

المجلة الأردنية للفيزياء

ARTICLE

قدرة التحليل الطاقوي لكاشف الأثر النووي الصلب PM-355 لجسيمات ألفا

سعيد حسن سعيد النعيمي¹ ومحمد محمود صالح الجبوري²

1- قسم الفيزياء، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

2- المديرية العامة لتربية كركوك، العراق.

Received on: 27/3/2015;

Accepted on: 3/11/2016

المخلص: يهدف البحث إلى إيجاد قدرة التحليل الطاقوي لكاشف الأثر النووي الصلب PM-355 وقابليته لتمييز طاقات جسيمات ألفا. استخدمت في عملية تشعيع الكاشف طاقات مختلفة لجسيمات ألفا ضمن المدى (2.0-5.485) MeV باستخدام النظيرين المشعنين ²⁴¹Am و²²⁶Ra، وتم إظهار الآثار بقشط الكاشف بدرجة $60 \pm 1^\circ\text{C}$ و6.25N من محلول KOH. صُنفت الآثار حسب أحجامها وقيست أقطارها مع كثافتها العددية، ومن ثم حُسبت قدرة التحليل الطاقوي للكاشف باستعمال التوزيع الإحصائي الغاوسي (Gaussian distribution). فقد وجد أن قدرة التحليل ($\Delta E/E$) للكاشف على تمييز كل طاقتين متجاورتين لجسيمات ألفا كانت بحدود (0.078-0.754) لمدى الطاقة (2.0-5.485) MeV وأن قدرة التحليل الطاقوي لكاشف PM-355 لجسيمات ألفا عند الطاقات العالية أفضل منها عند الطاقات المنخفضة، كذلك وُجد أن الكاشف تزداد قدرة تحليله مع زيادة طاقة جسيمات ألفا. الكلمات الدالة: الآثار النووية، PM-355، التحليل أو التمييز الطاقوي، تمييز النظائر.

Energy Analysis Power of the Nuclear Track Detector PM-355 for Alpha Particles

S. H. S. Al-Nia'emi, Physics Department, College of Education for Pure Science, Mosul University, Mosul, Iraq.

M. M. S. Al-Jobouri, The General Directorate of Kirkuk Education, Iraq.

Extended Abstract:

When a heavy charged particle passes through matter, it loses energy principally by scattering electrons within the matter it passes through it and will cause extensive ionization of the material through ionizing the atoms or molecules close to its path. Thus, the charged particle gradually loses its energy and is subjected to a gradual slowing down that could make it stop at the end of the path within the medium. The average energy loss of the particle per unit path length (dE/dx) is called the linear stopping power (S), which may be measured in units of MeV/cm or similar. The stopping power and hence, the density of ionization, usually increases toward the end of the range of the particle and reaches a maximum, the Bragg edge, shortly before the energy drops to zero. The curve that describes this is called the Bragg curve. The ionization processes can be treated statistically to derive the equation of stopping power, the best known being the Bethe formula.

One of the good means to detect charged particles is the solid state nuclear track detectors, especially the polycarbonate detector, which is one of the favorite organic detectors in this area. This advantage is due to the high registration and detection efficiency of the detector for charged particles, especially particles with low energies and protons.

In passing through the solid state nuclear detector, the charged particles, such as alpha particles, ionize almost all molecules close to their path. The primary ionizing process causes a series of new chemical processes that result in the creation of free chemical radicals and other chemical species. Along the path of the alpha particles, an affected zone of low molecular weight enriched with free radicals and other chemical species is then created. The damaged zone has a potential energy larger than the other sound areas of the detector and is called the latent track. The vision of the latent tracks is carried out by treating the detector containing the latent tracks with some suitable chemically aggressive solution. An alkaline aqueous solution, such as NaOH and KOH, is most frequently used in this field. This process is called traditional chemical detector etching. So, the track of the particles is formed, which can be viewed under an ordinary optical microscope. Because of plastic detectors having a threshold limit for energy loss $(dE/dx)_t$, only particles which lose an energy rate greater than the threshold limit could produce tracks in the material and can be shown by the chemical etching process.

Particles with different energies produce tracks with different diameters which require different etching times to be revealed. Low-energy particles have a short range in the detector, indicating tracks with large diameters in a short etching time, while high-energy particles have a large range producing tracks with small diameters that require longer etching time to be revealed. The overall effect is that the tracks belonging to incident particles with the same energy do not appear simultaneously according to the number of collisions that each particle could make with the atoms of the detector material as well as the energy lost in each collision. Thus, a variation in the time of the tracks' appearance will occur and the track number will increase with the progress of the etching time until all tracks appear at a certain time called optimum time of etching. So, the number of appearing tracks with definite diameters according to the energy distribution spectrum can be rounded to the Gaussian distribution.

The Energy Analysis Power of the detector depends on the energy of the particles being lost along the track in the detector material. The energy loss per unit time by falling particles reveals tracks with slightly different diameters. Thus, the relationship between the formed track diameters and their recurrence numerical density which follows the Gaussian distribution is used to measure the strength of the energy analysis.

The small particle energy loss per unit time in the nuclear track detector material makes the distribution of the tracks' diameters centered mostly around a narrow area and the width of the distribution spectrum will be sharp, indicating a high-energy analysis. On the other hand, the large particle energy loss per unit time in the detector gives a broad distribution and the tracks' diameters are centered around a wide area, indicating a low-energy analysis. So, the ability of a detector to distinguish the energies of the incident particles and to separate them is considered as an interesting characteristic of the detector. Accordingly, there is a difference in the energy analysis degree of the detector for different energies as well as a difference from one detector to another.

The aim of this paper is to measure the energy analysis power of the PM-355 solid state nuclear track detector and its ability for discrimination of alpha particle energies. Different alpha particle energies within the range of (5.485-2.0) MeV obtained from ^{241}Am and ^{226}Ra isotopes are used in the irradiation of the detector. The tracks are revealed by etching the detector at $(60\pm 1)^\circ\text{C}$ in a 6.25 N KOH solution. The tracks are classified according to their sizes. The diameters of the tracks and their corresponding numerical densities are then measured to find the energy analysis power using the Gaussian statistical distribution. The energy analysis power of the detector for alpha particle energy discrimination of each two neighboring energies was about (0.078-0.754) MeV. It was found that the energy analysis power of the detector PM-355 at high energies is better than that for low energies and increases with the increase in alpha particle energies.

