذا او هيدروكسيد البوتاسيوم KOH لحفر مناطق التلف الحاصل في هذه المواد واطهارها وتكبيرها ثم عرضها [8,9]. ومن اجل فهم الية تكوين وتطور الأثر في كواشف الأثر النووي الصلبة (SSNTD's) وضعت العديد من الأنموذجات منها لدراسة نمو فتحة قطر الأثر والأخرى لدراسة المظاهر الجانبية للأثر، فاستعملت طرق مختلفة لتصوير الأثر في بعدين (2D) او ثلاثة ابعاد (3D) باستخدام أجهزة مناسبة لهذا الغرض كما تم تطوير برامج لرسم شكل الأثر وايجاد معلماته نظرياً ببعدين او ثلاثة ابعاد منها برنامج Track Test وبرنامج CR-39 [3]، ان الهدف من الدراسة الحالية هو دراسة السقوط العمودي لجسيمات ألفا وذلك من خلال عدد من المعلمات الفيزيائية التي تخص الأثر النووي بعد تكونه على سطح كاشف CR-39.

النظرية

وضعت العديد من الأنموذجات والمعادلات لفهم تطور مراحل نمو الأثر النووي في الكواشف النووية ومن هذه النمودجات:

• إنموذج (Somogyi and Szalay., 1973):

يركز هذا الانموذج على وصف شكل مسار السقوط المائل للجسيمات المشحونة الثقيلة إضافة الى وصف نمو الأثر اثناء مرحلة القشط المفرط، فقد طور D.Nikezic صيغة رياضية للدالة $V(R')$ تعتمد على ان معدل قشط الأثر (V_T) يتغير وليس ثابتاً اضع الى ذلك ان ابتداءً من سطح الكاشف ويتدرج نزولاً الى عمق وحدد في مادة الكاشف التي تزداد قيمته بعد ذلك [10].
وطور النموذج المذكور أعلاه فيما يخص الدالة $V_T(t)$ باعتبار ان حافات الأثر تكون مقعرة ورأس الأثر يكون مدبباً [10].

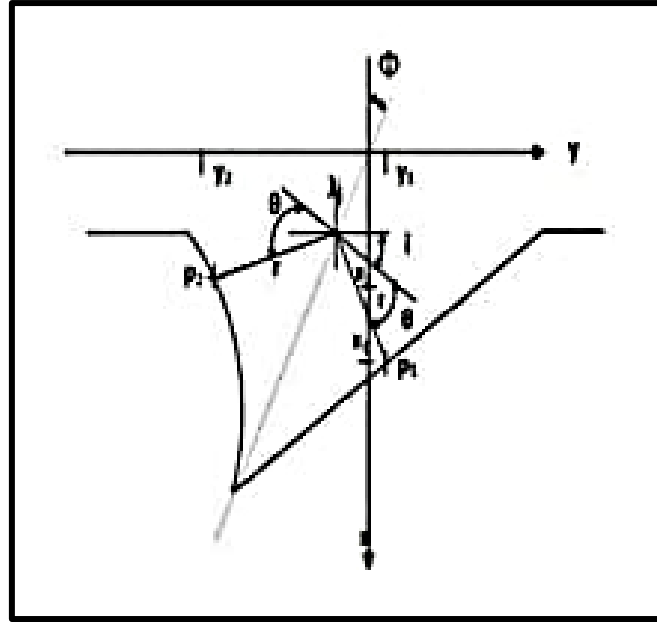
• إنموذج (Fews and Henshaw., 1982):

أستند هذا النموذج لوصف شكل الأثر ومراحل تطوره مع القشط على بنية اثر جسيمات ألفا في كاشف CR-39. فقد تطرقا العالمان في وصف وتحليل الأثر خمس معلمات هي عمق الأثر (x)، وتطور المحور الرئيسي (D) والثانوي (d) والطول الكلي للأثر (L) إضافة الى قطره في حالة نهاية الأثر تام القشط (etched-out)، وقام العالمان باستنتاج معادلات لوصف فتحة الأثر بالإضافة لشكله [11].

• أنموذج (Fromm et. al., 1996):

تطرق هذا النموذج لمعالجة شكل الأثر ببعدين فقسم عملية القشط الى مرحلتين متتاليتين كما مبين في الشكل (1) على افتراض تغير $V_T(x,t)$ مع ثبوت معدل قشط العام V_B ليتم توسيع الأثر خارج المناطق المتضررة للمسار المقشوط في الكواشف، فتتغير $V_T(x,t)$ مع مقدار الطاقة المفقودة من الجسيم على طول مسار الايون في الكواشف .

