----- مجلة علوم الرافدين، المجلد 16، العدد 1 خاص بالفيزياء، ص21 -38، 2005 -----

الاستجابة الطاقية لكاشف الأثر النووي PM-355 لجسيمات ألفا ومقارنتها مع الكاشف CR-39

سعيد حسن سعيد   احمد عبد إبراهيم العبيدي

قسم الفيزياء - كلية التربية

جامعة الموصل

(تاريخ الاستلام 2001/11/12 ، تاريخ القبول 2002/11/20)

الملخص

يتضمن البحث دراسة الاستجابة الطاقية لكاشف الأثر النووي PM-355 لجسيمات ألفا لمدى طاقة (0.2-5.5)MeV باستخدام المصدر المشع ^{241}Am(1μci) لتشعيع قطع الكواشف المستخدمة. لقد وجـد أن طاقة العتبة Threshold energy، وهي أقل طاقة يمكن إظهار آثار مقشطة لها في الكاشف، هي بحـدود 0.3MeV لكاشف PM-355 في حين ظهر أن الكاشف CR-39 يستجيب لجسيمات ألفا بطاقات يقرب من 0.2 MeV عند استخدام القشط الكيميائي العادي (ضمن الإمكانيات المتوفرة). كما أشارت النتائج إلى أن الكفاءة والحساسية القشطية للكاشفCR-39 هي أفضل مما للكاشف PM-355، إذ وجد أن أقصى حساسية وكفاءة قشطية للكاشفين، وتحت الظروف المستخدمة، يحصلان عندما تقرب طاقة جسيمات ألفا القاصـفة من 1.5MeV والتي عندها يحدث أعظم امتصاص للطاقة القاصفة من قبل مادة الكاشف.

The Energy Response of the Nuclear Track Detector PM-355 For α-Particles as Compared With CR-39

Sa'eed H. Sa'eed   **Ahmed A. I. AL-O'bedy**

Department of Physics
College of Education
Mosul University

ABSTRACT

In this paper, the energy response of the solid state nuclear track detector PM-355 for α-particles within the energy range of ≤ 5.5MeV have been studied using an ^{241}Am(1μci) source in irradiating the detectors pieces. It has been found that the threshold energy, which defined as the minimum energy that could be detected, is about 0.3 MeV for PM-355. While the track detector CR-39 responses to the α-energy approximately up to 0.2 MeV, when a conventional chemical etching is used. The results also indicates that the etching efficiency and sensitivity of the CR-39 is better than that of PM-355. They

showed a maximum values when the incident energy of the α-particle is about 1.5MeV, where a maximum energy loss in the detector is taking place.

المقدمة

تفقد الجسيمات المشحونة طاقتها عند مرورها في وسط ما بصورة رئيسة عن طريق سلسلة من التفاعلات الكولومية مع الالكترونات الذرية أو نوى الذرات في المادة المعترضة، وان الطاقة التي تفقدها الجسيمات المشحونة في التصادم الواحد تكون قليلة وعدد التصادمات التي تخوضها تكون كبيرة بحيث يبدو الجسيم وكأنه يخسر كل طاقته بشكل مستمر ويتعرض لعملية إبطاء تدريجية وليس على شكل دفعات منفصلة عن بعضها البعض. لذلك يستخدم المعدل الوسطي للطاقة المفقودة من قبل الجسيم المشحون في وحدة المسافة من مساره للتعبير عما يخسره من طاقة في الوسط. ويعرف هذا المعدل الوسطي للطاقة المفقودة باسم قدرة الإيقاف للمادة (Stopping Power) (الأحمد، 1993). إن قدرة الإيقاف تعتمد على نوع الجسيم وطاقته ونوع المادة الموقفة أو المعترضة.

لقد وضع العالم بيث Bethe نظرية خاصة بحساب قدرة الإيقاف للجسيمات المشحونة إذ قام بحساب قدرة الإيقاف الكتلية $\frac{1}{\rho}\frac{dT}{dx}$ بدلا من $\frac{dT}{dx}$ وذلك لإلغاء تأثير الكثافة ρ (الأحمد، 1993؛ خليل، 1996). وتشتمل قدرة الإيقاف الكتلية على مركبتين، الأولى قدرة الإيقاف التصادمية وتمثل الطاقة التي يفقدها الجسيم المشحون نتيجة للتصادمات الرخوة والقاسية والمركبة الثانية هي قدرة الإيقاف الإشعاعية والتي تعبر عن الطاقة المفقودة خلال التفاعلات التي تحصل بين الجسيم والمادة وتؤدي إلى خسارة في طاقته على شكل أشعة كبح (Bermsstrahlung Rays) والتي تنتقل بعيدا عن مسار الجسيم بوساطة الفوتونات، في حين أن الطاقة المفقودة عن طريق التصادمات تقوم بإثارة وتأيين الذرات في المنطقة المجاورة للمسار.

لقد اقترح Fleeiescher عام 1964 (Fleischer et al., 1975) بأن الآثار تكون ناتجة عن معدل الفقدان الكلي لطاقة الجسيمة المكونة للأثر لوحدة المسار $\frac{dE}{\rho dx}$ ، وطبقا لهذا فانه يوجد معدل حرج (Threshold) للطاقة المفقودة $\left(\frac{dE}{\rho dx}\right)_{Th}$ لكل مادة كاشفة للمسار وأن كل الجسيمات التي لها معدل طاقة مفقودة أقل من $\left(\frac{dE}{\rho dx}\right)_{Th}$ فإنها لا تتمكن من إنتاج مسارات مقشوطة. أما بالنسبة للجسيمات ذات معدل فقدان طاقة أكبر من المعدل الحرج فإنها تسجل مسارات بكفاءة عالية (Fleischer et al., 1975).