Keywords: Nuclear tracks, PM-355, Energy analysis or resolution, Isotopes, Isotope identification.

المقدمة

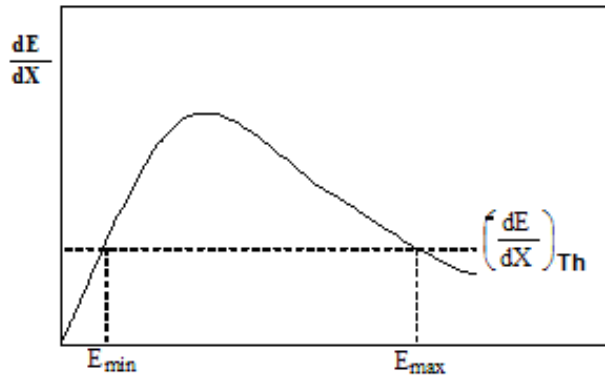
إن سقوط الجسيمات المشحونة على هذه الكواشف يؤدي إلى انفصام السلاسل البوليمرية على طول مسارها داخل مادة الكاشف مكونة سلاسل بوليمرية قصيرة ذات نهايات فعالة تسمى الجذور الحرة (Free Radicals)، وتكون ذات أوزان جزيئية منخفضة [5]، منتجة بذلك منطقة متضررة تمتلك طاقة كامنة أكبر من المناطق الأخرى السليمة وتدعى منطقة التلف أو الأثر المستتر (Latent track) [6]. إن هذه الآثار تصعب رؤيتها لأنها تحتاج إلى قدرة تكبير عالية، وإظهارها فلا بد من معالجة تلك المناطق بمحاليل كيميائية خاصة يمكنها التفاعل مع منطقة الضرر (التلف). وتعرف هذه العملية بعملية القشط الكيميائي (Chemical etching) [6, 7].

إن مدى طاقات جسيمات ألفا التي يمكن لها أن تحدث أثراً في الكاشف يكون محدوداً لأن الكواشف البلاستيكية تظهر حد عتبة للطاقة المفقودة $\left(\frac{dE}{dx}\right)_{Th}$ بحيث تكون الجسيمات فقط التي تفقد معدل طاقة أكبر من حد العتبة أثراً في المادة يمكن إظهارها بعملية القشط الكيميائي. وهناك قيمتان لطاقة جسيمات ألفا هما دنيا E_{min} وعليا E_{max} ، من خلالهما يمكن تحديد احتمالية تكون الآثار وإمكانية إظهارها من عدمه؛ إذ إن الجسيمات ذات الطاقة الأقل من E_{min} والأكثر من E_{max} لا يمكن إظهار آثارها ومشاهدتها، علماً بأن لكل كاشف حساس لجسيمات ألفا قيمة ثابتة لكل من E_{min} و E_{max} [6]. ويمكن الحصول على هاتين القيمتين من تقاطع خط عتبة الطاقة للكاشف مع منحنى معدل فقدان طاقة الجسيم الساقط $\left(\frac{dE}{dx}\right)_{Th}$ كما هو مبين في الشكل (1).

عند مرور الجسيمات المشحونة الثقيلة نسبياً كجسيمات ألفا خلال مادة صلبة، فإنها تعاني فقداً في طاقتها؛ إذ تقوم بعدد كبير من التصادمات مع ذرات المادة علماً بأن الطاقة المفقودة في التصادم الواحد تكون قليلة، ولهذا، فإن الجسيم المشحون يبدو وكأنه يخسر طاقته بشكل مستمر وتدرجي ويتعرض لعملية إبطاء تدرجية قد تجعله يصل حد السكون في تلك المادة. لذلك يستخدم المعدل الوسطي للطاقة المفقودة (Mean Energy Loss Rate)، وهو معدل تغير الطاقة التي يفقدها الجسيم مع الزمن. كما يستخدم معدل تغير الطاقة التي يفقدها الجسيم المشحون لوحدة المسافة التي يسيرها هذا الجسيم في المادة $\left(\frac{dE}{dx}\right)$ ويسمى قدرة الإيقاف (Stopping Power)

الخطية للمادة ووحدتها (eV/μm). ويستخدم أحياناً ما يسمى قدرة الإيقاف الكتلية $\left(\frac{dE}{\rho dx}\right)$ حيث ρ كثافة المادة، وهنا تكون وحدتها (eV/cm²) [1, 2].

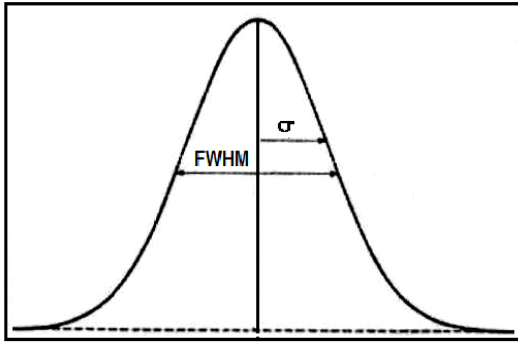
تفقد الجسيمات المشحونة طاقتها في أثناء مرورها في المادة بعملية إثارة الذرات وتأينها على طول مسارها في المادة، وكل التأينات الحاصلة في ذرات الوسط هي نتيجة للتصادمات غير المرنة للجسيم الساقط مع ذرات الوسط، وهذه العمليات يمكن أن تعالج إحصائياً لاشتقاق معادلة الطاقة المفقودة لوحدة طول المسار [3]. وتعد كواشف الأثر النووي الصلبة (SSNTD's) من الوسائل الجيدة للكشف عن الجسيمات المشحونة، ولاسيما كاشف متعدد الكربون البلاستيكي CR-39 الذي يعد من الكواشف العضوية (البوليمرية) الجيدة في هذا المجال بسبب الكفاءة التسجيلية والكفاءة الكشفية العاليتين له، وبخاصة للجسيمات ذات الطاقة المنخفضة وكذلك للبروتونات [4].