[12]



الشكل (1): احداثيات النقاط التي تشكل جدران الأثر المقشوط [13]

• **أنموذج (Nikezic and Yu., 2003):**

اعتمد هذا الأنموذج على ان تكون معادلات جدار الأثر في حالة كونه ببعدين معروفة، ويعتبر هذا الأنموذج من احسن الأنموذجات في وصف شكل الأثر ونموه وتغير معدل القشط الأثر (V_T) مع الزمن (t) وعمق الأثر (x)، تمكن الباحثان من ربط معدل قشط الأثر (V_T) وزمن القشط (t) وعمق الأثر (x) وطاقة جسيمة الفا (E)، وكذلك إيجاد معادلة جدار الأثر في المرحلة المخروطية للأبعاد الثلاثية للسقوط العمودي، وقدموا برنامجاً اسمه TRACK-TEST [3]، يعول عليه لوصف شكل الأثر ورسمه نظرياً وحساب عدد من معلماته وفقاً للمعطيات والبيانات التجريبية [13].

• **أنموذج عزوز وجماعته (Azooz et al., 2012):**

وضع هذا الأنموذج من قبل عزوز واخرون في جامعة الموصل وقد تم تسميته (SSNTDS-Model) ويستخدم لوصف الأثر باستخدام معادلة رياضية جديدة لطول الأثر دالة لزمن القشط $L(t)$ ومن خلالها يمكن إيجاد معدل قشط الأثر (V_T) ونسبة الاستجابة (معدل القشط) (V) اعتماداً على طاقة الجسيم المشحون (E) وزمن القشط (t)، وتعتمد هذه المعادلة على خمسة معاملات معتمدة على طاقة الجسيم وزمن قشطه، تم اختصارها فيما بعد الى أربعة معاملات حرة لا تعتمد على طاقة الجسيم بل على المعطيات والبيانات التجريبية لقياس اطوال الاثار لعدت طاقات مختلفة تابعة لجسيمات الفا في كاشف CR-39، كما استطاع عزوز واخرون [14] تقديم برنامج حاسوبي بلغة ماتلاب (Matlab) اطلق عليه (CR39 Program) يعتمد على تلك المعاملات في رسم الأثر وتطور اشكاله نظرياً ببعدين (2D) او ثلاثة ابعاد (3D) للسقوط العمودي، ويمتاز هذا البرنامج المذكور بأنه سهل الاستخدام لجسيمات الفا والبروتونات [15].

ونلاحظ انموذج عزوز وجماعته مختلفاً عن الأنموذجات الأخرى وذلك لأنه يعتمد على الجانب الفيزيائي لوصف الأثر ونموه ورسمه نظرياً، تم تطوير انموذج من قبل الجبوري وعزوز [16] من خلال دراسة مطيافية اقطار جسيمات الفا واعتبارها كمقياس لطاقة الجسيم الساقط.

معادلات وبرامج الأثر النووي

هنالك معادلات وبرامج ليست كثيرة وجدت من قبل الباحثين لدراسة تتطور نمو الأثر ومن اهمها واعقدها هي تلك المعادلات التي تعنى بدراسة نسبة معدل القشط (V) دالة للمدى المتبقي (R):

تعد عملية التطوير لشكل الأثر بالإضافة لمظهره عملية منظمة يتم التحكم بها بواسطة معلمين رئيسيين هما معدل قشط الأثر (V_T) ومعدل القط العام (V_B)، يتم بعدها تحديد نسبة معدل القشط كدالة للمدى المتبقي $V(R')$ بصورة دقيقة باستخدام تصوير الاشكال الجانبية (المقاطع العمودية) للأثر ومن ثم قياس طول الاثار مباشرة لإيجاد المعدل الزمني لتغير الاطوال في مرحلة القشط ضمن مدى تكون الأثر خلال مرحلة نموه الأولى والتي تدعى (المخروط المنظم المدبب الرأس) وكذلك في المرحلة التي تدعى مرحلة القشط المفرط خارج مدى الأثر في المنطقة السليمة التي تقع تحت نهاية مدى الجسيم في الكاشف ما بين مرحلتين المخروط الشبيه منتظم ذو الرأس المدور وحفرة الأثر ذات الشكل شبه الكروي والكروي والذي ينتج عنه إعطاء مفهوم اخر جديد وشديد الدقة لمفهوم تطور اشكال الاثار الناتجة واحجامها [13, 3]. وقد أجريت عدة دراسات على المعلمات الهندسية لتلك الاثار المقشوفة في عدد قليل من الكواشف والتي تدعى متعدد الكربون (CR-39) و نترات السليولوز (LR-115)، فتم وضع عدة معادلات لدالة نسبة معدل القشط $V(R')$ إضافة الى برامج لرسم اشكال الأثر للكاشفين سابقين الذكر استناداً لتلك المعادلات، واعتماداً على الشكل المخروطي للأثر متى ما يكون المعدلين المذكورين معدل قشط الأثر (V_T) ومعدل القشط العام (V_B) ثابتين.

