

إيجاد معدل القشط العام لكاشف الأثر النووي LR-115

ياسر يحيى قاسم¹، سعيد حسن سعيد النعيمي²

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

yasr_physics@gmail.com¹, saeed_alnaeme@yahoo.com²

الملخص

يهدف البحث إلى إيجاد معدل القشط العام V_B لكاشف الأثر النووي LR115 type II باستخدام طريقة قياس "طول-قطر" الأثر (L-D). شعع الكاشف بجسيمات ألفا بسقوط عمودي بطاقات 1.8, 2.47, 3.29 & 3.95 MeV. أستخدم مصدر ^{241}Am (1 μCi) الباعث لجسيمات ألفا بطاقة رئيسة 5.485 MeV في تشعيع الكاشف. تم الحصول على طاقات اقل من الطاقة الرئيسية بتغيير المسافة بين الكاشف والمصدر المشع في الهواء تحت الضغط الجوي الاعتيادي. قُشِطت الكواشف المشعة بالمحلول الكيميائي NaOH بتركيز 2.5N ودرجة حرارة $50 \pm 1^\circ\text{C}$ ، ثم قيست أقطار الآثار المتكونة. حُسبت أطوال الآثار بالطريقة البديلة لـ Al-Nia'emi وطريقة معايرة الـ D-L من الأقطار التي تم قياسها مباشرة عند أزمان القشط المختلفة تبعاً لطاقات جسيمات ألفا. وُجد أن معدل قيمة V_B كانت $1.1 \mu\text{m h}^{-1}$ ، وأنه لا يعتمد بشكل كبير على طاقة جسيمات ألفا. قورنت النتيجة مع القيم لدراسات أخرى أستخدمت فيها طرائق مختلفة في القياس.

الكلمات الدالة: كاشف الأثر النووي الصلب؛ كاشف LR115؛ معدل القشط العام؛ عمق الأثر.

Determination of the Bulk Etch Rate of the Nuclear Track Detector LR-115

Y. Y. Kasim¹, S. H. S. Al-Nia'emi²

^{1,2} Physics Department, College of Education for Pure Science, University of Mosul, Mosul, Iraq.

yasr_physics@gmail.com¹, saeed_alnaeme@yahoo.com²

Abstract

The present paper aims to determine the bulk etch rate (V_B) of the nuclear track detector LR115 type II using the track "length-diameter" (L_e -D) measurement method. The detector was irradiated with energies 1.8, 2.47, 3.29 and 3.95 MeV of alpha particles under normal incidence. A $1\mu\text{Ci } ^{241}\text{Am}$ source emits alpha particles with the main energy of 5.485 MeV was used in irradiation of the detector. The energies less than the main value are obtained by changing the source to detector distance in air at atmospheric pressure. The alpha-irradiated detectors were etched with a 2.5 N of NaOH solution at temperature $50\pm 1^\circ\text{C}$, and then the track diameters were measured. Using an alternative method presented by Al-Nia'emi and the D- L_e calibration method, the track lengths were determined from the directly measured track diameters for different etching times according to the energies of the alpha particles. It was found that the average value of V_B was $1.1 \mu\text{m.h}^{-1}$, which is not extremely dependent on the alpha particle energies. The result was compared to values recorded by other studies using different methods of measurement.

Keywords: Solid-state nuclear track detector, LR115 detector; Bulk Etch rate; Track depth.

1. المقدمة

إن استعمال طريقة القياس المباشر لأقطار الآثار لدراسة المظاهر الجانبية للآثار المقشوفة في الكواشف النووية الصلبة جراء قصفها بالجسيمات المشحونة ومتابعة نموها وأشكالها وهيئاتها (profiles) وسماتها (aspects)، ثم إيجاد أطوالها نظرياً بالاعتماد على كون المعدل الزمني لنمو أقطار الآثار متغيراً وليس ثابتاً وباستخدام معادلات معدلة لهذا الغرض وتحت شروط حدودية تجريبية بشكل يتوافق مع النتائج التي يتم الحصول عليها من القياسات المباشرة لأطوال الآثار وصور مظاهرها الجانبية، وهي تُعدّ من الطرائق غير المباشرة وطريقة جديدة وبديلة في هذا المجال [1]. إن أقطار الآثار المتكونة في كواشف الأثر النووي للجسيمات المشحونة تعتمد على عدة متغيرات للجسيم وهي كتلته، وشحنته، وطاقته، حيث يستفاد من معرفة اختلاف أقطار الآثار المتكونة في تمييز الجسيمات المشحونة حيث يمكن استخدام الكواشف الصلبة بوصفها مطيافاً لتمييز نوع الجسيمات وطاقاتها [2]. يعدّ معدل القشط العام (Bulk Etch Rate) V_B باتجاه السطح العام للكاشف ومعدل قشط الأثر V_T (Track etch rate) باتجاه العمق على طول المسار المتضرر من المعلمات الأساسية في التحكم في المظهر الجانبي (profile) وشكل الأثر المقشوط في الكاشف. فمعدل القشط العام هو مقدار ما يزال من سطح للكاشف من المناطق السليمة خلال عملية التفاعل الكيميائي بين المادة القاشطة ومادة الكاشف مما يؤدي إلى تقليل سمكه مع تقدم عملية القشط [3]. ونظراً لأهمية معدل القشط العام (V_B) في التحكم في عملية تشكل الأثر أثناء عملية القشط من خلال نسبة معدل القشط ($V = V_T/V_B$)، لذا يجب قياسه بشكل دقيق إذ يمكن استخدام طرائق مختلفة لقياس V_B وبعتماد نمطين وهي إما بتشجيع الكاشف بجسيمات ألفا أو بدون تشجيعه.