الشكل (1): طاقة العتبة والقيم العظمى والصغرى لطاقة جسيمات ألفا لتكوين آثار في الكاشف البلاستيكي.

تباين الطاقة والتوزيع الغاوسي

حيث يمثل E و \bar{E} طاقة الجسيمات الساقطة ومتوسطها على التوالي، و $a(=\sqrt{2}\sigma=1.414\sigma)$ يمثل مَعْلَم تباين الطاقة (Stragglng parameter)، ويُعرّف على أنه نصف عرض التوزيع الطاقوي عند $(1/e)$ من أعلى ارتفاع له. وفي بعض التطبيقات، يستخدم عرض الطيف أو التوزيع الطاقوي من منتصف أعلى ارتفاع له ويسمى العرض الكلي عند منتصف أعلى ارتفاع $(FWHM)$ ، وهو الأكثر شيوعاً في الاستخدام [9، 10، 11]، وهذا الأخير إلى حد ما يكون أكبر من 2σ كما هو موضح في الشكل (2).



الشكل (2): العلاقة بين الانحراف المعياري وعرض التوزيع في منتصف أعلى ارتفاع.

قدرة التحليل الطاقوي

تعتمد قدرة التحليل الطاقوي (Energy Analysis Power) للكاشف على الطاقة التي تفقدها الجسيمات على طول مسارها في مادة الكاشف. فالتباينات في فقدان الجسيمات الساقطة بطاقة محددة لطاقتها في وحدة الزمن في أثناء مرورها بمادة الكاشف تؤدي إلى حدوث تباينات في أقطار الآثار المقشوفة التي تظهر بأقطار مختلفة قليلاً. وتعتمد في قياس قدرة التحليل الطاقوي للكاشف العلاقة بين أقطار الآثار المتباينة وتكرارات كثافتها العددية التي تتبع التوزيع الغاوسي.

إن التباين القليل في الطاقة المفقودة داخل مادة كاشف الأثر النووي يُعطي توزيعاً لأقطار الآثار يتمركز معظمها حول منطقة ضيقة ويكون التوزيع صغيراً وحاداً، وهذا يعطي قدرة تحليل جيدة للكاشف. في حين أن التباين الكبير في الطاقة المفقودة داخل مادة الكاشف يعطي توزيعاً عريضاً لأقطار الآثار ويتمركز حول منطقة عريضة، وهذا يعني قدرة تحليل منخفضة للكاشف. وعليه، هناك تفاوت في قدرة التحليل الطاقوي ودرجة التحليل للكاشف الواحد

لا تفقد الجسيمات جميعها الطاقة نفسها في وحدة الزمن عند مرورها في مادة الكاشف حتى وإن كانت تحمل الطاقة نفسها، بل يحصل تباين في مقدار الطاقة المفقودة في مادة الكاشف، وبالتالي يحدث تباين في طاقة هذه الجسيمات على طول مسارها في مادة الكاشف. إن هذا التباين سيؤدي إلى اختلاف في مدى تلك الجسيمات نوعاً ما وبالتالي إلى تباين في أقطار الآثار الظاهرة بعملية القشط، فضلاً عن أن الطاقة الرئيسة للجسيم الساقط تمثل معدل طاقات الانحلالات للنظير المشع المستخدم [8]. فعلى سبيل المثال، فإن معدل الطاقة الرئيسة لجسيمات ألفا المنبعثة من نظير الأمريشيوم ^{241}Am الذي يساوي 5.485 MeV يمثل معدل ثلاث زروات في الطيف الطاقوي للنظير. إن الجسيمات ذات الطاقات المنخفضة تفقد طاقتها بشكل أسرع داخل مادة الكاشف ويكون مداها قصيراً، وتظهر آثارها المقشوفة بأقطار كبيرة في زمن قشط قصير، في حين أن الجسيمات بطاقات عالية تفقد طاقتها ببطء على طول مسارها، ويكون مداها طويلاً، وتظهر آثارها المقشوفة بأقطار صغيرة، وتحتاج إلى زمن قشط أطول لإظهارها.

كل هذه الأسباب تؤدي إلى عدم ظهور الآثار جميعها في زمن واحد للطاقة نفسها للجسيم الساقط، وبذلك يحصل تفاوت في أزمان ظهورها وتزداد أعدادها مع تقدم عملية القشط لحين ظهور الآثار جميعها عند زمن قشط معين هو الزمن الأمثل (Optimum time) لظهور الآثار. فالزمن الأمثل لظهور الآثار يعتمد على الظروف القشطية والكشفية، فضلاً عن كتلة الجسيم الساقط وشحنته [6، 7]، وكذلك يعتمد على العوامل البيئية المؤثرة على الكاشف.

ولأن ظاهرة النشاط الإشعاعي عملية إحصائية عشوائية، فإن القياسات المعتمدة على ملاحظة التحلل الإشعاعي تتضمن ترواحاً إحصائياً يسبب لادقة في القياسات، ولا يمكن إزالة هذه اللادقة، بل يمكن التقليل من أثرها بأساليب مختلفة. ويمكن تقريب التوزيع الطاقوي إلى دالة غاوس (Gaussian function) كما في المعادلة الآتية [9]:

$$(E)dE = \frac{1}{a\sqrt{\pi}} \exp\left[-\frac{(E - \bar{E})^2}{a^2}\right] dE \quad (1)$$

طريقة العمل

استُعملت عدة قطع من الكاشف بأبعاد متساوية 0.5×0.5 cm² تبعاً لعدد الطاقات المدروسة. فقد شُغعت القطع في حجرة مفرغة من الهواء بجسيمات ألفا بطاقات مختلفة من نظيري الأمريشيوم ²⁴¹Am والراديوم ²²⁶Ra لزمن (3-6) min بمعدل طاقة 5.485 MeV للمصدر المشع ²⁴¹Am وبمعدل طاقة 5.1 MeV للمصدر المشع ²²⁶Ra، فضلاً عن التشيع بطاقات إضافية أخرى مختلفة من مصدر الراديوم ²²⁶Ra فقط وهي (2.67, 3.4, 4.35, 2.0) MeV. وقد تم الحصول عليها بتغيير المسافة بين المصدر المشع والكاشف في الهواء، حيث إن مدى جسيمات ألفا في الهواء هو بحدود 4.16 cm، ويمكن الحصول عليه من برنامج SRIM [16].