وقد تم فيما بعد ومع تطور الأبحاث العملية والعلمية ظهور نماذج أخرى أنتجت معادلات تعتمد على بقاء (V_B) ثابتاً مع تغير معدل قشط الأثر (V_T) على طول مسار الجسيم.

برنامج TRACK-TEST:

ويعد برنامج TRACK-TEST من البرامج التي تختص برسم المقطع العمودي أو الجانبي للأثر المقشوة نظرياً وإيجاد بعض معاملات الأثر مثل طول الأثر وقطر فتحة العدسة ومدى جسيمات الفا التي تقع على الكاشف وفقاً للبيانات والقياسات التجريبية لأطوال الأثر ومعلماته الفيزيائية الأخرى [2,3]، ان برنامج مزود بثلاثة صيغ من المعادلات ($V(R')$ لكاشف الأثر النووي (CR-) (39) وهو:

المعادلة الأولى: لـ كرين وجماعته [Green et. al., 1982] [4]:

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

المعادلة الثانية: لـ برون وجماعته [Brun et. al., 1999] [5]:

$$V = 1 + \exp(-A_1 Y + B_1) - \exp(-A_2 Y + B_2) + \exp B_3 - \exp B_1 \dots \dots \dots (2)$$

المعادلة الثالثة: لـ يو وجماعته [Yu et. al., 2005] [6]:

$$V = 1 + \exp(-a_1 Y + b) - \exp(-a_2 Y + b) \dots \dots \dots (3)$$

عند استخدام برنامج TRACK-TEST يجب تحديد نوع الكاشف المستخدم اذا كان (CR-39) او (RL-115) ويجب ادخال عدد من البيانات وهي طاقة جسيم الف (E) وزمن القشط (t) ومعدل القشط العام (V_B) وزاوية للسقوط لجسيمات الفا على الكاشف (Θ)، تم اختيار المعادلة من المعادلات الثلاثة أعلاه $V(R')$ وعند تنفيذ البرنامج يتم الحصول على شكل الأثر للبيانات المدخلة وتم تكرار نفس العملية لأزمان قشط مختلفة ويتم من خلالها الحصول على مراحل نمو وتطور الأثر.

واخيراً وجدت معادلة جديدة من قبل الجبوري (Al-Jubbori., 2020) [7] لحساب نسبة معدل القشط كدالة للمدى المتبقي ($V(R')$ حيث ان هذه المعادلة تحتوي على خمس معاملات حرة:


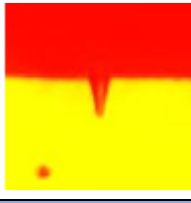
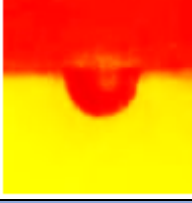
$$V(R') = 1 + e^{(-a_1 R' + a_2 - \frac{a_3}{R} + \frac{a_4}{R^{a_5}})} \dots \dots \dots (4)$$

$$a_1 = 0.098 \mu m^{-1}, a_2 = 1.86, a_3 = 37.78 \mu m, a_4 = 36.98 \mu m \text{ and } a_5 = 0.98$$

ونستنتج ان هذه المعادلة تنطبق ليس على جسيمات الفا فقط بل انها تنطبق على الايونات المشحونة الثقيلة كأيون الاوكسجين وايون النيتروجين، ومن الممكن إضافة هذه المعادلة الى برنامج TRACK-TEST في المستقبل القريب [7].

