

دراسة مدى دقائق ألفا وبيتا في الكاديوم النقي والمطعم بـ (Te , Se , S)

م. خالدة حسين الميالي
م. هيام ناجي هادي
م.م غصون جليل إبراهيم
جامعة الكوفة – كلية التربية للبنات – قسم الفيزياء

الخلاصة:-

تم في هذا البحث دراسة نظرية لموضوع الجسيمات النووية المارة خلال المادة شبه الموصلة ، والتي تتحرك بسرعات مختلفة حسب نوع وطاقة النظير المشع، من خلال الاعتماد على البرنامج الفرعي (ZRATIO) الذي تمت كتابته من البرنامج الرئيسي المكتوب بلغة فورتران (77) . فقد تم حساب المدى لشبه الموصل (الكاديوم) النقي والمطعم بالعناصر سداسية التكافؤ (TE,SE,S) بالنسب الوزنية %WT (0.005, 0.05, 0.5) بعلاقة شبه تجريبية، وقد أظهرت النتائج إن التطعيم بالعناصر السداسية (TE,SE,S) من الجدول الدوري يؤثر في المدى المؤثر ، ووجد إن الزيادة في النسب الوزنية في كل عنصر مطعم يسبب زيادة في المدى المؤثر لجسيمات ألفا وبيتا في الكاديوم ، كما بينت النتائج إن مدى جسيمات ألفا وبيتا يزداد بزيادة طاقتها.

ABSTRACT:-

IN THIS RESEARCHER, A THEORETICAL STUDY WAS APPLIED FOR THE SUBJECT OF NUCLEAR PARTICLES CROSSING THROUGH SEMICONDUCTOR MATERIALS WITH DIFFERENT VELOCITIES DEPENDING ON THE TYPE AND ENERGY OF THE RADIOACTIVE SOURCE USING THE BRANCH PROGRAM (ZRATIO) WHICH WAS WRITTEN THE MAIN PROGRAM IN FORTRAN LANGUAGE (77).THE RANG FOR CADMIUM HAS BEEN CALCULATED BY SEMIEMPRICAL FORMULA. IT HAS BEEN FOUND THAT DOPING WITH ELEMENTS FROM THE SIX GROUP (S,Se,eT)OF THE PERIODICAL TABLE HAS REMARKABLE EFFECT ON THE EFFECTIVE RANGE OF ALPHA AND BETA PARTICLES. IT IS SHOWN THAT THE INCREASE OF PERCENTAGE WEIGHT (0.005, 0.05, 0.5) WT% OF EACH DOPANT ELEMENT CAUSES AN INCREASE OF THE EFFECTIVE RANGE FOR BOTH ALPHA AND BETA PARTICLES IN CADMIUM. ALSO, IT IS FOUND THAT THE RANGE OF ALPHA AND BETA PARTICLES INCREASES WITH THE INCREASE OF THEIR ENERGY.

1-المقدمة :

أثيرت دراسة التأثيرات الإشعاعية في المواد الصلبة قبل ما يقرب أكثر من ستين سنة مضت وذلك من خلال تطور المفاعلات النووية فقد تنبأ (Wagner, 1943) بوجود أضرار إشعاعية في أجزاء من المفاعل نتيجة امتصاصه لأغلب الطاقة الناتجة من تفاعلات الانشطار النووية وأدركت حقيقة عملية تغير خواص المادة الصلبة بالتشعيع مباشرة قبل إجراء التطبيقات الحديثة في تطعيم أشباه الموصلات، لهذا كان بالإمكان أن تتغير عدد من خواص المادة الصلبة مثل السلوك الكهربائي بإضافة الشوائب أو بالضرر الإشعاعي [١]. (حيث أن تفاعل أشعاع ألفا وبيتا يحدث على شكل تأين أو تهيج حالما تدخل الجسيمات الحجم الفعال بعد أن تسير مسافة صغيرة من مداها) ولهذا فمن الضروري معرفة التغير الحاصل في المدى المؤثر (الفعال) بالاعتماد على الأعداد الذرية والكتلية المؤثرة أو الفعالة بعد التطعيم. لقد كان التوجه باستعمال الموححدات البلورية بصفة كواشف لقياس الجرعة الإشعاعية لكل من النيوترونات وأشعة كاما وبيتا أو ألفا بسبب أن أضرارها ليست محسوسة أو تكاد تكون مهملة بالنسبة لإشعاع كاما وتم اخذ قدرة الإيقاف لجسيمات ألفا وبيتا في المادة بنظر الاعتبار لتقدير المدى المطلوب لكي تتحدد من خلال الإزاحة الذرية للجسيمات الإشعاعية [2]. هناك اهتمام متزايد في السنوات الأخيرة بمركبات جديدة من أشباه الموصلات وهي مركبات (II-VI) حيث تمتلك خصائص فريدة مما يعزز إمكاناتها للاستخدام بمدى واسع في تطبيقات الأجهزة الالكترونية وموصلات ضوئية [3]. وتستعمل بالليزر والثنائيات الباعثة للضوء في المنطقة المرئية [٤]. وتتألف المركبات (II-VI) من اتحاد عنصرين أحدهما من الزمرة الثانية والآخر من الزمرة السادسة ومنها (ZnTe, CdTe, CdSe) وغيرها. وإن هذا التعريف يشمل الاوكسيدات والكبريتيدات والسليينيدات وتلاريديات لعناصر الزمرة الثانية [٥].