لإظهار الأثار في الكاشف، استعمل المحلول الكيميائي KOH بعيارية 6.25 N ودرجة حرارة $(60 \pm 1)^\circ\text{C}$ لفترات قشط بحدود (2-9) h بتتابع زمني كل 0.5 h لحين حصول الاندماج الكلي للأثار في الكاشف وعدم التمكن من عدّها. استعمل المجهر البصري الاعتيادي في مشاهدة الأثار وتصنيفها حسب أقطارها وتسجيل عدد تكراراتها ضمن المساحة المشعّة من الكاشف عند كل زمن قشط لطاقات ألفا المدروسة جميعها.

الحسابات

للحصول على طيف التوزيعات الغاوسية لأقطار الأثار، رُسمت العلاقة بين أقطار الأثار وتكرارات كثافتها العددية. وبذلك تم الحصول على عدد كبير من رسومات طيف التوزيعات الغاوسية مساوٍ لعدد الفترات القشضية لكل طاقة من الطاقات الست لجسيمات ألفا (بحدود 84 رسماً أو طيفاً غاوسياً بواقع 14 رسماً لكل طاقة). وجدير بالذكر أن كل طيف للتوزيعات الغاوسية لأقطار الأثار مع تكرارات كثافتها العددية تم الحصول عليه من قياس أقطار بحدود 1500 أثر لكل فترة من الفترات القشضية للطاقات الست المدروسة.

من مجموعة الرسومات أو الأطياف تلك، اختير طيف واحد لكل طاقة بأقل انحراف معياري (lowest standard deviation). وبذلك حصلنا على ستة أطياف للتوزيع الغاوسي لأقطار الأثار مساوية لطاقات ألفا المدروسة كما سنلاحظ لاحقاً في النتائج. تم إيجاد الانحراف المعياري لأطياف التوزيعات الغاوسية بشكل مباشر من البرنامج الحاسوبي 1.3 Curve expert المستعمل في رسم تلك

لطاقات المختلفة، فضلاً عن التفاوت في التحليل من كاشف لآخر. فالتحليل المتدني (الردئي) يعني كبر عرض طيف التوزيع (broad)، وهذا يعني تبايناً أو تفاوتاً كبيراً في الطاقة التي تفقدها الجسيمات في وحدة الزمن في مادة الكاشف. أما التحليل الجيد، فإنه يعني صغر عرض الطيف وقلة التباين في الطاقة المفقودة في وحدة الزمن داخل المادة؛ إذ يصبح الطيف حاداً (sharp). لذا تعدّ قابلية الكواشف لتمييز الطاقات الساقطة عليها وقدرتها على الفصل بينها من الخصائص المهمة لهذه الكواشف [12].

ترتبط قدرة التحليل $(\frac{\Delta E}{E})$ لأي طاقتين متجاورتين مع أقطار الأثار الناتجة بالعلاقة الآتية [13, 14, 15]:

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{(E_1 - E_2)}{0.5(E_1 + E_2)} \frac{\Delta D}{D_{m1} - D_{m2}} \quad (2)$$

حيث ΔD عرض التوزيع في منتصف أعلى ارتفاع (FWHM) لطيفي الطاقتين المتجاورتين، ويعطى بالعلاقة:

$$\Delta D = \frac{\Delta D_1 + \Delta D_2}{4} \quad (3)$$

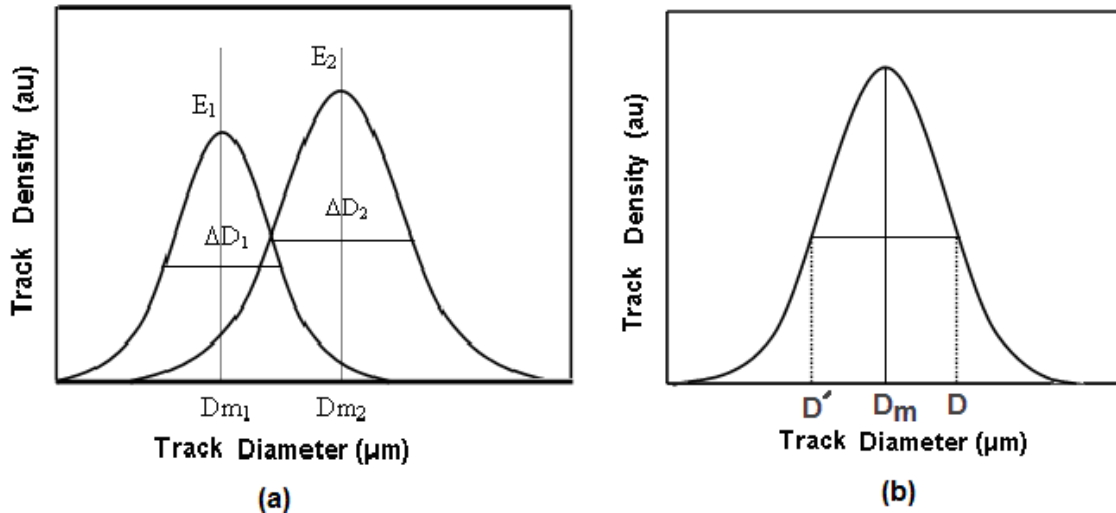
وتمثل E_1 و E_2 الطاقات الساقطة و D_1 و D_2 معدل أقطار الأثار المقابلة لهذه الطاقات.