طريقة العمل

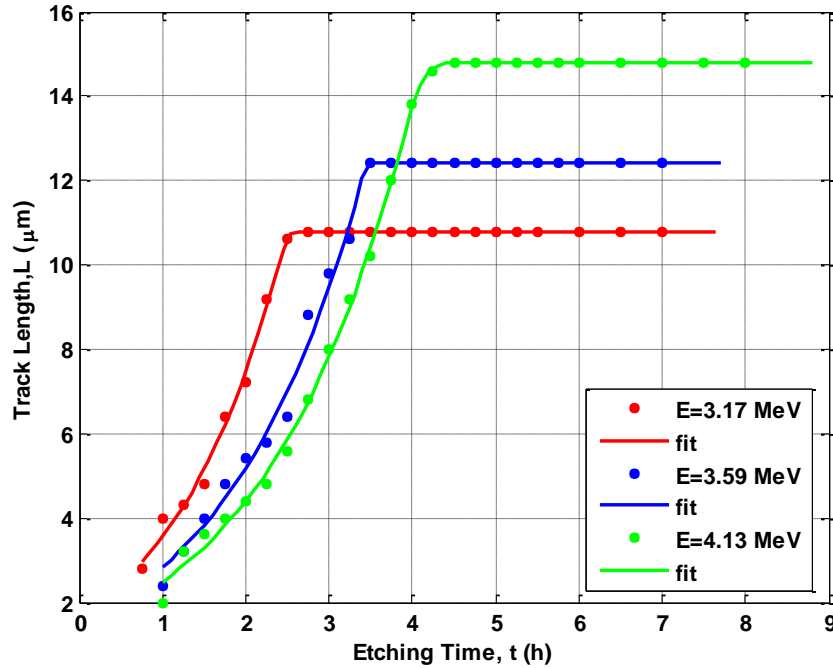
شُيْع كاشف الأثر النووي CR-39 ذي سمك $200 \mu m$ بأبعاد ($1 \times 1 \text{ cm}^2$) بطاقات مختلفة قدرها 3.17, 3.59 and 4.13 MeV بصورة عامودية على الكاشف. وتم تقطيع الكاشف بشكل منتظم لكي تكون حوافه مصقولة بشكل جيد ولإزالة الخدوش والحصول على صور دقيقة للمظاهر الجانبية لأطوال الاثار (L). استخدم مصدر الأمريشيوم ^{241}Am فاعليته ($1 \mu\text{ci}$) وذات طاقة قصوى (5.48 MeV). قشطة العينات في محلول هيدروكسيد الصوديوم (6.25N , $70 \pm 1^\circ\text{C}$) NaOH وذلك لإيجاد الاثار المتكونة على سطح الكاشف عند ازمان قشطية متعاقبة بفترات زمنية تتراوح 0.25 h. وبعد ذلك تم تصوير الاثار المتكونة في الكاشف عند ازمان قشط مختلفة عن طريق المجهر البصري (الضوئي) (XSZ-H Series Biological Microscope) المزود بكاميرا رقمية نوع MADC-5 مربوطة على حاسبة شخصية PC والشكل (2) يبين المظهر الجانبي لبعض الاثار المتكونة على سطح الكاشف.

	Start track development (growth)	Saturation of the track length	Over etched tracks
E=3.17 MeV			
t (h)	0.75	2.75	7
L (μm)	2.8	10.8	10.8

الشكل (2): صورة تجريبية للمظاهر الجانبية لأثار جسيمات الفا

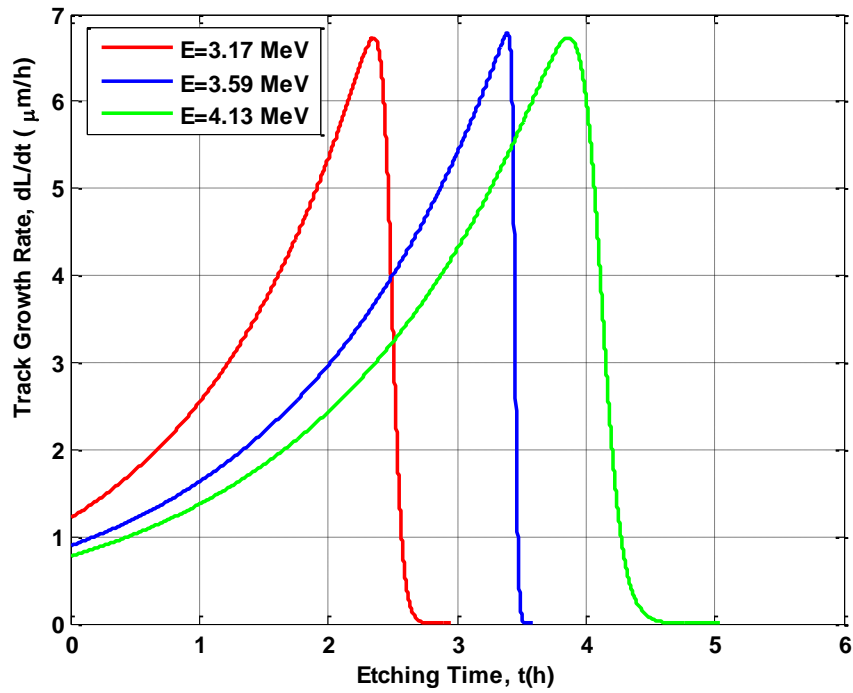
النتائج والمناقشة

دُرست علاقة طول الأثر دالة لزمن القشط كما موضح في الشكل (3) نلاحظ أن طول الأثر يزداد زيادة لاخطية مع زمن القشط الى ان يصل قيمته العظمى والتي يكون عندها قد دخل المحلول القاشط الى المنطقة السليمة وتعتبر هذه النقطة حرجة وهي بداية تحول شكل الأثر من الطور المخروطي المنتظم الى الطور الكروي لاحظ الشكل (3).