٢- النظرية:

اعتمدت الدراسات لمعرفة قدرة الإيقاف على قوانين الميكانيك الكمي النسبي ومن خلال البحوث التي أجراها كل من بيتا (Bethe) و بلوخ (Block)، وقد لاحظا أن التجارب التي أجريت لإيجاد معادلة تخص قدرة الإيقاف بالنسبة للجسيمات الثقيلة والخفيفة، وأن فقدان الطاقة بالنسبة للتفاعلات النووية التي تحدث بين الجسيمات والنواة يمكن تجاهله. وبين بيتا أنه في السرع العالية تكون نسبة فقدان الطاقة بواسطة الجسيمات من خلال اصطدامها بالكروونات الهدف أكبر من نواة الهدف [6] إذ أن فقدان الطاقة بالإيقاف يقسم إلى قسمين أساسيين: الإيقاف النووي والإيقاف الإلكتروني و النوع الثاني يكون أكبر من النوع الأول من حيث طاقة الجسيمات الخفيفة المنبعثة من المصادر المشعة [7].

أن علاقة الإيقاف النسبية لبيتا - بلوخ تعطى بالمعادلة الآتية [6]:

$$\delta = \frac{4\pi e^4 Z_2}{m_e v^2} Z_1^2 \left[\ln \frac{2mv^2}{\langle I \rangle} - \ln(1 - \beta^2) - \beta^2 + \Psi(Z_1) \right] \dots \dots \dots (1)$$

إذ تمثل δ قدرة الإيقاف النسبية للجسيمات، $\langle I \rangle$ معدل جهد التهيج للكروونات، Z_2 العدد الذري للنظير المشع، $\Psi(Z_1)$ دالة الإيقاف النسبية بدلالة العدد الذري (m, v) كتلة وسرعة جسيمة ألفا أو بيتا على التوالي، Z_1 العدد الذري للمادة شبة الموصلة، e شحنة الإلكترون، $\beta = v^2/c^2$. أما معدل فقدان الطاقة للجسيمات الثقيلة أو قدرة الإيقاف الخطية للوسط (شبة الموصل) فتعطى بالعلاقة الآتية [8]:

$$\frac{dE}{dx} = \frac{Z^2 e^4}{4\pi \epsilon_0 v^2} N Z \left(\ln \left(\frac{2m_o v^2}{I} \right) \ln \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right) - \frac{v^2}{c^2} \right) \dots \dots \dots (2)$$

حيث تمثل N عدد النويات لوحدة الحجم في المادة بوحدة (g/cm^3) ، v هي سرعة الجسيمة المشحونة بوحدة (m/s) وتمثل ϵ_0 سماحية الفراغ وتساوي $8.85 \times 10^{-12} C^2 N^{-1} m^{-2}$

ويمكن إيجاد قيمة جهد التأين أو التهيج لذرات المادة بالاعتماد على معادلات شبة تجريبية بدلالة العدد الذري للمادة وكما يأتي [9].