من الطرائق المعروفة جيداً في قياس معدل القشط العام لكاشف نترات السليلوز LR115 هي طريقة القياس التناقلي (gravimetric method) [3]. تعتمد هذه الطريقة على مقدار المادة المزالة من سطح الكاشف عند زمن محدد جراء عملية القشط الكيميائي، حيث تستند على قياس كتلة الكاشف قبل عملية القشط وبعده لفترات زمنية محددة. هناك طرائق أخرى لحساب V_B لكاشف LR115 والتي تتطلب أجهزة حديثة منها؛ طريقة التقشير (peel-off method) والتي تستند على دراسة المظهر السطحي (surface profilometry) للكاشف واستخدام مجهر القوة الذرية AFM (atomic force microscope) [4، 5، 6]، كذلك تستخدم الطريقة غير الإتلافية (non-destructive method) في إيجاد V_B من خلال قياس السمك الفعال (active-layer thickness) للكاشف وذلك باستخدام الماسح الضوئي التجاري

الملون (color commercial document scanner) [7]، أو التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء لتحويل فورير FTIRS (Fourier Transform Infrared spectroscopy) [8]، أو بقياس الطبقة المزلة باستخدام تقنية فلورة الأشعة السينية للتشتت الطاقى EDXRF (energy dispersive X-Ray fluorescence method) [9].

إن السمك القليل للكاشف LR115 والذي يبلغ بحدود $12 \mu\text{m}$ والتي يتطلب ظروف قشبية محددة من تركيز ودرجة حرارة للمحلول القاشط ومدة القشط، وكذلك يتطلب الدقة في عملية إجراء القشط والتنظيف والتجفيف والقياس مما يقيد ويحدد من استخدام الطرائق المختلفة في قياس V_B والتي تستخدم في قياس الكاشف CR-39. ولصعوبة قياس السمك المزال كما هو مستخدم في الكاشف CR-39، فإن الكاشف LR115 يتم قياس V_B له باستخدام طريقة الكتلة المزلة أو القياس ألتناقلي [10، 11] والتي تتطلب قياس كتلة الكاشف قبل القشط وبعده بدقة عالية تصل إلى مرتبة $(10^{-6}-10^{-7})$ أو باستخدام الطرائق المذكورة في أعلاه والتي تتطلب أجهزة غير متوفرة لدينا.

هناك طريقة أخرى لقياس معدل القشط العام (V_B) وهي طريقة قياس طول- قطر الأثر (L_e-D) المستخدمة في هذا البحث [12، 13]، وتعد هذه الطريقة صعبة مقارنة بالطرائق السابقة في عملية حساب V_B لأنها تتطلب الحصول على صور للمقاطع الطولية أو الجانبية للأثار، وقياس أطوالها وأقطارها مباشرة بشكل دقيق. بسبب السمك القليل للكاشف LR115 فإنه لا يمكن الحصول على الصور الجانبية للأثار في الكاشف وتصويرها وقياس أطوالها مباشرة كما في الكاشف CR-39 [12-16]، لذلك نستخدم قياسات أقطار الأثار المقشوفة في الكاشف LR115 والتي يمكن الحصول بسهولة من صور الأقطار لإيجاد الأطوال شبه التجريبية للأثار بشكل غير مباشر بحسب الطريقة البديلة لـ Al-Nia'emi المعطاة في المرجع [1] وبحسب طريقة المعايرة قطر-طول الأثر ($D-L_e$) [17] لإيجاد أطوال الأثار من القياسات التجريبية لأقطارها والتي قد لا تُعدّ عملية سهلة. باستخدام طريقة (L_e-D) وبالاستناد إلى المعادلات الآتية يتم حساب معدل القشط العام V_B للكاشف [18، 19].

$$V_D = 2 V_B \sqrt{\frac{(V-1)}{(V+1)}} \quad (1)$$

$$V_B = \frac{D^2}{4tL_e} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4L_e^2}{D^2}} \right] \quad (2)$$

حيث أن V_D هو معدل نمو قطر الأثر، و t زمن القشط.

من الجدير بالذكر أن نمو شكل الأثر وتطوره يمر بطورين؛ الأول هو الطور المخروطي الحاد (Acute-cone phase) حيث يكون الأثر مخروطي الشكل ذو رأس مدبب ويستمر الأثر بالنمو بهذا الشكل ويزداد طوله بشكل أسي لحين وصول المحلول القاشط إلى نهاية المسار التالف للجسيم في الكاشف، أي لحين وصول المحلول القاشط إلى نهاية مدى الجسيم في الكاشف، عندها يصل طول الأثر إلى حالة التشبع والثبات ويمتلك قيمة قصوى. ومع عبور المحلول القاشط هذه النقطة يدخل الأثر الطور الثاني للنمو وهو القشط المفرط (over-etched phase) في المنطقة السليمة تحت رأس الأثر حيث يستمر طول الأثر بالثبات عند القيمة القصوى ويبدأ رأس الأثر المدبب بالتدوير وصولاً إلى الشكل الكروي مع تقدم عملية القشط. لذلك فإن الطريقة المستخدمة في إيجاد V_B يتطلب إجراء القياسات خلال الطور الأول لتطور الأثر [16، 20].