وبصورة عامة تستطيع جسيمات ألفا تكوين آثار مقشوطة مباشرة في بعض الكواشف البلاستيكية المناسبة. إن مدى طاقات ألفا والتي يمكن أن تحدث عندها الآثار في الكاشف يكون محدودا لأن الكواشف

البلاستيكية تظهر حد عتبة للطاقة المفقودة $\left(\frac{dE}{pdx}\right)_{Th}$ بحيث أن معدل الطاقة المفقودة من قبل الجسيمات إذا كانت أكبر من هذه القيمة يمكن لها أن تكون آثارا في المادة(Durrani and Bull, 1987). وعليه فان هناك قيمتان لطاقة جسيمات ألفا وهي E_{min} , E_{max} والتي من خلالهما يمكن تحديد احتمالية تكون الآثار. ويمكن الحصول على هاتين القيمتين وذلك من تقاطع خط عتبة الطاقة للكاشف $\left(\frac{dE}{dx}\right)_{Th}$ مـع منحنـي معـدل فقـدان الطاقـة $\frac{dE}{dx}$ بالنـسبة لطاقـة الجـسيم القاصـف E كمـا مبـين فـي الـشكل (1) (Durrani and Bull,1987).

إن E_{max} و E_{min} يكونان آثارا نوعا ما تكون متشابهة الهوية إذ تعرف E_{min} بأنها تلك الطاقة التي عندها تكون مدى جسيمات ألفا قصير جدا بحيث لا يمكن إنتاج آثار يمكن مشاهدتها بـسهولة. أمـا E_{max} فهي تمثل الطاقة التي عندها تكون معدل سرعة القشط على طول الأثر V_T قليلة جدا بحيـث أن طـول الآثار (أو أقطارها) لا تكون بقـدر كافٍ من الطول أو (الكبر) مما لا يمكن تمييزها إلى زمـن قـشط معين. ففي بعض الأحيـان فان E_{max} قد تشكل قيدا على تحسس الكاشف للجسيمات التي طاقتها أعلى من القيمة العليا E_{max} ، لذا يمكن استخدام بعض المواد الموهنة لطاقات الجسيمات القاصفة والتي توضع أمـام المادة الكاشفة لغرض الحصول على طاقات تقع ضمن مدى أقل من E_{max} لغرض تكـوين آثـار يمكـن مشاهدتها. ويمكن ملاحظة بعض القيم الثابتة لـ E_{max} و E_{min} لعدد من الكواشف البلاسـتيكية الحـساسة لجسيمات ألفا من الجدول (1) (Durrani andBull,1987).

جدول 1: قيم E_{max} و E_{min} لعدد من الكواشف البلاستيكة الحساسة لجسيمات ألفا.

نوع الكاشف	EMIN (MEV)	EMAX (MEV)
اللكسان ، ماكروفول E متعدد الكاربون	~ 0.2	~ 3
نترات السليلوز CA80-15,CN85, LR115	~ 0.1	4 – 6
CR-39	~0.1	> 20

شكل1: المعدل الحرج للطاقة المفقودة والقيم العظمى والصغرى لطاقات الجسيم القاصف.

لقد أجريت العديد من البحوث لدراسة الاستجابة الطاقية والزاوية للعديد من الكواشف البلاستيكية للجسيمات النووية المختلفة وتأثير عدد من العوامل عليها. فقد قام (Randhaw et al., 1979) بدراسة تأثير استجابة عدد من الكواشف للجسيمات النووية المختلفة. وقام (Benton et al.,1980) بدراسة استجابة الكاشف CR-39 لجسيمات ألفا والبروتونات ولطاقات مختلفة. كما قام (Chatry et al.,1990) بدراسة الاستجابة الطاقية والزاوية لكاشفCR-39 للبروتونات المرتدة عن النترونات الحرارية والمتوسطة والسريعة. واستطاع (Hussain and Sabah , 1994) عمل مقارنة بين استجابة الكاشف SR-86(20) وكاشفي CR-39 وPM-355 للجسيمات المشحونة. ودرس (Selman and selman,1998) استجابة الكاشف PM-355 لنترونات السريعة والحرارية عن طريق البروتونات المرتدة ولمدى طاقات مختلفة للنترونات. ودرس (Sadawsky et al., 1990) استجابة كاشفي CR-39 وPM-355 للبروتونات السريعة في مدى طاقة MeV(4.2 – 0.2).

ولدراسة تأثير عدد من العوامل البيئية على استجابة الكواشف، فقد درس كل من (Amin and Henshaw, 1986) و(Kobayashi and Kobayashi, 1988) تأثير محاليل كيميائية قاشطة مختلفة على حساسية الكاشف CR-39. أما (Hashemi Nezhed, 1982) فقد درس تأثير المحلول القاشط على معدل القشط العام والاستجابة الطاقية لكاشف نترات السليلوزCA80-15 ولمدى طاقات ألفا المختلفة. ودرس (Homer and Miles, 1986) تأثير الحرارة والرطوبة على استجابة الكاشف CR-39 قبل التعريض لجسيمات ألفا وأثناءه وبعده. كما درس (Kumar et al., 1986) تأثير درجة حرارة التسخين ولازمان مختلفة على استجابة كاشف الأثر CR-39(DOP) أثناء التشعيع بجسيمات ألفا.

أما (عمر، 2002) فقد قام بدراسة الاستجابـة الطاقيـة لكاشف الأثـر CR-39 بطاقـة MeV (4–0.1) باستخدام القشط الكهروكيميائي ومدى إمكانية تقليل حد طاقة العتبة إلى0.1MeV.

يهدف البحث الحالـي إلى دراسة الاستجابة الطاقية لكاشف الأثـر النووي البلاسـتيكي PM-355 ومقارنتها مع الاستجابة الطاقية لكاشف الأثر CR-39، وكذلك إيجاد حد عتبة الطاقة والتي تمثل اقل طاقة يمكن الكشف عنها باستخدام هذا الكاشف.