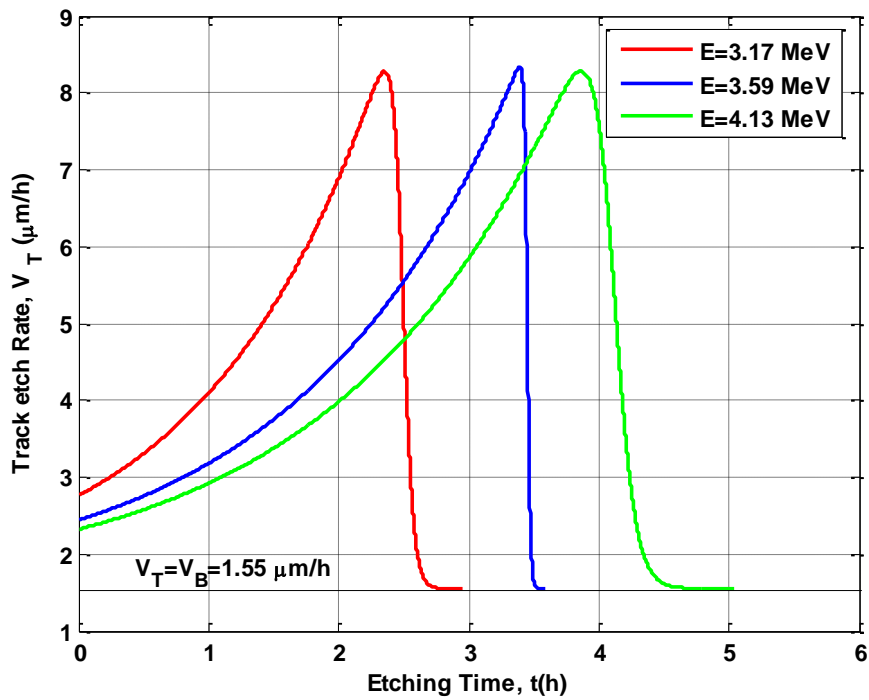


الشكل (3): علاقة طول الأثر بزمن القشط

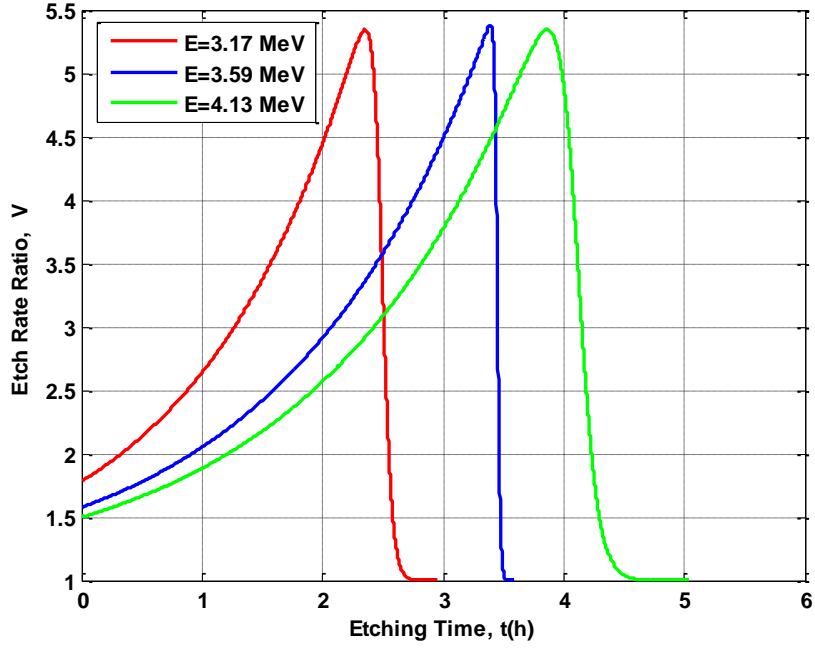
الأشكال (4, 5 and 6) تبين تغير معدل نمو الأثر، ومعدل قشط الأثر، ومعدل القشط دالة لزمن القشط حيث يلاحظ ان الزيادة تكون لاخطية الى ان يصل الأثر نهايته العظمى (اي القشط في المنطقة السليمة) عندها يهبط معدل نمو الأثر بشكل مفاجئ الى الصفر الشكل (4) اما معدل قشط الأثر فيهبط الى قيمة $V_B=1.55 \mu\text{m/h}$ الشكل (5) في حين نسبة معدل القشط تهبط الى الواحد أي ان $V_T=V_B$ وهذا موضح في الشكل (6)، والأشكال (5, 6 and 7) متوافقة مع منحنى براك لفقدان الطاقة.