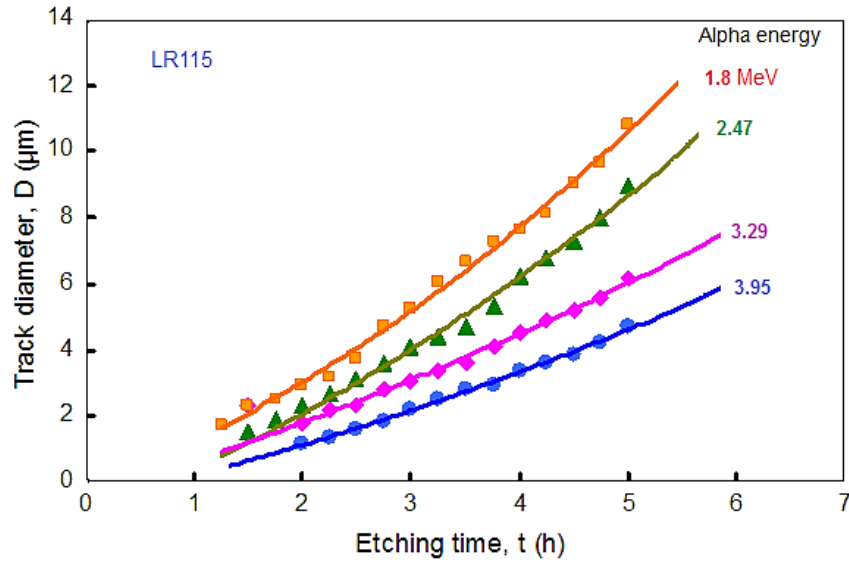
2. طريقة العمل

أستعمل كاشف الأثر النووي السليوزي LR115 type II بسمك $12 \mu\text{m}$ لقياس معدل القشط العام (V_B) له. الكاشف هو أحد أنواع كواشف نترات السليوز (Cellulose Nitrate) ومعروف تجارياً بالرمز LR115 ويوجد منه نوعين I و II، وتركيبه الكيميائي هو $\text{C}_{12}\text{H}_{17}\text{O}_{16}\text{N}_3$. استخدم مصدر $^{241}\text{Am}(1\mu\text{Ci})$ الباعث لجسيمات ألفا بمعدل طاقة رئيسية 5.485 MeV ومتوسط مداه في الهواء يقرب من 4.16 cm ، في عملية تشعيع الكاشف. شُغيت قطع من الكاشف بأبعاد $1.5 \times 2 \text{ cm}^2$ بسقوط عمودي لجسيمات ألفا بطاقات $1.8, 2.47, 3.29 \text{ \& } 3.95 \text{ MeV}$ ، لفترات زمنية $6, 8, 11, 16 \text{ min}$ على الترتيب. تم الحصول على الطاقات الأقل من الطاقة الرئيسية بتغيير المسافة بين المصدر المشع والكاشف في الهواء وتحت الضغط الجوي الاعتيادي. لغرض إظهار آثار جسيمات ألفا أُجريت عملية القشط الكيميائي للكواشف المشعة بالطاقات أعلاه باستخدام المحلول الكيميائي NaOH نقاوته 95% بتركيز 2.5N ودرجة حرارة $50 \pm 1^\circ\text{C}$. تم تصوير بقع الآثار المتكونة في الكاشف من السطح باستخدام كاميرا رقمية (Digital Camera) نوع MDCE-5A مثبتة على مجهر ضوئي وموصلة إلى حاسوب لغرض نقل صور الآثار إلى الحاسبة حيث يتم قياس أقطارها مباشرة ببرنامج خاص بالكاميرا (software) منصّب في الحاسبة.

باستخدام القياسات المباشرة لأقطار الآثار من الصور التي يتم الحصول عليها يتم إيجاد أطوال الآثار المقابلة لها بحسب الطريقة البديلة والمعادلات المعطاة في المصدر [1] والاعتماد على طريقة المعايرة (D-L_e) [17]. بالحصول على أطوال الآثار المقابلة للأقطار المقاسة تجريبياً لطاقت ألفا المستخدمة يصار إلى إيجاد معدل القشط العام للكاشف LR115 باستخدام طريقة طول- قطر الأثر والعلاقة بينهما بالاستناد إلى المعادلة (2).