طريقة العمل

تم تقطيع كل من الكاشفين PM-355 و CR-39 إلى قطع صغيرة بأبعاد $(1 \times 1)\ cm^2$ وتـشعيعها بجسيمات ألفا من المصدر المشع $^{241}Am(1\mu ci)$ بسقوط عمودي على سطح الكاشف وبطاقـات مختلفـة MeV (0.2, 0.3, 0.5, 1, 1.5, 2.5, 3.5, 4.5, 5.5). لقد أجريت عملية القشط الكيميائي لإظهـار الآثـار وذلك باستخدام محلول NaOH تركيزه 25% ودرجة حرارته $(70 \pm 1)°C$ ، ثم درسـت كثافـة الآثـار وأقطارها والمتغيرات القشطية والكشفية للكاشفين وتحديد طاقة العتبة لكلا الكاشفين .

ولحساب سرعة القشط العام V_B ، فقد وزنت قطع من الكاشف بأبعاد $(1x1)cm^2$ ثم قشطت تحـت الظروف نفسها ولمدة 75 min ثم غسلت القطع وجففت في الهواء الطلق لمدة (96– 90) يوما فـي درجة حرارة المختبر للتخلص من الماء الممتص من قبل الكاشف من جراء القشط . لقد أعيد وزن تلـك القطع لحساب كتلة المادة المزالـة Δm من وجهي الكاشف ومن ثم حساب سرعة القشط العام باسـتخدام العلاقة (Green et al.,1982):

$$V_B = \frac{1}{2\rho A}\frac{\Delta m}{\Delta t} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

إذ أن A مساحة وجه الكاشف و ρ كثافة مادة الكاشف وتساوي $1.32gm/cm^3$ والعامل 2 بسبب القـشط لوجهي الكاشف وان $\frac{\Delta m}{\Delta t}$ هي مقدار تغير الكتلة لوحدة زمن القشط.

أما متغيرات القشطيـة والكشفية للكاشف فقد استخدمت العلاقات التالية لحـسابـها والتـي تـربط معدلات القشط مع معدل نمو الأقطار والزاوية الحرجة فضلا عن الكفاءة والحساسية القـشطية للكاشـف (Durrani and Bull, 1987). فمعدل القشط العام V_T والتي تعرف بأنها كمية المادة المزالة على طـول (عمق الأثر) المتكون في الكاشف تحسب من العلاقة:

$$V_T = V_B\,\frac{4V_B^2 + V_D^2}{4V_B^2 - V_D^2} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

إذ أن V_D يمثل المعدل الزمني لتغير قطر الأثر

$$V_D = \frac{D}{t} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

فيما نسبة القشط V وهي النسبة بين معدل القشط على طول الأثر V_T إلى معدل القشط العـام V_B تساوي:

$$V = \frac{V_T}{V_B} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

والزاوية الحرجة تعرف بأنها ا لزاوية التي إذا ما سقط بها الجسيم على الكاشف بأقل منها لا يمكن إظهار آثار مقشوطة لها وتعطى بالعلاقـة:

$$\theta_C = \mathrm{Sin}^{-1} \frac{1}{V} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

وتعطى الكفاءة والحساسية القشطية η للكاشف بالعلاقة:

$$\eta = 1 - \mathrm{Sin}\theta_C \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

$$S = V - 1 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

وللحصول على طاقـات مختلفـة لجـسيمات ألفـا القاصـفة فقـد اسـتخدمت العلاقـة الآتيـة: (Mahesh and Mustafa, 1976)

$$E_\alpha^{(X)} = E_\alpha^{(0)} \left[1 - \frac{X}{R}\right]^{2/3} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

إذ أن $E_\alpha^{(X)}$ طاقة جسيمة ألفا الواصلة إلى سطح الكاشـف بوحـدات MeV و $E_\alpha^{(0)}$ طاقة جسيمة ألفا والمنبعثة من المصدر على بعد صفر وX(cm) يمثل بعد المصدر المشع عن سـطح الكاشـف وR يمثل مدى جسيمات ألفا في الهواء ويعطي بالعلاقة (Mahesh and Mustafa, 1976؛ الخفاجي، 1980):

$$R = (0.005 E_\alpha + 0.285)\, E_\alpha^{3/2} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

النتائج والمناقشة

إن أقطار الآثار المتكونة في كواشف الأثر النووي للجسيمات المشحونة تعتمد على عدة متغيـرات منها متغيرات الجسيم القاصف (كتلته وشحنته وطاقته) إذ يستفاد من الاختلاف في أقطار الآثار الناتجة في تمييز الجسيمات القاصفة لذا فان الكواشف الصلبة يمكن استخدامها كمطيـاف لتمييـز نـوع الجـسيمات وطاقتها. إن الاستجابة الطاقية للكواشف تختلف باختلاف مادة الكاشف وزاوية السقوط وان كل كاشف له قيمتين لطاقة العتبة عليا ودنيا، إذ أن الكاشف يستطيع أن يكشف عن الجسيمات التي طاقتها تقـع بـين هاتين القيمتين. إن سقوط جسيمات مشحونة ذات طاقات مختلفة تؤدي إلى تكوين آثار ذات أقطار مختلفة، إذ يلحظ وبشكل عام أن الطاقات العليا تؤدي إلى تكوين آثار ذات أقطار صغيرة علـى عكـس الطاقـات الواطئة التي تؤدي إلى تكوين أقطار كبيرة وهذا يعود إلى مقدار الطاقة المفقودة في مادة البوليمر، كما أن كل كاشف وعند طاقة معينة للجسيمات القاصفة، يحصل فيه أعلى قيمة للطاقة المفقودة $\left(\frac{dE}{\rho dx}\right)_{Th}$ والتـي دونها تبدأ أقطار الآثار بالنقصان كلما قلت طاقة الجسيمات القاصفة. لقد استخدم كاشف الأثـر PM-355

في هذا البحث كمطياف لتمييز الطاقات المختلفة لجسيمات ألفا القاصفة على الكاشف والمنبعثة من مصدر الامريشيوم ^{241}Am بمعدل طاقة عليا 5.485MeV ، إذ يتم الحصول على طاقات أقل من المعدل وذلـك باستخدام طريقة تغيير المسافة بين المصدر المشع وسطح الكاشف كما موضح في البند (2).