وعليه، يمكن تعريف قدرة التحليل $(\frac{\Delta E}{E})$ للكاشف بأنها قابلية الكاشف لفصل خطين طيفيين متقاربين في الطاقة، ويُعدّ عرض الخط الطيفي (الطيف الطاقوي) مقياساً لقدرة تحليل الكاشف [9, 11].

يهدف هذا البحث إلى إيجاد قدرة التحليل الطاقوي $(\frac{\Delta E}{E})$ للكاشف النووي البلاستيكي الصلب PM-355 للتمييز بين طاقات ألفا المنبعثة من النظيرين ²⁴¹Am و ²²⁶Ra لطاقات سقوط مختلفة للجسيمات على الكاشف. وسيتم إيجاد قدرة التحليل الطاقوي للكاشف وعلاقتها بالطاقات الساقطة من خلال الاعتماد على منحنى التوزيع الإحصائي الغاوسي بين أقطار الأثار المتكونة في الكاشف مع تكرارات كثافتها العددية بعد إجراء عمليات القشط والإظهار عليها كأساس في هذا العمل.

calibration التي من خلالها يمكن الحصول على متوسط أقطار الأثار عند أي طاقة لجسيمات ألفا.

بحساب عرض الطيف ΔD_1 و ΔD_2 عند منتصف أعلى ارتفاع له (FWHM) لطاقتي سقوط متجاورتين E_1 و E_2 ، وكذلك بحساب متوسط قيم أقطار الأثار المقابلة لهاتين الطاقتين D_{m1} و D_{m2} من طيف التوزيع لهما كما في الشكل (3b) واستخدام المعادلة (2)، يتم حساب قدرة التحليل الطاقي $(\frac{\Delta E}{E})$ للكاشف.



الشكل (3) نموذج طيف التوزيع الغاوسي لأقطار الأثار وتكرارات كثافتها العددية (a) لطاقة واحدة و (b) لطاقتين متجاورتين.

النتائج والمناقشة

لوحظ من رسومات العلاقة بين تكرارات كثافة الأثار وأقطارها المتباينة لطاقت جسيمات ألفا (5.485, 5.1, 4.35, 3.4, 2.67, 2.0) MeV PM-355 عند الظروف القشبية (6.25 N, $60 \pm 1^\circ C$). وعليه، تم اعتماد هذه الحالات الست في أعلاه من مجموع 84 طيفاً (حالة واحدة لكل طاقة) للتوزيع الغاوسي لأقطار الأثار مع تكرارات كثافتها العددية بأقل انحراف معياري، وتم توضيحها في شكل واحد هو الشكل (4) ليُصار إلى استعمالها في حساب متوسطات قيم أقطار الأثار (D_m) ومن ثم حساب قدرة التحليل الطاقي $(\frac{\Delta E}{E})$ ، فيما أهملت بقية الحالات الأخرى. وهكذا، فقد تم إيجاد قيم متوسطات أقطار الأثار (D_m) المقابلة للطاقت المدروسة- انظر الجدول (1)- التي أعتدّت في إيجاد منحنى المعايرة (طاقة-قطر) لاحقاً.

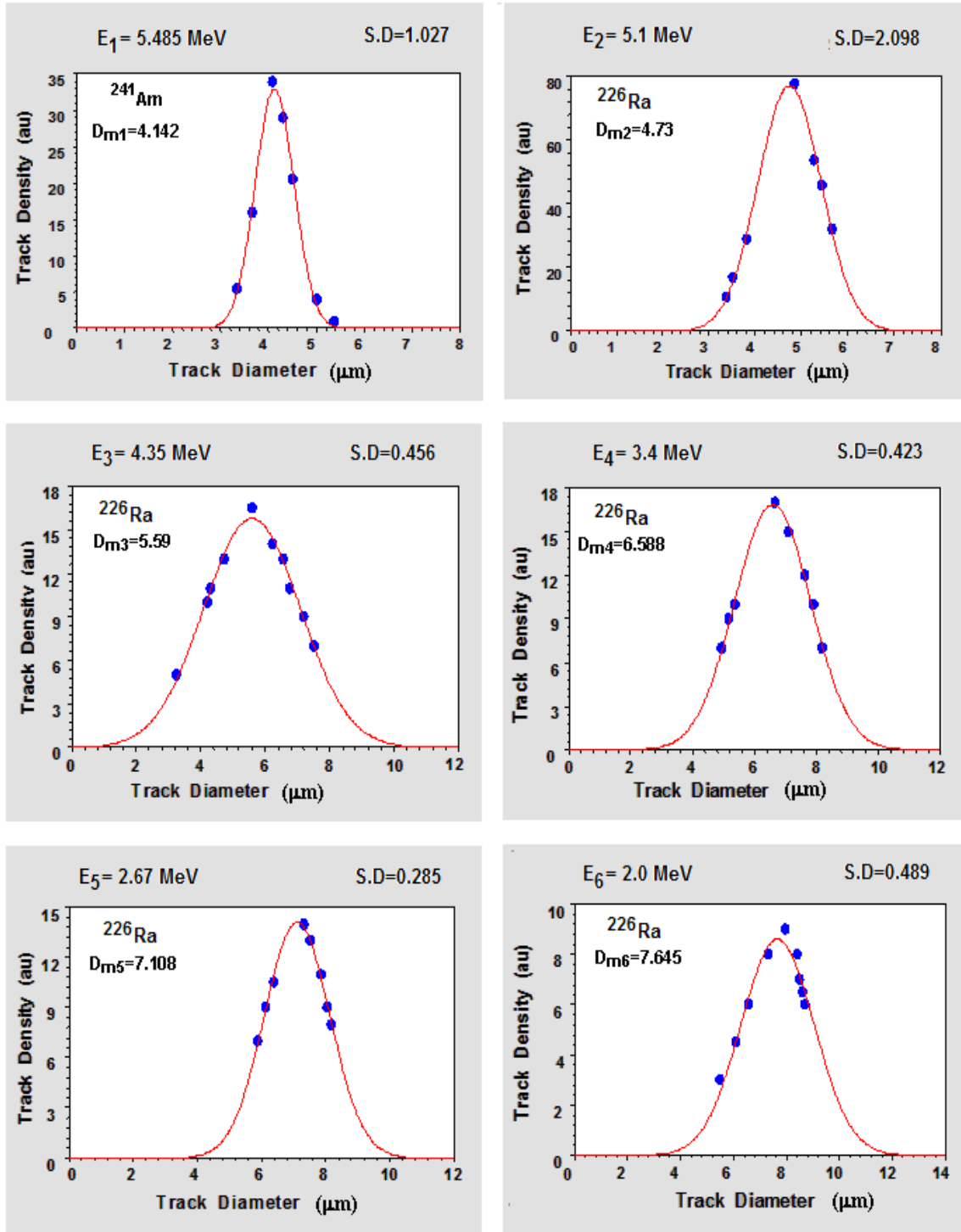
التوزيعات بالاعتماد على معادلة الأنموذج الغاوسي (Gaussian Model) في البرنامج، وهي:

$$y = ae^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}} \quad (4)$$

وأخيراً، تم إيجاد متوسط قيم أقطار الأثار (D_m) عند أعلى نقطة للأطياف المختارة لكل طاقة تشعيع كما هو موضح في نموذج طيف التوزيع في الشكل (3a) ليُصار إلى استخدامها في عملية المعايرة "طاقة-قطر" ($E-D_m$)

لوحظ من رسومات العلاقة بين تكرارات كثافة الأثار وأقطارها المتباينة لطاقت جسيمات ألفا (5.485, 5.1, 4.35, 3.4, 2.67, 2.0) MeV طاقة لحين حصول الاندماج الكلي لتلك الأثار البالغة 84 طيفاً، أن أفضل توزيع لأقطار الأثار هو التوزيع الغاوسي (Gaussian distribution). ويعزى هذا إلى أن المصدر المشع لا يبث إشعاعاً منتظماً أو جسيمات بأعداد ثابتة مع الزمن، فضلاً عن التباينات الحاصلة في فقدان طاقة جسيمات ألفا عند مرورها بمادة الكاشف، كما أسلفنا.

من مجموعة الرسومات (الأطياف) تلك، تم اختيار طيف واحد لأفضل توزيع غاوسي لأقطار الأثار بأقل انحراف معياري من بين فترات القشط المنجزة لكل طاقة تشعيع. فقد وُجد أن أفضل توزيع بأقل انحراف معياري يظهر عند فترة قشط (4-5) ساعات لطاقت ألفا المدروسة، وأن قيم الانحرافات المعيارية كانت بحدود (1.027, 2.098,



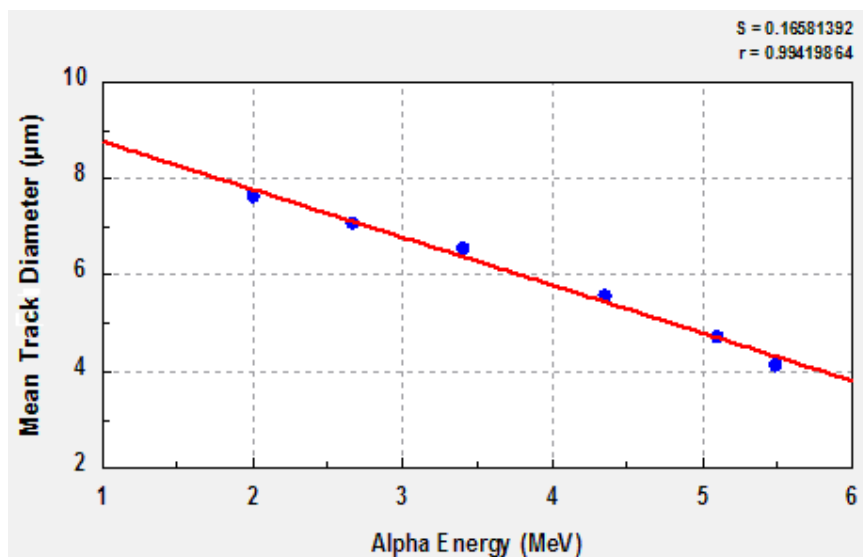
الشكل (4): أطيف التوزيع الغاوسي لأقطار الأثر مع تكرارات كثافتها العددية لأقل انحراف معياري.

(au: means arbitrary unit)

للحصول على منحنى المعايرة "طاقة- قطر"، فقد رُسمت قراءات متوسط القطر (D_m) وطاقت ألفا المقابلة لها كما هو مبين في الجدول (1)، وقد ظهرت العلاقة بينهما خطية ضمن مدى الطاقات المدروسة - انظر الشكل (5) - وهي تتوافق مع ما وجدته Zaki and EL-Shaer [15] لكاشف CR-39 ضمن مدى الطاقة (2.5-5.2) MeV تحت ظروف قشطية مختلفة.

الجدول (1): متوسط أقطار الأثار المقابلة لطاقات ألفا.

E (MeV)	D_m (μm)
5.485	4.142
5.1	4.73
4.35	5.59
3.4	6.588
2.67	7.108
2.0	7.645



الشكل (5): منحنى المعايرة (طاقة - قطر) لكاشف PM-355.

طاقتين متجاورتين كما هو موضح في نموذج الطيف في الشكل (3)، وكذلك تم إيجاد معدل كل طاقتين متجاورتين لطاقات ألفا المستخدمة على التتابع، ومن ثم حساب قدرة تحليل أو تمييز الكاشف البلاستيكي PM-355 لكل طاقتين متجاورتين ($\frac{\Delta E}{E}$) باستخدام المعادلة (2) وكما هو موضح في الجدول (2).

إن قابلية الكواشف لتمييز الطاقات الساقطة عليها وقدرتها على الفصل بينها تُعد من الخصائص المهمة لهذه الكواشف. وعليه، فهناك تفاوت في قدرة التحليل (التمييز) الطاقوي من كاشف لآخر وفي كيفية هذا التمييز أو التحليل الطاقوي تبعاً لكَبَر أو صِغَر عرض التوزيع الغاوسي لأقطار الأثار المتكونة في الكاشف. وبالاعتماد على التوزيع الغاوسي لأقطار الأثار مع تكرارات كثافتها العددية الموضحة في الشكل (4)، فقد تم إيجاد معدل عرض الطيف لكل

الجدول (2): قدرة التحليل أو التمييز الطاقوي لكاشف PM-355.