3. النتائج والمناقشة

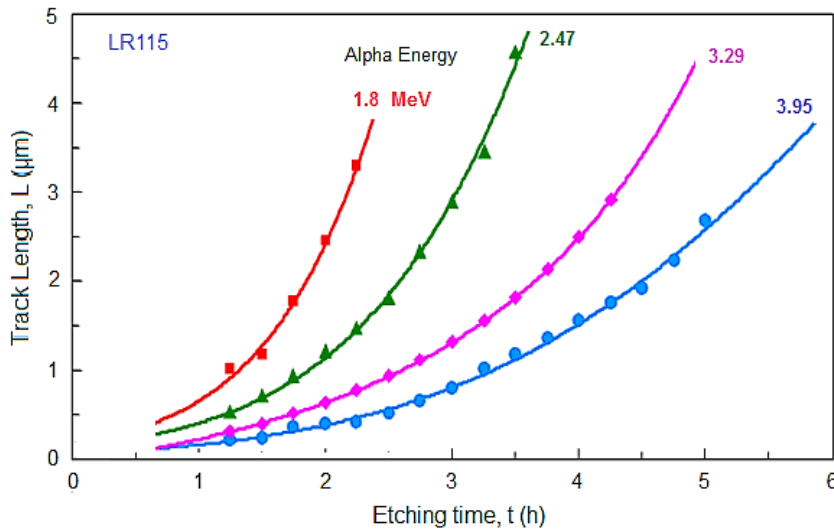
يوضح الشكل 1 العلاقة بين أقطار الآثار (D) التي قيست مباشرة في كاشف LR-115 مع زمن القشط لطاقت ألفا 3.95, 3.29, 2.47, 1.8 MeV. يظهر من الشكل أن العلاقة بين أقطار الآثار وزمن القشط هي علاقة لخطية نسبياً ولاسيما مع تقدم القشط، إن التغير اللاخطي البسيط هذا يتفق مع ما لاحظته Kassim [21] وكذلك يتفق مع ما لاحظاه كلٌّ من Mahmood, [10] و Azooz et al. [14] لآثار جسيمات ألفا، فضلاً عما لاحظته Sinenian et al. [22] في كاشف CR-39 من أن أقطار الآثار تزداد أسياً بشكل بسيط مع تقدم زمن القشط. هذا التغير اللاخطي البسيط يعطي إمكانية إيجاد ميل المنحني عند نقاط مختلفة (أزمن قشط مختلفة) للمنحني اللاخطي، وبالاعتماد على المعادلات والطريقة في [1، 17] وبرنامج Track-Test [23] يتم إيجاد أطوال الآثار المقابلة لطاقت ألفا المستخدمة. إن أقطار الآثار المتكونة في كواشف الأثر النووي للجسيمات المشحونة تعتمد على عدة متغيرات للجسيم المشحون وهي كتلته، وشحنته، وطاقته، إذ يلاحظ من الشكل 1 أن الجسيمات ذات الطاقة الأكبر تُكوّن آثاراً أصغر قطراً مما تُكوّنُه الطاقات الأقل في الكاشف LR115. فالآثار الناتجة من الجسيمات بطاقات أكبر تحتاج إلى زمن قشط أطول لإظهارها كون مدى هذه الجسيمات داخل المادة الموقّفة يكون طويلاً، وقدرة إيقاف المادة لها تكون قليلة، لذلك فإن معدل الفقدان في الطاقة على طول مسار الجسيم يكون قليلاً والتلف الذي ينتجه في الكاشف يكون قليلاً أيضاً مقارنة بالطاقات الأقل.



الشكل 1: العلاقة بين أقطار آثار جسيمات ألفا بطاقات مختلفة مع زمن القشط في كاشف LR115.

يبين **الشكل 2** العلاقة بين طول الأثر وزمن القشط للطاقات المختلفة لجسيمات ألفا في الكاشف. إن نمو شكل الأثر وتطوره يمر بطورين [24، 25]، الأول هو الطور المخروطي الحاد (Acute-cone phase) حيث يكون معدل قشط الأثر باتجاه طول الأثر أكبر من معدل القشط العام (أي $V_T > V_B$)، فإن طول الأثر يكون دالة لزمن القشط $L(t)$ تبعاً لطاقة جسيمات ألفا حيث يكون الأثر مخروطي الشكل ذو رأس مدبب، ويستمر الأثر بالنمو بهذا الشكل ويزداد طوله تدريجياً بشكل أسي مع تقدم زمن القشط كما في **الشكل 2** لحين وصول المحلول القاشط إلى نهاية المسار المتضرر في الكاشف الناتج من سقوط الجسيم، أي لحين وصول المحلول القاشط إلى نهاية مدى الجسيم في الكاشف، عندها يصل طول الأثر إلى حالة التشبع والثبات ويمتلك قيمة قصوى L_{max} . ومع بداية عبور المحلول القاشط نقطة التشبع وثبات طول الأثر عند نهاية مدى الجسيم في الكاشف، يدخل الأثر الطور الثاني للنمو وهو القشط المفرط (Over-etched phase) [25] في المنطقة السليمة تحت رأس الأثر حيث يكون طول الأثر ثابتاً ويستمر بالثبات عند القيمة القصوى L_{max} ويبقى معدل نمو الأثر مساوياً للصفر ($dL/dt=0$) ويقترب V_T من V_B بشكل كبير إذ يتساويا تقريباً، ويبدأ رأس الأثر المدبب بالتدوير وصولاً إلى الشكل الكروي مع تقدم عملية القشط. لذلك فإن الطريقة المستخدمة في إيجاد V_B يتطلب إجراء القياسات خلال الطور الأول لتطور الأثر كما ذكرنا سابقاً وهي منطقة تغير طول الأثر مع زمن القشط، ولهذا اقتصر **الشكل 2** على رسم طول الأثر كدالة لزمن القشط ضمن هذا الطور فقط.