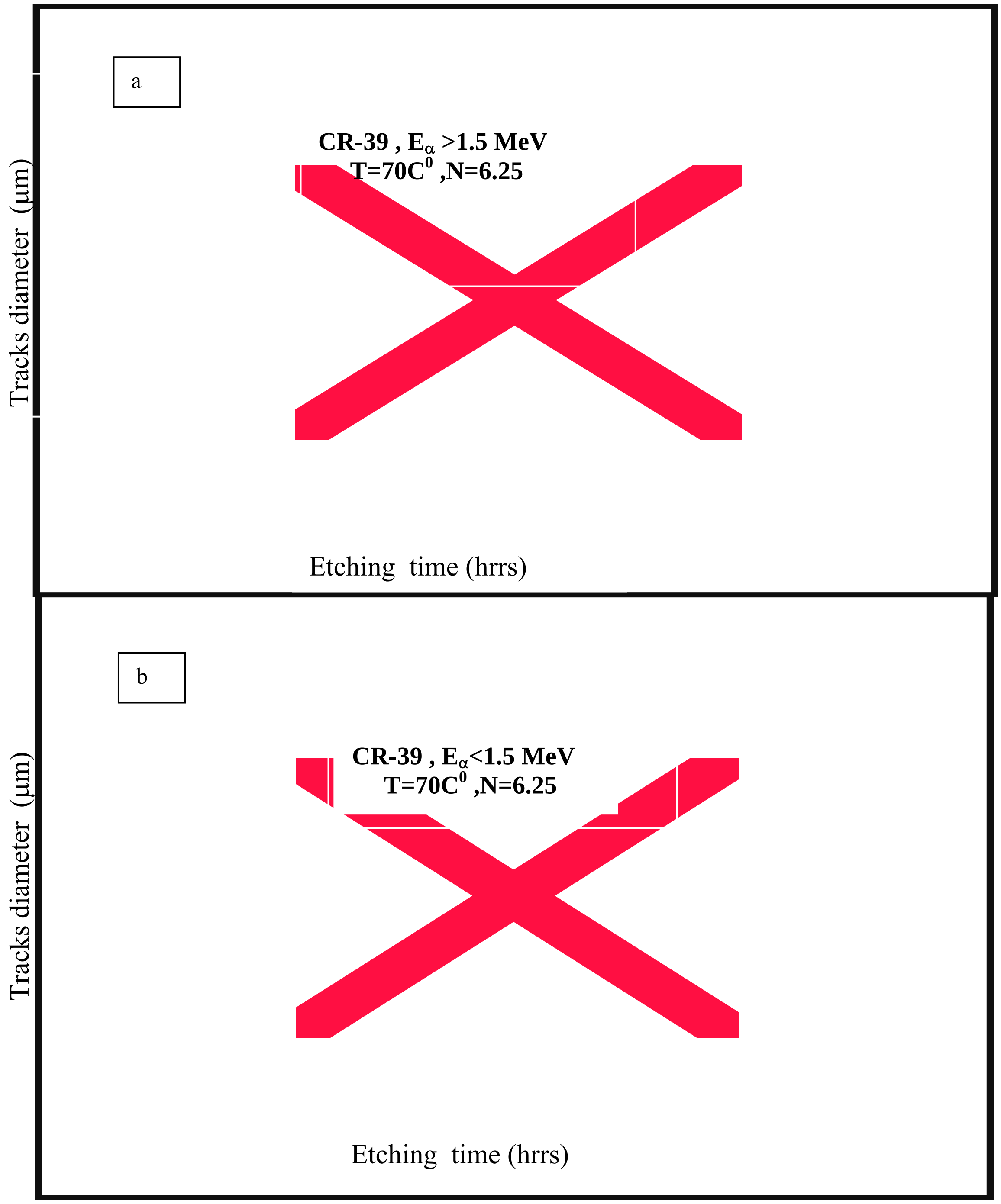
الـشكلين (2 و3) يمـثلان تغيـر أقطـار الآثـار مـع زمـن القـشط لطاقـات مختلفـة (0.2, 0.3, 0.5, 1, 1.5, 2.5, 3.5, 4.5, 5.5)MeV لجـسيمات ألفـا لكاشـفي الأثـر النـووي PM-355 وCR-39، إذ يلحظ من الشكلين (2a و3a) أن أقطار الآثار تتغير عكسيا مع طاقات جسيمات ألفا للمدى $1.5 \le E \le 5.5$)MeV)، في حين تتغير أقطار الآثار طرديا مع طاقـة الجـسيمات القاصـفة للمدى $E < 1.5$ MeV في كاشف الأثر PM-355 كما مبين في الشكلين (2b و3b).

إن النقصان الحاصل في أقطار آثار جسيمات ألفا بزيادة طاقتها فـوق 1.5MeV تعـود إلـى ان الجسيمات ذات الطاقة الواطئة النافذة إلى داخل مادة الكاشف تفقد طاقتها بسرعة داخل الكاشف وتولد آثارا قريبة من سطح الكاشف وذلك لأن قدرة الإيقاف لها تكون عالية وهذا يؤدي إلى أن مدى الجسيمات داخل البوليمر يكون قليلا ويمكن إظهار تلك الآثار بزمن قشط قليل ، أما الجسيمات ذات الطاقة العالية والتـي تكون قدرة إيقافها قليلة ومداها داخل مادة البوليمر يكون كبيرا فان هذه الجسيمات تفقد طاقاتها على مسافة أعمق داخل الكاشف بالمقارنة مع الطاقة الواطئة. لذلك فان عملية إظهار الآثار تحتاج إلى زمن قشط أكبر من سابقتها كما يتضح من الشكلين (2 و3) إذ يظهر بوضوح اختلاف الزمن التمهيدي لبداية ظهور الآثار مع تغير الطاقة من خلال تقاطع الخطوط المرسومة مع محور زمن القشط.