E (MeV)	D_m (μm)	$(E_1 - E_2)$ (MeV)	E_{av} (MeV)	$D_{m2} - D_{m1}$ (μm)	ΔD (μm)	$\Delta E/E$
5.49	4.142					
5.1	4.73	0.385	5.2925	0.588	0.6305	0.078
5.1	4.73					
4.35	5.59	0.75	4.725	0.86	1.29	0.238
4.35	5.59					
3.4	6.588	0.95	3.875	0.998	1.63	0.40
3.4	6.588	0.73	3.035	0.52	1.328	0.614
2.67	7.108					
2.67	7.108	0.67	2.335	0.537	1.411	0.754
2.0	7.645					

دراستنا هذه بعين الاعتبار، بسبب اختلاف نوع الكاشف المستخدم.

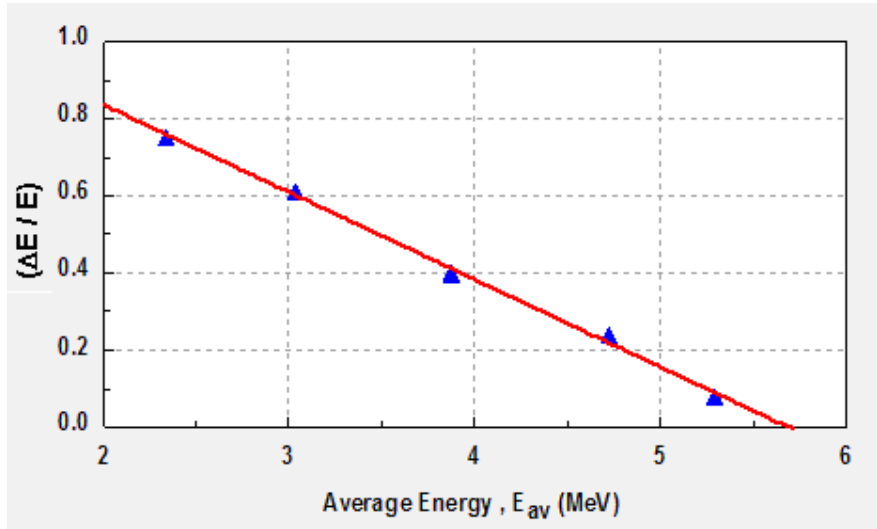
وهكذا يمكن القول إن قدرة التحليل أو التمييز الطاقوي لكاشفي PM-355 و CR-39 تكون متقاربة عند الطاقات العالية وتختلف نوعاً ما عند الطاقات المنخفضة ضمن مدى الطاقات المستخدمة في هذه الدراسة؛ إذ يلاحظ أن قدرة التحليل الطاقوي لكاشف PM-355 أقل منها لكاشف CR-39 تحت الظروف نفسها (حيث إن كبر قيمة $\frac{\Delta E}{E}$ يعني قلة أو ضعف قدرة التحليل وصغرها تعني

جودة قدرة التحليل للكاشف)، وهذا يتواءم مع ما وجدته حساسية الكاشف CR-39 لجسيمات ألفا وتمييزها للطاقات هي أفضل منها لكاشف PM-355. وهذا يتفق مع فكرة ظهور الكاشف PM-355 كنعوية مطورة، لاسيما للبروتونات؛ إذ إن حساسيته لهذه الجسيمات أفضل من حساسية الكاشف CR-39 لجسيمات ألفا. وهكذا، يلاحظ أن العلاقة بين قدرة التحليل الطاقوي $(\frac{\Delta E}{E})$ ومعدل كل طاقتين

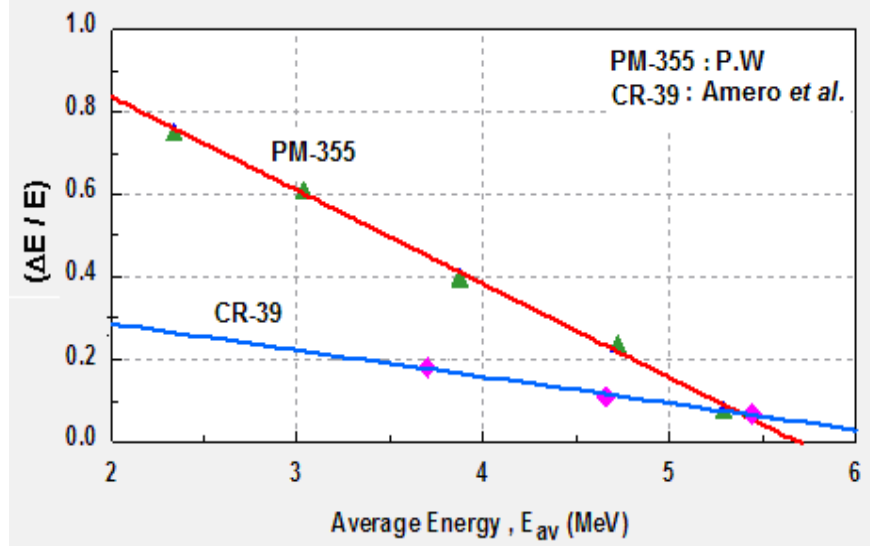
متجاورتين من الطاقات الساقطة كما هو موضح في الشكل (7) هي علاقة خطية، وأن القيمة العددية لقدرة التحليل الطاقوي تقل بزيادة تلك الطاقات. وهذا يعني أن قدرة التحليل بين الطاقات تتحسن بزيادة طاقة الجسيمات الساقطة.