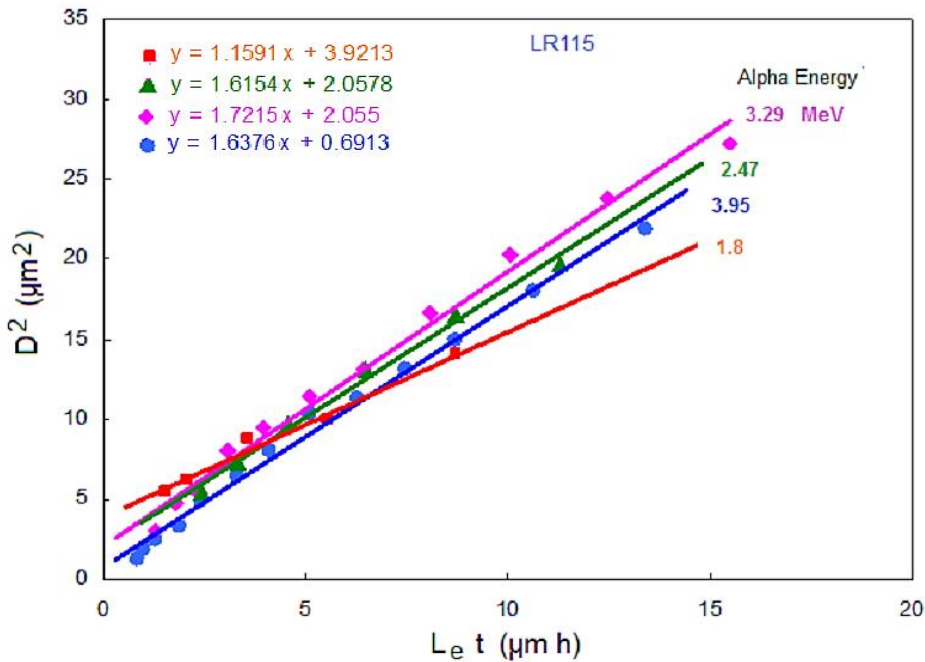
يلاحظ من الشكل 2 أيضاً أن أطوال الآثار تزداد مع نقصان طاقة جسيمات ألفا حيث يزداد معدل فقدان الجسيم لطاقته في وحدة المسار وهذا يؤدي إلى زيادة الطاقة الكامنة للمنطقة المتضررة (damaged regions) مما يُسهل عملية قشطها وإزالة كميات أكبر من الجزيئات في وحدة الزمن، وبالتالي زيادة طول الأثر وكذلك قطره مقارنةً بالطاقات الأكبر.



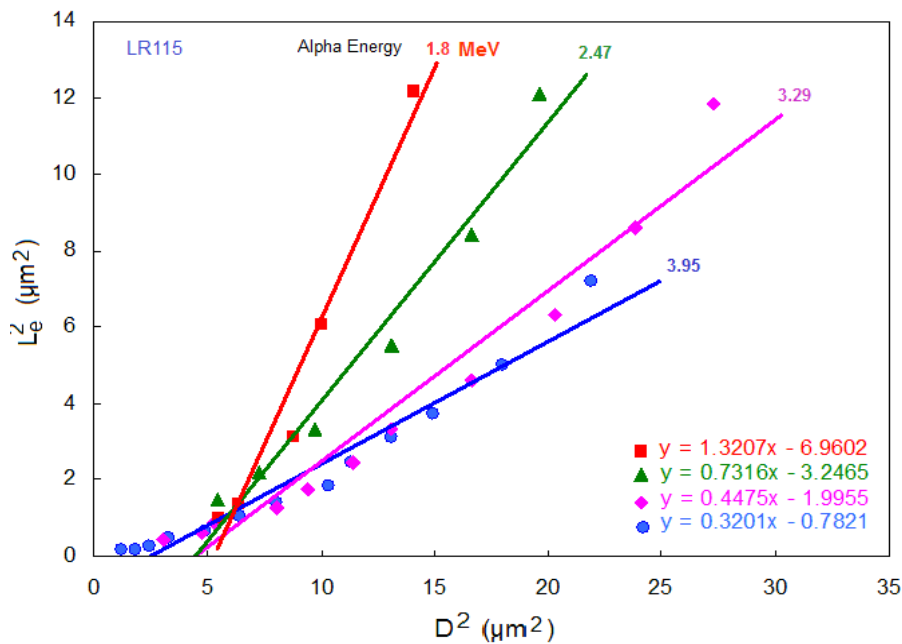
الشكل 2: العلاقة بين أطوال آثار جسيمات ألفا بطاقات مختلفة مع زمن القشط في كاشف LR115.