الشكل (4): معدل نمو الأثر دالة لزمن القشط

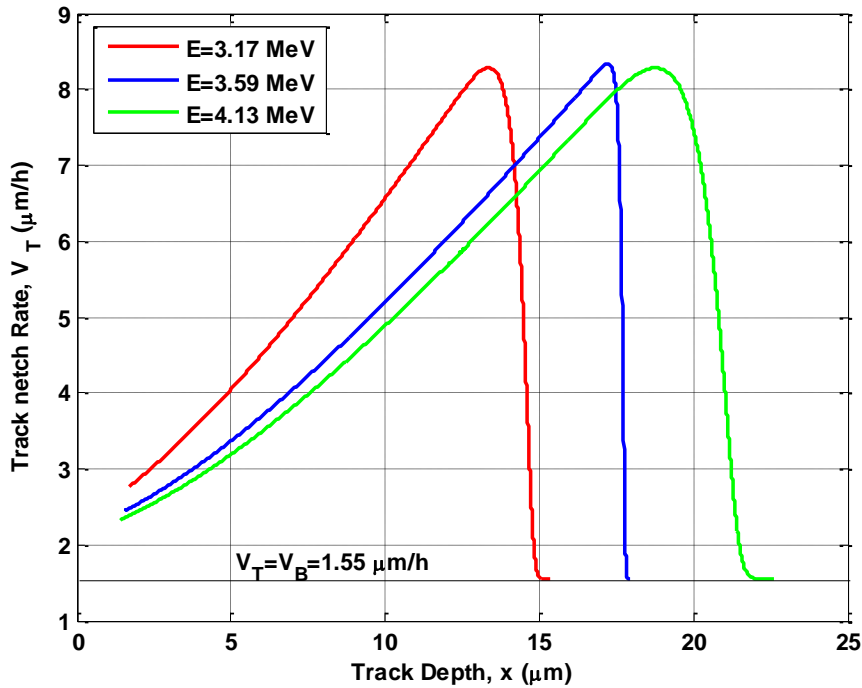


الشكل (5): علاقة معدل قشط الأثر مع زمن القشط

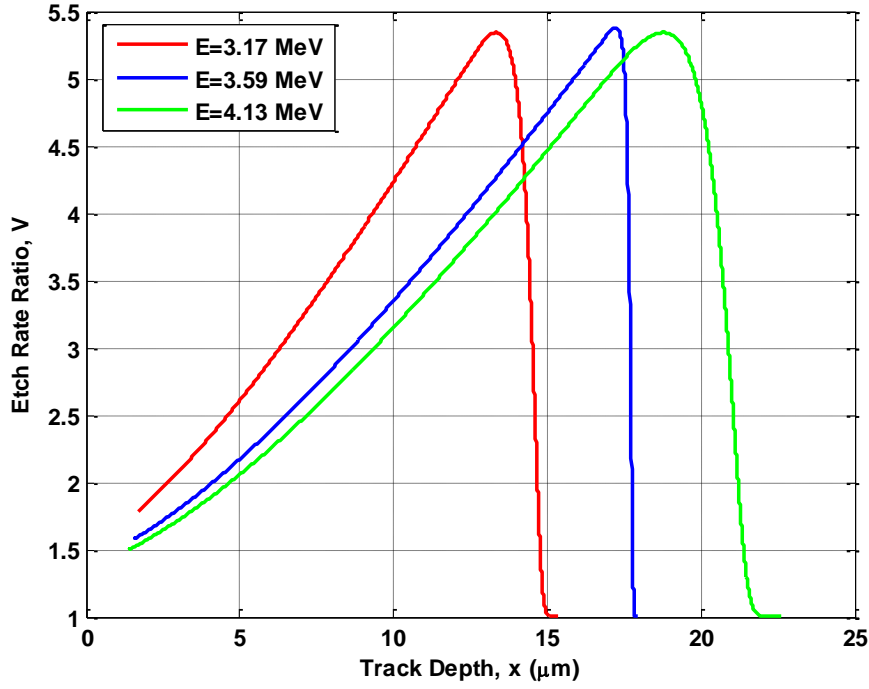


الشكل (6): العلاقة بين نسبة معدل القشط وزمن القشط

ان العلاقة بين معاملات الأثر وعمق الأثر هي علاقة لاقطية تزايدية لحين وصول المحلول القاشط الى المنطقة السليمة، ويلاحظ ان كلما زادت الطاقة زاد عمق الأثر أي انه يزاح الى الجهة اليمنى من المحور السيني وهذا موضح في الشكل (7 and 8).