إن أعلى قيمة لأقطار الآثار المتكونة في كاشف PM-355 تحدث عندما تكـون طاقـة الجـسيمات القاصفة مساوية تقريبا إلى 1.5MeV .وهذه النقطة تظهر جليا من الشكل (4) والذي يمثل تغيـر أقطـار الآثار مع طاقة الجسيمات القاصفة لزمن قشط محدد . إن هذه النقطة تمثل أقصى قيمة للطاقـة المفقـودة $(dE/dX)_{max}$ في مادة الكاشف من قبل الجسيمـات القاصفـة كما أن هذه النقطة تمثل الحد ألفاصل بين التناسب العكسي والطردي لأقطار الآثار الناتجة مع طاقة جسيمات ألفا القاصفة. وبملاحظة الشكل السابق مرة ثانية نجد أن أقل طاقة يمكن لها أن تظهر آثارا في مادة الكاشفPM-355 والتي تم الحصول عليهـا في هذه الدراسة هي ما يقرب من 0.3MeV (وضمن الإمكانيات المتوفرة)، إذ أن الطاقات التي هي أقـل من هذه القيمة لم تظهر آثارا مقشوطة في مادة الكاشف وهذه القيمة للطاقة تسمى بالطاقـة الـدنيا E_{min}. وكما ذكرنا في البند (1). إن تكون الآثار ناتج عن معدل الفقدان الكلي لطاقة الجـسيم القاصـف لوحـدة المساحة $(dE/dX)_{th}$ وعلى هذا الأساس فانه يوجد معدل حرج للطاقـة المفقـودة (dE/dX_{th}) تختلـف باختلاف الكاشف المستخدم وان الجسيمات التي لها معدل طاقة اقل من هذه القيمة لا تتمكن من إنتاج آثار مقشوطة في حين أن الجسيمات التي تمتلك معدل فقدان طاقة يساوي المعدل الحرج أو أكبر منه للكاشف المستخدم فإنها تنتج آثارا مقشوطة بكفاءة تصل إلى 100 % (Durrani and Bull, 1987)، وعليـه فـان طاقة الجسيم القاصف والتي عندها تكون قيمة الطاقة المفقودة مساوية للقيمة الحرجة تسمى بالقيمة الـدنيا

$E_{min} = (dE/dx)_{th}$ وهي لجسيم ألفا التي حصلنا عليها تساوي 0.3MeV وهي تمثـل الطاقـة الحرجـة بالنسبة للكاشف PM-355.

شكل 2: تغير أقطار آثار جسيمات ألفا مع زمن القشط لطاقات مختلفة في كاشف355 -PM.



شكل 3: تغير أقطار آثار جسيمات ألفا مع زمن القشط لطاقات مختلفة في كاشف PM- 355.

وبالمقابل فان هناك قيمة عليا لطاقة الجسيم القاصف والتي عندها تكون معـدل الطاقـة المفقـودة مساوية إلى المعدل الحرج وتسمى بـ E_{max} بحيث أن الجسيمات التي تحمل طاقة أكثر من هذه القيمـة لا تظهر هي الأخرى آثارا مقشوطة ، كما موضح في الشكل (1). إن عدم الحصول على آثـار مقـشوطة للجسيمات ذات طاقات ضمن المدى ($E_{min} > E\alpha > E_{max}$) تعزى إلى ما ذكر في البند (1).

شكل4: تغير سرعة القشط العام V_B مع طاقات جسيمات ألفا المختلفة لكاشفي الأثر PM-355 و CR-39

إن النتائج التي حصلنا عليها كانت متفقة مع نتائج (Zamani et al.,1986) مـن أن أقطـار آثـار جسيمات ألفا القاصفة لكاشف الأثر CR-39 تقل بزيادة طاقة جسيمات ألفا للمـدى E_α>1.5MeV كمـا وجدوا أن أقطار آثار البروتونات القاصفـة لكاشف الأثرPM-355 تقل بزيادة طاقـة البروتونات للمـدى E_p>2MeV. كما وتظهر من الصور الفوتوغرافيـة لـ ـ (Benton et al.,1980a). إن أقطـار آثـار البروتونات القاصفة لكاشف الأثر CR-39 تقل بزيادة طاقة تلك البروتونات ولمدى الطاقـة MeV (1-6)، وكذلك تتفق مع ما وجده (Benton et al.,1980b) من أن أقطار آثار البروتونات المرتدة نتيجـة سـقوط النيترونات على كاشف الأثر CR-39 تقل بزيادة طاقة تلك النيترونات ولمـدى من MeV(1.04-7.31). ويظهر أيضاً من الصور الفوتوغرافية أن أقطار تلك الآثار تزداد بزيادة طاقـة النيترونـ ـات القاصـفة للمـدى MeV(0.11-1.04). كذلك وجد (Somogyi and Hunyadi, 1980). إن أقطار آثار جـسيمات ألفا القاصفة لكاشف الأثر CR-39 تقل بزيادة طاقة جسيمات ألفا القاصفة وهذا التصرف أيضاً لا يختلـف عن تصرف البروتونات القاصفة على الكاشف نفسه إذ أن أقطار الآثار تقل بزيادة طاقتها القاصفة.

من ملاحظة الشكلين (5 و6) اللذين يمثلان العلاقة بين طاقة جسيمات ألفا القاصفة مع سرعة نمـو الأقطار V_D وسرعة القشط على طول الأثر V_T. نلحظ أن هذه القيم تـزداد بزيـادة طاقـة الجـسيمات القاصفة لتصل أعلى قيمة لها عند طاقة E_α=1.5MeV ثم تقل بعد ذلك مـع الاسـتمرار بزيـادة طاقـة جسيمات ألفا القاصفة للمدى MeV(1.5-5.5). أما الشكل (7) والذي يوضح العلاقة بين نسبة القـشط V وطاقة جسيمات ألفا القاصفة، إذ نلحظ أن تصرف V لا يختلف عن تصرف كل من V_T و V_B لأن V $=V_T/V_B$. وبثبوت V_B والذي يساوي قيمة ثابتة بحدود 0.86µm/hr، فان أي تغير في قيمـة V_T زيادة أو نقصانا يرافقه تغير في قيمة V بالنمط نفسه من الزيـادة والنقصان. إن هذه النتائج للمتغيـرات

القشطيـة V_B وV_T وV التي حصلنا عليها تتفق نوعيـا مع ما توصل إليه (Green et al.,1982). وكما هو موضح في الشكل السابق والذي رسمت فيه نتائج هذا البحث بجانب النتائج التي حصلنا عليها.