الشكلان 3 و 4 يبينان العلاقة بين مربع قطر آثار جسيمات ألفا في كاشف LR115 مع حاصل ضرب طول الأثر في زمن القشط اللازم لتشكيله (D^2 و $L_e t$)، وكذلك مع مربع طول الأثر (L_e^2 , D^2)، للازمان القشطية لطاقات ألفا المستخدمة وهي 1.8, 2.47, 3.29 & 3.95 MeV. يلاحظ من الشكلين أن العلاقة بين كل من (D^2 , $L_e t$) و (L_e^2 , D^2) هي علاقة خطية في الطور الأول لتطور شكل الأثر، وهو الشكل المخروطي مدبب الرأس، أن هذه العلاقة لا تستمر بالتغير بشكل خطي مع زيادة ساعات القشط لأكثر من هذا الطور لأن طول الأثر، وكما ذكرنا آنفاً، يزداد مع زيادة زمن القشط ويصل إلى حالة الثبوت والتشبع عند قيمة قصوى تبعاً لطاقة ألفا في نهاية الطور الأول حيث يصل رأس الأثر المقشوط إلى نهاية مدى الجسيم في الكاشف. وهكذا يستمر طول الأثر بالثبوت والتشبع بينما يستمر قطر الأثر بالزيادة مع تقدم عملية القشط في الطور الثاني من نمو الأثر في طور القشط المفرط خارج مدى الجسيم في الكاشف. لذلك فإن قياساتنا يجب أن تكون في الطور الأول ضمن مرحلة الشكل المخروطي الحاد للأثر إلى بداية نقطة تشبع الأثر وثبوته،

وتبعاً لذلك فإننا أجرينا القياسات إلى زمن قشط 2.5, 3.25, 4.5 & 5 h تبعاً لطاقات جسيمات ألفا المستخدمة وهي 1.8, 2.47, 3.29 & 3.95 MeV على الترتيب.



الشكل 3: العلاقة بين D^2 و $L_e t$.



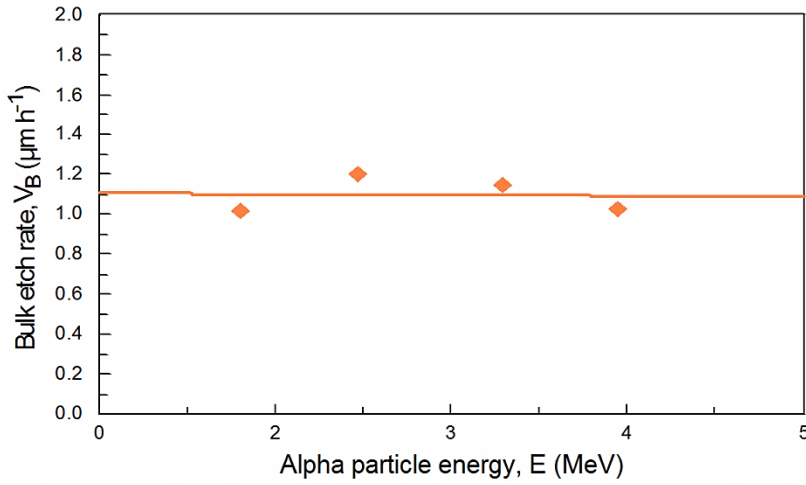
الشكل 4: العلاقة بين D^2 و L_e^2 .

إن التوقف عن القشط عند الأزمان التي اشرنا إليها في أعلاه بحسب طاقات ألفا المستخدمة يعود سببه إلى أن أطوال الآثار (L) المتكونة وكذلك المعدل الزمني لتغير طول الأثر (dL/dt) لا يستمران بالزيادة مع استمرار زيادة أقطار الآثار مع تقدم عملية القشط، إذ لا يجوز أن تصبح قيمة المدى المتبقي للجسيم في الكاشف R' (Residual range) سالبة بحسب العلاقة [11] $R'=R-X(t)$ ، حيث يمثل R مدى جسيمة ألفا في الكاشف و x عمق الأثر من سطح الكاشف عند زمن قشط t. فعندما يصل المحلول القاشط إلى رأس الأثر الذي سيكون عند نقطة التشعب في نهاية مدى الجسيم في الكاشف، يصبح قيمة المدى المتبقي صفراً ($R'=0$)، ويصبح الأثر تام القشط (Etched-out). بعبور المحلول القاشط هذه النقطة إلى عمق أكبر من مدى الجسيم داخل الكاشف وهو بداية دخول الأثر في الطور الثاني للنمو والتطور، فإن عمق الأثر يصبح أكبر من مدى الجسيم في الكاشف ويصبح قيمة المدى المتبقي سالبةً. وهكذا بعد إيجاد أطوال الآثار من أقطارها، فقد تم حساب معدل القشط العام (V_B) استناداً إلى المعادلة (2)، والجدول 1 يبين قيم V_B للكاشف LR115 باستخدام طاقات مختلفة لجسيمات ألفا في تشيع الكاشف.

الجدول 1: معدل القشط العام لكاشف LR115 بطريقة L_e-D.