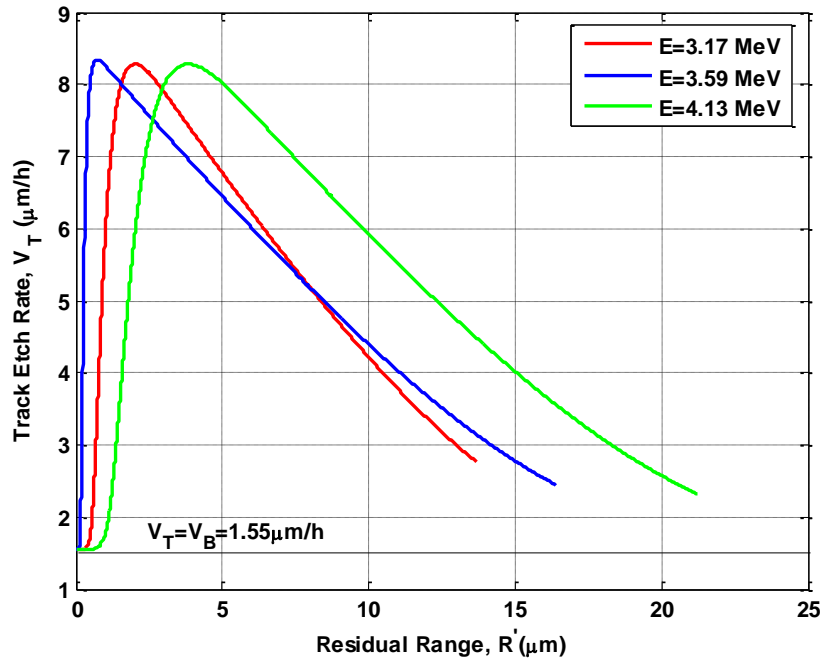


الشكل (7): معدل قشط الأثر دالة للعمق

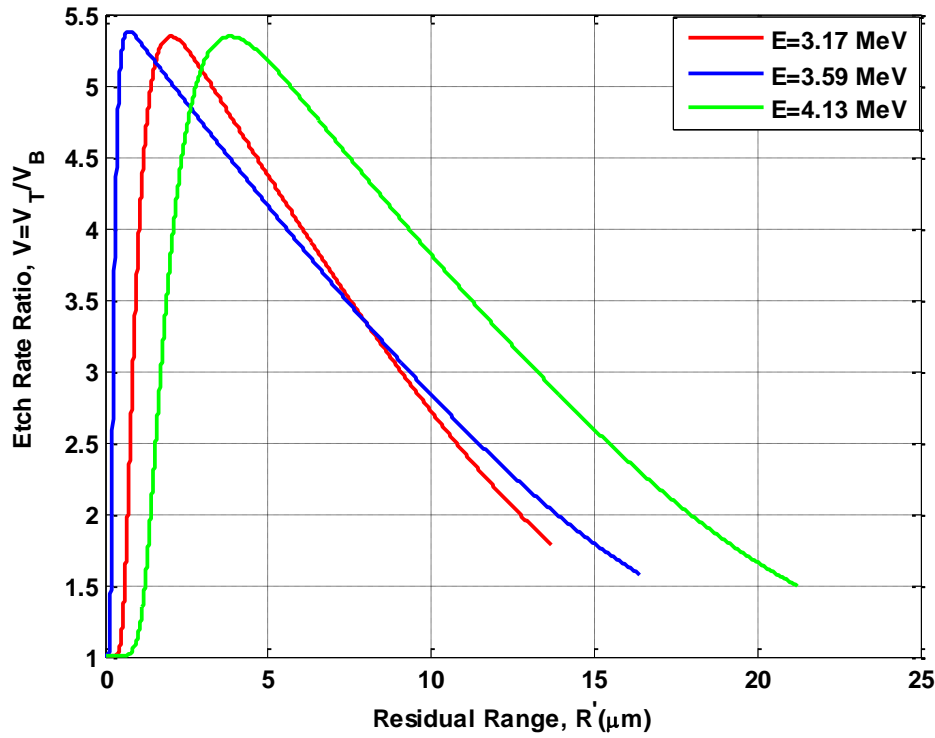


الشكل (8): معدل قشط الأثر دالة للعمق

يزداد معدل قشط الأثر (V_T) ونسبة معدل القشط (V) مع المدى المتبقي (R') زيادة تسارعية وان اقصى قيمة لهذين المعلمين تكون عند قمة منحنى براك أي عند وصول المحلول القاشط الى نهاية الأثر، وباستمرار زيادة المدى المتبقي (R') تقل هذه المعلمات بصورة لا خطية وهذا موضح في الشكلين (9 and 10).