شكل 5: تغير سرعة نمو الآثار V_D مع طاقات جسيمات ألفا المختلفة لكاشفي الأثرPM-355 و CR-39.

شكل 6: تغير سرعة القشط على طول الأثر V_T مع طاقات جسيمات ألفا المختلفة لكاشفي الاثر PM-355 وCR-39.

شكل 7: تغير نسبة القشط V مع طاقات جسيمات ألفا المختلفة لكاشفي الأثر PM-355 و CR-39.

وفيما يخص الزاوية الحرجة θ_C، فقد وجد أنها تتغير عكسيا مع تغيرV. ومن ملاحظة الـشكل (8) نجد أن الزاوية الحرجة θ_C تقل بزيادة طاقة جسيمات ألفا لتصل أقل قيمـة عنـد الطاقـة E_α=1.5MeV والذي تقابله أعلى قيمة لـ V عند الطاقة نفسها ثم تزداد الزاوية الحرجة بعدها بزيادة طاقة جسيمات ألفا القاصفة. وهذا يعني أن أقصى قيمة للاستجابة الزاوية للكاشف PM-355 تحدث عند الطاقة 1.5MeV.

شكل 8: تغير الزاوية الحرجة θ_C مع طاقات جسيمات ألفا المختلفة لكاشفي الأثرPM-355 و CR-39.

أما كفاءة القشط η وحساسية القشط S ، فنجد من الشكلين (10,9)، أن كفـاءة وحـساسية القـشط للكاشف PM-355 تزدادان بزيادة طاقة جسيمات ألفا ليصلا إلى أعلى قيمة لهما عند 1.5MeV ثم يقلان بعد هذه القيمة من الطاقة مع الاستمرار بزيادة طاقة جسيمات ألفا للمدى $E_\alpha \leq 5.5MeV$.

شكل 9: تغير كفاءة القشط η لطاقات جسيمات ألفا المختلفة لكاشفي الأثر PM-355 و CR-39.

شكل10: تغير حساسية القشط S مع طاقات جسيمات ألفا المختلفة لكاشفي الأثرPM-355 وCR-39.

من النتائج في أعلاه نجد انه من الممكن استخدام كاشف الأثر PM-355 كمطياف لتمييـز طاقـات الجسيمات القاصفة. إن الكاشف PM-355 يعد نوعية مطورة من كاشف الأثر CR-39 لـذا فقـد تمـت مقارنته مع الكاشف CR-39 ذات الكفاءة والحساسية العاليتين لمعرفة مدى كفاءة وحساسية هذا الكاشـف. لقد أظهرت المقارنة بين الكاشفين أن الكاشف PM-355 يتصرف بالأسلوب نفسه الـذي يتـصرف بـه الكاشف CR-39 ولكن بمعدلات مختلفة. فقد لوحظ أن الكاشف PM-355 لا يمكن الحصول فيـه علـى أقطار آثار أكبر من (10μm) بغض النظر عن ظروف القشط والطاقات المستخدمة لأن كاشـف الأثـر PM-355 سينتهي إذ يتحلل جزيئاته بالكامل داخل المحلول القاشط عند زيادة زمن القشط عن الزمن الذي يحصل عنده هذا القطر. أما كاشف الأثر CR-39 فانه يمكن الاستمرار في القشط لفترات أطول بكثير من الكاشف PM-355 . كما وجد أن كفاءة الكاشف PM-355 لتسجيل الآثار وإظهارها هي أقل مما للكاشف CR-39 كما موضح في الشكلين (12,11) ونحصل على الاختلاف نفسه بالنسبة للطاقات الأخرى. أما في الشكل (4) فقد وجد أن الكاشف PM-355 يتحسس لأقل طاقة E_{min} بحدود 0.3MeV في حين أن الكاشف CR-39 يستجيب لأقل طاقة بحدود 0.2MeV وهذا يعني أن طاقة العتبة التي يمكن لكاشف PM-355 أن يتحسس بها هي أعلى من طاقة العتبة للكاشف CR-39 وهذا يعطي أهمية إلى أن الكاشـف CR-39 هـو أكثر حساسية للطاقات الواطئة من كاشف PM-355 .

وبالإمكان الحصول على طاقات أقل من قيم E_{min} وذلك باستخدام القـشط الكهروكيميـائي تحـت مجالات عالية الشدة والتردد أثناء عملية القشط مما يزيد من V_T مقارنة مع V_B ويعمل على كسر آواصر البوليمر بالاتجاهات الثلاثة في نهاية رأس الأثر المخروطي على شكل تشجر مما يزيد من احتمالية ظهور الأثر إذ وجد أن طاقة العتبة لـ CR-39 تصل إلى حدود 0.1MeV (عمـر، 2002)، وهذا يعني أنـه بالإمكان تقليل طاقة العتبة للكاشف PM-355 باستخدام عملية القشط الكهروكيميائي. كما نجد من الشكل السابق نفسه، أن أقصى قيمة للطاقة المفقودة من قبل الجسم في مادة الكاشف CR-39 تحصل عنـدما تكون طاقة الجسيمـات القاصفة بحدود 1.5MeV وهذا تماما ما يحصل للكاشـف PM-355 عنـد هـذه الطاقة نفسها.كما يلحظ أن أقطار الآثار الناتجة في الكاشف CR-39 تزداد طرديا مع طاقـة الجـسيمات القاصفة لحد1.5MeV كما في الكاشف PM-355 ولكنها أكبر قليلا ضمن المدى المذكور، وتنعكس هـذه الحالة عندما تكون طاقة الجسيمات القاصفة أكبر من 1.5MeV إذ تقل أقطار الآثار بزيادة الطاقة كما في الكاشف PM-355 ولكن أقطار هذه الآثـار تكون اكبر مما للكاشف CR-39 تحت الظروف نفسها .لـذا يمكن القول أن CR-39 يتحسس للطاقات مادون 1.5MeV بشكل أفضل من كاشف PM-355 في حـين يحدث العكس للطاقات التي هي أكبر من 1.5 MeV.