E (MeV)	3.95	3.29	2.47	1.8
V_B ($\mu\text{m h}^{-1}$)	1.0276	1.1492	1.2040	1.0161
average V_B	1.1 $\mu\text{m h}^{-1}$			

من المعروف إن معدل القشط العام يعتمد بشكل أساسي على نوع الكاشف ومنشأه وكذلك الظروف القشطية، مثل نوع المحلول القاشط وتركيزه ودرجة حرارته [16، 20، 26]. يلاحظ من الجدول أن قيم V_B متقاربة للطاقات المختلفة لجسيمات ألفا، وأنها لا تعتمد بشكل قوي (extremely) على طاقة الجسيم بثبوت الظروف القشطية، وهذا ما يمكن ملاحظته في الشكل 5. ويلاحظ أن قيمة V_B لكاشف LR115 $1.379\mu\text{m.h}^{-1}$ و $1.34\mu\text{m.h}^{-1}$ بحسب ما توصل إليه كل من [10] Mahmood و [27] Hussain على التوالي تحت الظروف القشطية نفسها باستخدام طريقة مختلفة وهي طريقة القياس التناقلي المعتمد على قياس فرق الكتلة للكاشف بعد عملية القشط، فضلاً عن اختلاف منشأ الكاشف.



الشكل 5: معدل القشط العام للكاشف LR115 مع طاقات جسيمات ألفا .

4. الاستنتاجات

من النتائج التي حصلنا عليها لمعدل القشط العام (V_B) للكاشف LR-115 type II يتضح أن قيمة V_B لا تعتمد على طاقة جسيمات ألفا المشع بها الكاشف، حيث وُجد أن معدل قيمته يساوي $1.1 \mu\text{m h}^{-1}$ للطاقات المختلفة لجسيمات ألفا. وبسبب السمك القليل للكاشف وهو $12 \mu\text{m}$ فإنه يحتاج إلى عناية كبيرة في عملية القشط واستخدام المحلول القاشط بتركيز قليل ودرجة حرارة ليست عالية وقشطه الى مدة محدودة قبل انتهاء الطبقة الرقيقة فضلاً عن الدقة في عملية التنظيف لتجنب تلف الطبقة الرقيقة الحساسة للجسيمات، وهذا يؤدي إلى عدم الدقة في القياسات في طرائق القياس المختلفة لهذا الكاشف. لقد تم اختبار الكاشف وذلك بقشطه لفترة أطول إذ وجد انه يتحمل قشط إلى حد 8 ساعات كحد أقصى وتبقى طبقة رقيقة جداً من الكاشف بعد هذه الفترة الزمنية، وهذا يؤكد معدل قيمة V_B التي تم إيجادها حيث أن سمك الطبقة المزالة ($h = V_B t$) خلال هذه المدة تساوي تقريباً $9 \mu\text{m}$ ، وبذلك يكون سمك الطبقة المتبقية بحدود $3 \mu\text{m}$ والذي لا يمكن التعامل معها وقشطها أكثر.

إن طريقة L_e-D التي تم استخدامها في إيجاد V_B بالاعتماد على القياسات المباشرة لأقطار الأثار وبالاعتماد على الطريقة البديلة وطريقة المعايرة D-L_e لإيجاد أطوال الأثار من القياسات التجريبية المباشرة لأقطارها [1، 17] يمكن استخدامها على الرغم من إن الطريقة المستخدمة ليست سهلة. فالطريقة تتطلب تشيع الكاشف بالجسيمات وقياس أطوال

الأثار تجريبياً والتي تُعدّ أمراً صعباً لعدم التمكن من الحصول على المقاطع الطولية للأثار وتصويرها بسبب السمك القليل للكاشف، وهي على العكس من الطرائق الأخرى التي يتم قشط الكاشف بدون تشعيها بالجسيمات.

المصادر

- [1] S. H. S Al-Nia'emi, "A new treatment to compute the track parameters in PADC detector using track opening measurement", Accepted for publication in Journal of Physical Science. To be published, 29(2), (2018).
- [2] S. Cavallaro, D. Margarone and L. Torrisi, "Charge and energy discrimination of ions in CR39 track detectors by diameter-depth correlations". 35th EPS Conference on Plasma Phys. Hersonissos, 32D, 4 (2008).
- [3] D. Nikezic and K. N. Yu, "Formation and growth of tracks in nuclear track materials", Materials Science and Engineers R. 46, 51 (2004).
- [4] D. Nikezic and A. Janicijevic, "Bulk etching rate of LR115 detectors", Appl. Radiat. Isot., 57, 275 (2002).
- [5] J. P. Y. Ho, C. W. Y. Yip, V. S. Y. Koo, D. Nikezic and K.N. Yu., "Measurement of bulk etch rate of LR115 detector with atomic force microscopy", Radiat. Meas. 35, 571 (2002).
- [6] K. N. Yu, C. W. Y. Yip, J. P. Y. Ho and D. Nikezic, D., "Application of surface profilometry in studying the bulk etch of solid state nuclear track detectors", FORMATEX, 250 (2004).
- [7] K. N Yu and F. M. F Ng "Fast and non-destructive determination of active-layer thickness of LR 115 SSNTD using a color commercial document scanner", Nucl. Instrum. and Meth. in Physics Research B, 226, 365 (2004).