الشكل (9): علاقة معدل القشط مع المدى المتبقي



الشكل (10): علاقة نسبة معدل القشط مع المدى المتبقي

الاستنتاج

من خلال الدراسة الحالية للمعلومات الفيزيائية التي تخص الأثر النووي بعد تكونه على سطح كاشف CR-39 للسقوط العمودي لجسيمات الفا اظهرت الدراسة ان تغير طول الأثر دالة لزمن القشط هو تغير لاخطي في بداية نمو الأثر الى ان يصل المحلول القاشط الى نهاية الأثر عندها يثبت طول الأثر بزيادة زمن القشط، وان معدل نمو الأثر ومعدل قشط الأثر ونسبة معدل القشط دالة لزمن القشط تكون متوافقة مع منحنى فقدان الطاقة الخطي في المواد وهذا مبين في الأشكال (4, 5 and 6)، في حين يتبين من الشكلين (9 and 10) ان معدل قشط الأثر ونسبة معدل القشط تتغير مع المدى المتبقي بهيأة مشابهة لمنحنى براك أي ان اعظم فقدان للطاقة يكون عند نهاية الأثر ثم يهبط بعدها هبوطاً سريعاً بعد ذلك. كما يتبين ان اقصى قيمة لنسبة معدل القشط للطاقات الثلاث تتراوح بحدود 5.4 في حين معدل قشط الأثر تراوحت قيمته العظمى 8.2 μm/h، اما معدل نمو الأثر فكانت اقصى قيمة له بحدود 6.7 μm/h.

Acknowledgements

We thank University of Mosul, College of Education for Pure Science, Department of Physics for supporting this work.

المصادر:

- [1] Al-Jubbori, M.A., 2013. Extension of alpha particles in CR-39-etched track depth model to heavier ion, Radia. Effe. Defe. Soli. 168 (11–12) 1004-1010.
- [2] Al-Jubbori, M.A., 2016. A parameterization of the chemistry-normality dependence of bulk etch rate in a CR-39 detector, Appli. Radia. Isoto. 118. 228-231.
- [3] Al-Jubbori, M.A., 2017. Empirical model of alpha particle track length in CR-39 detector, Nucl. Instrum. Methods A 871, 54–58.
- [4] Green P. Gi Ramli, A.G., AL. Najjar, - S. A. R. Abu- Jarad, F. and Durrania - S. A. and Durrani, S. A. (1982), "A Study of Bulk - Etch Rates and Track - Etch Rates in CR-39". Nucl... Instr. and Meth., 203, pp. 551-559.
- [5] Brun, C., Fromm, M; Jouffroy, M; Meyer, P; Groetz, J. E; Abel, Feja Chambaudet, A; Dorschel, B; Hermsdorf, Das Bretschneider, R; Kadner, K. and Kuhnes H., (1999), "Intercomparative Study of the Detection Characteristics of the CR-39 SSNTD for Light Ions: a Present Status of the Besancon. Dresden Approaches", Radiat. Meas31, pp. 89-98

- [6] Yu, K. N.; Ng, F. M. F and Nikezic, D. (2005), "Measuring Depths of Sub-Micron in a CR-39 Detector from Replicas Using Atomic Force Microscopy, Radiat. Meas., 40, PP. 380-383.
- [7] Al-Jubbori, M. A. (2020), " V- function to investigate tracks of the alpha particle irradiated CR. 39 detector" Rad. Meas., 136-106388.
- [8] Durrani, S. A.; Bull, R. K. (1987), Solid State Nuclear Track Detection; Principles, Methods and Applications", Pergamon press, Oxford.
- [9] Fleischer, R. L. j Price P. B. and Walker, R. M. (1975), "Nuclear Tracks - in Solids, Principles and Application", University of California Press, Berkley England.
- [10] Somgyi, G and Szalay, S. (1973), Nucl. Instr. and Meth. pp. 109-211 (Cited in Ref Nikezic, D. and Yu, K. N., 2004).
- [11] Fews, A. P. and Henshaw, D. L. (1982), Nucl. Instr. and Metho,pp. 197-517. (Cited' in Ref Nikezic, D. and Yu, K. N., 2004).
- [12] Fromm, Mis Chambaudet, A. awal Magnebord AB N. (1996), Nucl. Instr. and Meth. in Physics Research B, pp. 1107-377 & (Cited in Ref Nikezic, D. and Yu, K. N., 2004).
- [13] Nikezic, D. and Yu, K. N. (2003), Three-Dimensional Analytical Determination of the Track Parameters: Over Etched Tracks", Radiat. Meas, 37, pp. 39-45.
- [14] Azooz, A. A.; Al- Nia'emi, S. H. and Al-Jubbori, M. A. (2012a)," A parameterization a of nuclear track profiles in CR-39 detector. Computer physics Communication 183, 2470-72.
- [15] Azooz, A. A.; Al- Nia'emi, S. H. and Al - Jubbori, M. A. (2012b), "Empirical parameterization of CR-39 longitudinal track depth". Rad. Meas., 47, 67, 67-72.
- [16] Azooz, A.A., Al-Jubbori, M.A., 2016. Alpha particles energy estimation from track diameter development in a CR-39 detector, Appli. Radia. Isoto. 115, 74-80.