شكل 11: العلاقة بين عدد الآثار وزمن القشط لكاشفى CR-39 و PM-355عند E_{α}=0.5 MeV.

شكل 12: العلاقة بين عدد الآثار وزمن القشط لكاشفى CR-39و PM-355 عند E_{α}=2.5MeV.

إن الفروقات في أقطار الآثـار الناتجة في الكاشفين وللطاقـات المستخدمة تكون قليلـة لا تتجاوز 12% وهذا الفرق يظهر واضحا عند مقارنة سرعة نمو الأقطار في الكاشفين وللطاقـات المـستخدمة، إذ نجد من الشكل (4) أن أقصى قيمة لنمو أقطار الآثـار في الكاشفين تحصل في النقطة نفسها عندما تكون طاقـة الجسيمات القاصفة بحـدود 1.5MeV ، كما أن الفرق في سرعـة نمو الأقطـار للكاشفيـن لا تتجاوز % 6 بينما يحدث فرق واضح في سرعـة القشط على طول الأثر V_T إذ يظهر من الشكل (6)

أن قيم V_T لكاشـف CR-39 هي أكبر مما للكاشـف PM-355 ويصـل أقصى فـرق فـي V_T بـين الكاشفيـن عندما تكون طاقـة الجسيمات القاصفـة بحدود 1.5MeV في حين أن هذا الفرق ينعدم أو يقل بشكل كبير في الطاقات العالية. وهذا الفرق الكبير في V_T هي نتيجة للفرق في قيم V_B للكاشفيـن تحـت الظروف نفسـها حيث كانت V_B لكاشف CR-39 تساوي 1.35μm/hr في حين تـسـاوي 1.86μm/hr لكاشف PM-355 ويلحظ من الشكل (7) أن نسبة القشط V للكاشفيـن CR-39 و PM-355 يتغيران الأسلوب نفسـه ولكن لوحـظ أن نسبة القشط لـ CR-39 هي أكبر من نسبة القشط للكاشف PM-355 وبحـدود 125% عندما تكون طاقـة الجسيـم القاصف 1.5MeV وهي النقطة التـي يحـصل عنـدها أعظم فقدان للطاقـة بالنسبة للجسيـم القاصـف. إن هـذه النتيجـة تتفـق سـلوكا مـع مـا وجـ ـده (Green et al., 1982) لمدى طاقـات أكبر من 1.5 MeV ولكاشف CR-39 وذلك لوجـود اخـتلاف بسيط في تركيـز المحلول القاشط. وعند مقارنة الزاويـة الحرجة θ_C للكاشفين من الشكل(8)، نجـد ان قيم الزاوية الحرجة للكاشـف CR-39 ولجميع الطاقات ضمن المدى المستخدم هي أقل من قيم الزاويـة الحرجة لكاشف PM-355 وعند الطاقات المستخدمة نفسـها. فنلاحظ من الشكل السابق أن الزاوية تقـل بزيادة طاقة الجسيمـات القاصفـة ليصـل أقل قيمة في كاشـف CR-39 وتـساوي 10.3°عنـد طاقـة 1.5MeV ليقابلـها أقل زاويـة حرجة في كاشف PM-355 وتساوي 25.89° عند الطاقة نفسها ثم تزداد بعد هذه القيمة بزيادة طاقة جسيمات ألفا القاصفة ضمن المدى المستخدم. ومـن المعـروف إن نقـصان الزاوية الحرجة في أي كاشـف دليل على الاستجابة والكفـاءة العاليتيـن للكاشف وهذا يظهر واضـحا من الشكلين (9 و10) إذ يتبين من خلالهما أن كفاءة وحساسية القشط لكاشف الأثر CR-39 هي أفـضل مما للكاشف PM-355 ، فقد كانت قيم الكفاءة والحساسية لكاشف CR-39 وعند الطاقـات E_α=1.5MeV يساويان 0.81 و 4.54 على التوالي لتقابلها أعلى كفاءة وحساسية قشط في الكاشف PM-355 عند الطاقة نفسها 0.56 و 1.29 على التوالي.

الاستنتاج

من النتائج في أعلاه يمكن أن نستنتج أن القيمة القصوى لأقطار الآثار المتكونة لكاشـ ـف الأثـر PM-355 تحدث عندما تكون طاقة الجسيمات القاصفة على الكاشف تقريبا 1.5MeV إذ يحـدث أعظـم امتصاص للطاقة القاصفة وان هذه القيمة لا تعتمد على نوع الجسيم القاصف فحسب بل تعتمد على الطاقة التي يحملها الجسيم وكذلك على نوع الكاشف المستخدم. كما وجد أن أقطار آثار جسيمات ألفـا القاصـفة على سطح الكاشف تزداد بزيادة طاقة الجسيمات القاصفة إلى حد 1.5MeV ثم تقل بعد ذلك مع الاستمرار بزيادة طاقة الجسيمات القاصفة ضمن المدى المستخدم. إن أقل قيمة للطاقة يمكن لكاشف الأثر PM-355 أن يتحسس بها هي بحدود 0.3MeV كما أن أقل قيمة من الطاقة يمكن لكاشف الأثر CR-39 أن يتحسس بها هي بحدود 0.2MeV ضمن الإمكانيات المتوفرة في هذا البحث. إن هذه القيم تمثل حدود العتبة لهـذه