- [8] F. M. F. Ng, C. W. Y. Yip, J. P. Y. Ho, D. Nikezic and K.N. Yu, “*Non-destructive measurement of active-layer thickness of LR 115 SSNTD, Radiat*”., Meas. 38, 1 (2004).
- [9] C. Papachristodoulou, D. Patiris and K.G. Ioannides, “*Determination of bulk etch rate for CR-39 nuclear track detectors using an X-ray fluorescence method*”. Nucl. Instrum. and Meth. in Physics Research B, 264, 177 (2007).
- [10] I. H. T. Mahmood, “*Alternative method for extracting parameters and profiles of tracks in CR-39 and LR-115 detectors*”, M. Sc. Thesis, Physics Dept., College of Education, University of Mosul, Iraq (2011).
- [11] Durrani, S. A. and Bull, R. K., “*Solid state nuclear track detection: principles, methods and applications*”, Pergamon press, Oxford (1987).
- [12] K. N. Yu, F. M. F. Ng and D. Nikezic, “*Measuring depths of sub-micron in a CR-39 detector from replicas using atomic force microscopy*”, Radiat. Meas., 40, 380 (2005).
- [13] S. Kar, M. Borghesi, L. Romagnani, S. Takahashi, A. Zayats, V. Malka, S. Fritzler and A. Schiavi, “*Analysis of latent tracks for MeV protons in CR-39*”, Journal of Applied Physics, 101, 044510 (1-5) (2007).
- [14] A.A. Azooz, S.H.S. AL-Nia'emi and M.A Al-Jubbori, “*Empirical parameterization of CR-39 longitudinal track depth*”. Rad. Meas. 47, 67 (2012).
- [15] Y. Y. Kasim, “*Modification of modeling the profiles of alpha particles tracks in the nuclear detector CR-39 according to the chemical etchant concentration*”. PhD Thesis, physics Department, College of Education of Pure Science, University of Mosul, Iraq (2013).

- [16] S. H. S. Al-Nia'emi, *"Effects of chemical solution temperature on the bulk etch rate of the detector CR-39"*, Jordan Journal of Physics, 8(1), 49 (2015).
- [17] O.K. Younus, *"Tracks profiles and parameters of alpha particles in CR-39 track detector using Diameter-Length (L_e -D) calibration"*, M.Sc. Thesis, Physics Department, College of Education for Pure Science, University of Tikrit, Iraq (2016).
- [18] S. Manzoor, S. Balestra, M. Cozzi, M. Errico, G. Giacomelli, M. Giorgini, A. Kumar, A. Margiotta, E. Medinaceli, L. Patrizzii, V. Popa, I.E. Qureshi and V. Togo, *"Nuclear Track Detectors for Environmental Studies and Radiation Monitoring Nuclear Physics B"*, 172, 92 (2007).
- [19] S. Balestra, M. Cozzi, G. Giacomelli, R. Giacomelli, M. Giorgini, A. Kumar, G. Mandrioli, S. Manzoor, A.R. Margiotta, E. Medinaceli, L. Partizii, V. Popa, I.E. Qureshi, M.A. Rana, G. Sirri, M. Spurio, V. Togo, and C. Valieri, *"Bulk etch rate measurements and calibrations of plastic nuclear track detectors"*. Nucl. Instr. and Meth. in Physics Research, B 254, 254 (2007).
- [20] S. H. S Al-Nia'emi and Y. Y Kasim, *"Determination of the bulk etch rate of the nuclear track detector CR-39 using L_e -D method"*. Jordan Journal of Physics, 6(1), 17 (2013).
- [21] Y. Y Kasim, *"Depth dependence for the track etch rate of CR-39 irradiated by gamma rays for different energies of alpha particles"*, M. Sc. Thesis, Physics Dept., College of Education, University of Mosul, Iraq (2005).
- [22] N. Sinenian, M.J. Rosenberg, M.J.E. Manuel, S.C. McDuffee, D.T. Casey, A.B. Zylstra, H.G. Rinderknecht, M. Gatu Johnson, F.H. Seguin, J.A. Frenje, C.K. Li and R.D. Petrasso, *"The response of CR-39 nuclear track detector to 1-9 MeV protons"*, Plasma



Science and Fusion Center, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge MA
02139 USA, PSFC/JA-11 (2012).

- [23] D. Nikezic and K.N. Yu, *“Computer program Track-Test for calculating parameters and plotting profiles for etch pits in nuclear track materials”*, Computer Physics Communications, 174, 160 (2006).
- [24] D. Nikezic and K.N. Yu., *“Calculations of track parameters and plots of track openings and wall profiles in CR39 detector”*. Radiat. Meas. 37, 595 (2003).
- [25] D. Nikezic, and K.N. Yu., *“Three-dimensional analytical determination of the track parameters”*, Over-etched tracks. Radiat. Meas. 37, 39 (2003).
- [26] Y. Y. Kasim, *“Bulk Etch Rate of CR-39 detector using NaOH/Ethanol Etchant”*, Jordan Journal of Physics, 10(2), 97 (2017).
- [27] A. K. Hussain, *“Variation of bulk etch rate and some other etching parameters with etching temperature for cellulose nitrate LR-115 detector”*, J. Edu. & Sci. 22(3), 26 (2009).