ومن المعروف أن علو قيم $\frac{\Delta E}{E}$ عددياً يعني انخفاض قدرة التحليل الطاقوي للكاشف. وبالمقابل، فإن انخفاض قيمتها تعني قدرة تحليل طاقوي جيدة. وبناءً على ذلك، يلاحظ من الجدول (2) أن قدرة التحليل الطاقوي لكاشف PM-355 عالية عند الطاقات العالية وتقل عند الطاقات المنخفضة ضمن مدى الطاقات المدروسة، وهذا يتفق تماماً مع حقيقة أن قدرة التحليل الطاقوي تتناسب تناسباً عكسياً مع الطاقة الساقطة [14]. كذلك يلاحظ أن العلاقة بين قدرة التحليل الطاقوي $(\frac{\Delta E}{E})$ ومعدل كل طاقتين متجاورتين من الطاقات الساقطة تكون خطية كما هو موضح في الشكل (6).

إن النتائج التي تم الحصول عليها وكذلك نمط تغير قدرة التحليل الطاقوي $(\frac{\Delta E}{E})$ مع معدلات الطاقات المتجاورة E_{av} الموضح في الشكل (6)، تتفق مع ما لاحظته Amero *et al.* [14] في دراسته لقدرة التحليل الطاقوي للكاشف CR-39 تحت الظروف القشطية نفسها المستخدمة في هذا البحث وهي (KOH, 6.25N, 60±1°C) وكما هو موضح في الشكل (7). فقد وجدوا أيضاً أن قدرة التحليل تكون عالية في الطاقات العالية وتقل في الطاقات المنخفضة، مع أخذ الاختلاف في قيم $(\frac{\Delta E}{E})$ للبحث المذكور عن القيم التي حصلنا عليها لكاشف PM-355 في



الشكل (6): العلاقة بين قدرة التحليل الطاقوي $(\frac{\Delta E}{E})$ لكاشف PM-355 ومعدل كل طاقتين متجاورتين لجسيمات ألفا.



الشكل (7): العلاقة بين قدرة التحليل الطاقوي ($\Delta E/E$) لكاشف PM-355 ومعدل كل طاقتين متجاورتين لجسيمات ألفا ومقارنته مع نتائج بحث Amero *et al.* لكاشف CR-39 [14].

الاستنتاجات

لكاشف PM-355 بين (0.078-0.754) لطاقات ألفا MeV (2.0-5.485) على التوالي؛ إذ إن القيم العددية الكبيرة تعني انخفاض قدرة التحليل الطاقوي للكاشف، والعكس صحيح. وعليه، فإن النتائج تعطي إشارة جيدة إلى إمكانية استعمال كواشف الأثر النووي في تحديد هوية (identification) النظائر المشعة بالاعتماد على معلمات الأثر المتكونة فيها.

يستنتج من هذا البحث أن التوزيع الغاوسي يمثل أفضل توزيع للعلاقة بين تباينات أقطار الأثر وكثافة تكراراتها العددية، وأن أكبر كثافة عددية للأثر في الكاشف للطاقات المدروسة وللنظائر القشبية المختلفة ظهرت عند متوسط القطر للأثر D_m للتوزيعات الغاوسية لأقطار الأثر. كذلك وجد أن قدرة التحليل أو التمييز الطاقوي للكاشف PM-355 تكون جيدة عند الطاقات العالية وأفضل مما هي عليه للطاقات المنخفضة. فقد تراوحت قيم قدرة التحليل

المراجع

- [5] Stuart, B.H., "Polymer Analysis", University of Technology, Sydney, Australia, (John Wiley & Sons, Ltd., 2002).
- [6] Durrani, S.A. and Bull, R.K., "Solid State Nuclear Track Detection Principles, Methods and Applications". (Pergamon Press, Oxford, 1987).
- [7] Cecchini, S., Balestra, S., Cozzi, M., Giacomelli, G., Giorgini, M., Manzoor, S., Medinaceli, E., Patrizzii, L., Popa, V., Sirri, G., Spurio, M., Togo, V. and Chiarusi, T., "Application of Nuclear Track Detectors in Astroparticle and Nuclear Physics". (Dipartimento di Fisica, Università di Bologna, Università la Sapienza, Italy, 2005).
- [1] Sykes, D.A. and Harris, S.J., Nucl. Instr. and Meth., 94 (1971) 39.
- [2] Nikezic, D. and Yu, K.N., Materials Science and Engineering, R46 (2004) 51.
- [3] Mladjenovic, M., "Radioisotope and Radiation Physics, an Introduction". Translated by Sonja Subtonic Academic Press, (NewYork and London, 1973).
- [4] Sinenian, N., Rosenberg, M.J., Manuel, M., McDuffee, S.C., Casey, D.T., Zylstra, A.B., Rinderknecht, H.G., Gatu Johnson, M., Séguin, F.H., Frenje, J.A., Li, C.K. and Petrasso, R.D., Rev. Sci. Instrum. 82(1) (2011) 103303.

- [13] Izerrouken, M., Skvarc, J. and Ilic, R., Radiat. Meas., 31 (1999) 141.
- [14] Amero, C., Golzarri, J.I., Izerrouken, M. and Espinosa, G., Radiat. Meas., 34 (2001) 341.
- [15] Zaki, M.F. and El-Shaer, Y.H., Indian Academy of Sciences, 69(4) (2007) 567.
- [16] Ziegler, J.F., Ziegler, M.D. and Biersack, J.P., Radiat. Meas., 37 (2003) 553.
- [17] Al-Nia'emi, S.H.S. and Al-O'bedy, A.A.I., Raf. J., 16(1) (2005) 21.
- [8] Physics Laboratory Experiment PHYWE, "Physical Structure of Matter". (Germany, 2001).
- [9] Quseph, P.J., "Introduction to Nuclear Radiation Detectors". (Plenum Press, New York, 1975).
- [10] Al-Bedri, M.B., Harris, S.J. and Sykes, D.A., Nucl. Instr. and Meth., 106 (1973) 241.
- [11] Ranger, N.T., Radiographics, 19(2) (1999) 481.
- [12] Mahmood, A., Bashir, S., Us-Salam, A. and Ul-Haq, F., Turk. J. Phys., 28 (2004) 283.