الكواشف وعليه فان كفاءة وحساسية كاشف الأثر CR-39 هي أفضل من حساسية وكفاءة كاشـف الأثـر PM-355. لقد وجد بأن تصرف كاشف الأثر PM-355 واستجابته تجاه الجسيمات القاصـفة لا يختلـف كثيرا عن سلوك كاشف الأثر CR-39 تجاه الجسيمات نفسها وهذا يؤكد كون كاشف الأثـر PM-355 هو نوعية مطورة من CR-39. كما أن استخدام كاشف الأثر PM-355 و CR-39 لجسيمات ألفا القاصفة ذات طاقة بحدود 1.5MeV يعطيان أعلى استجابة وكفاءة في تسجيل وكشف آثار تلك الجسيمات، إذ تتـساوى تقريبا أقطار الآثار في الكاشفين عند هذه الطاقة.

المصادر العربية

الأحمد، خالد عبيد ،1993. مقدمة في الفيزياء الصحية، دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل.

الخفاجي، طالب ناهي؛ حمادي، عباس وموشي، هرمز، 1980. الفيزياء الذريـة، الجزء الثانـي.

خليل، منيب عادل، 1996. الفيزياء النووية، دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل.

عمر، نسيم سالم خضر، 2002. القشط الكهروكيميائي وتأثير المجال الكهربائي المتناوب على الاسـتجابة الطاقية لكاشف الأثر النووي البلاستيكي CR-39 لجسيمات ألفا. رسالة ماجستير ـ كلية التربية.

المصادر الأجنبية

Amin S.A. and Henshaw D.L. ,1986. Effect of Various Etching Solution on the Response of CR-39 Plastic Track Detector, Nucl. Inst.and Meth., 190: 415-421.

Benton, E. V.; Frank, A. L.; Oswald, R. A. and Wheeler, R. V., 1980a. Proton Recording Deutron Dosimeter for Personal Monitoring,. In: Proce. 10th Int. Conf. SSNTDs, Loyn and Suppl. 2 (ed. H. Francios) , Nud. Tracks Pergamon, Oxford, 469

Benton, E. V.; Preston, C. C.; Ruddy F. H.; Gold R. and Roberts, J. M. ,1980b. Proton and Alpha Particle Response Characteristics of CR-39 Polymer Par Reactor and Dosimetry Applications, In: Proce. 10th Int. Conf. SSNTDs, Loyn and Suppl. 2, (ed. H. Francios), Nucl. Tracks Pergamon, Oxford, 459.

Chatry, C.; Serbat, A.; Laugier, J. and Vanderschneren, J., 1990. Energy and Angle Response of CR-39 to Protons . In: Proc. 15th INT. CONF. On Particle Tracks in Solids, Hamburg, Germany.

Durrani, S.A. and Bull, R.K., 1987.Solid State Nuclear Track Detection, Pergamon Press. Oxford.

Fleischer, R.L.; Price, P.B. and Walker, R.M., 1975. Nuclear Tracks in Solids:Principles and Applications, Univercity of California Press.

Green, P.E.; Ramil,A.G.; Al-Najjar,S.A.R.; Abu-Jarad,F. and Durrani,S. A., 1982. Study of Bulk and Track Etch Rates in CR-39, Nucl. Inst. and Meth., 203 : 551-559.

Hashemi, N.S.R.,1982. Effect Of Etching Conditions on the Bulk- Etch Rate and Track-Etching Response of CA80-15 Cellulose Nitrate,Nucl.Inst. And Meth.,200:525-531.

Homer, J.B. and Miles, J.C. H., 1986. The Effects Of Heat and Humidity Before, During and After Exposure On the Response of Pade (CR-39) to Alpha Particles, Nuclear Track, Int. J. Radiate Appl. Instrum., Part D.,12(1-6): 133-136.

Hussain, A.H. and Sabah, N.M., 1994. Comparative Study of SR-86 (20) Response With CR-39 and PM-355 Plastic Track Detectors, Basrah J. Science, 12(2): 95-101.

Kobayashi, T. and Fujh, M., 1988. Effect of Various Etching Solutions on the Response of CR-39, Nucl. Tracks Radiat. Meas., 15(1-4):175-178.

Kumar, S.; Chander, S.;Yadov, J.S. and Sharma, A.P., 1986. Some Environmental Effect Studies on the Respone of CR-39 (DOP) Plastic Track Detector, Nuclear Tracks, 12(1-6):129-132.

Mahesh, K. and Mustafa, S. M. ,1976. Nuclear Radiation Detectors and Experiments, Mosul University Press, Iraq.

Randhaw, G.S.; Shyam, K. and Virk, H.S., 1979. Response of Different Plastic Track Detector to Particles. Radia. Meas., 22(3):523-527.

Sadowski, M.; Al-Mashhadani, E.M.; Szydlowski, A.; Czyzcwski, T.; Glowacka, L.; Jaskola, M. and Wielanski, M., 1999. Investigation on the Response of CR-39 and PM-355 Track Detectors to Fast Protons in the Energy Range 0.2-4.2MeV, Nucl. Meth. Phys. Rese., B86:311-316.

Selman, T.A. and Selman, T.M., 1998. Response of PM-355 , Solid State Nuclear Track Detector For Nuclear Particles, Basrah J. Science ,16(1):63-66.

Somogyi, G. and Hunyadi, I., 1980. Etching Properties of the CR-39 Polymeric Nuclear Track Detector, In:Proce.10th Int.Conf.,SSNTDs,Loyn and Suppl.2(ed. H. Francios), Nucl. Tracks, Pergamon, Oxford, 443.

Zamani, M.; Jokic, S.; Fermandez, F.; Debeauvais, M. and Ralarosy, J., 1986. A study of Electrochemical Etched Alpha and Proton Tracks in CR-39 as Function of Energy Nuclear Tracks, 12 (1- 6) : 167-170.