$$I / Z_2 (eV) = Z_2 (9.76 + 58.8 Z^{-1.19}) \dots \dots \dots (3)$$

أن معادلة فقدان الطاقة التصادمية الناتجة من تصادم جسيمات بيتا السالبة مع إلكترونات المادة توضحها المعادلة الآتية [10]:

$$\frac{dE}{dx} = \frac{2\pi e^2 N Z}{m_e v^2} \left[\ln \left(\frac{m_e v^2 E}{2I^2 (1 - \beta^2)} \right) - (2\sqrt{1 - \beta^2} - 1 + \beta^2) \ln(2) \right] + (1 - \beta^2) + \frac{(1 - \sqrt{1 - \beta^2})^2}{8} \dots \dots \dots (4)$$

حيث أن $(Z=1)$ لجسيمات بيتا و $(Z=2)$ لجسيمات ألفا.

وعند زيادة طاقة الجسيمة يقل فقدان الطاقة ضمن مدى الطاقة الواطنة، ولكن عندما تزداد الطاقة إلى المقدار النسبي الذي يسبب تقلص المجال الكولومي فإن فقدان بيتا بالزيادة منازراً بذلك حالة الجسيمات الثقيلة [10,11]. ويقل فقدان الطاقة عندما يتم التفاعل مع الكروونات أقل ارتباطاً في الذرة. إن تفاعل إشعاع بيتا أو ألفا يحدث على شكل تأين أو تهيج، حالما تدخل الجسيمات الحجم الفعال، بعد أن تسير تلك الجسيمات مسافة صغيرة من مداها. وتمتلك جسيمات ألفا مدى مقاساً عملياً في الهواء بمقدار $(2-8cm)$ وهو يعتمد على السرعة النهائية للجسيمة الساقطة المصطدمة بالمادة، واعتماداً على قاعدة براك - كليمان فإن مدى جسيمة ألفا في الهواء لشبة

$$\text{الموصل سيزداد مع زيادة الطاقات وحسب العلاقة : [12,13]} \\ R_{air} = 1.24E - 2.62 \quad 4 \leq E \leq 8 MeV \dots \dots \dots (5)$$

إذ إن R_{air} مدى ألفا في الهواء بوحدة (cm) .

ويمكن حساب مدى الجسيمة المشحونة بوحدة (g/cm^2) من خلال العلاقة شبة التجريبية الآتية [14].

$$R = \frac{0.00056 A^{1/3}}{\rho} R_{air} \dots \dots \dots (6)$$

حيث تمثل R المدى للجسيمة المشحونة بوحدة (g/cm^2) ، (A, ρ) هما الكثافة، العدد الكتلي على التوالي للمادة شبة الموصلة.

وتعطى علاقة المدى R مع الطاقة E للجسيمات الساقطة الثقيلة والخفيفة والمدى الأعظم لجسيمات بيتا بالمعادلة شبة التجريبية الآتية [12]:

$$R_{\max} (g/cm^2) = \begin{cases} 0.412 E_{\beta}^{1.265-0.0954 \ln(E_{\beta})} & 0.01 \leq E_{\beta} \leq 2.5 MeV \\ 0.530 E_{\beta} - 0.106 & E_{\beta} > 2.5 MeV \end{cases} \dots\dots\dots (7)$$

التركيز الوزنية التي أخذت بنظر الاعتبار (% t) (٠.٠٠٥, ٠.٠٥, ٠.٥ w) ، وعليه فقد تم معرفة تأين كل نسبة في سلوكية ومدى الجسيمات في المادة المطعمة وتأثير الزيادة في التشويب ومقارنتها من خلال التعرض لإشعاع ألفا من التأثير بإشعاع بيتا على الرغم من إن التطعيم للمادة هو نفسه [١٥]. والعلاقة الواضحة بين الطاقة وسرعة الجسيمات التي يكون اقل بكثير من سرعة الضوء $(\nu \gg c)$ [١٦]، وهذه النتيجة مستخرجة من قاعدة (براك – كليمان) المتمثلة بالمعادلة الآتية [١٧] :

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \frac{\sqrt{A_1}}{\sqrt{A_2}} \dots\dots\dots (8)$$

تمثل مدى جسيمة ألفا وبيتا في الكاديوم R_2 ، المدى المؤثر لجسيمة ألفا وبيتا في الكاديوم المطعم R_1 إذ إن هما الكثافة والعدد الكتلي على التوالي للمادة شبه الموصلة النقية والمركب (الخليط) . (A_2, ρ_2) و (A_1, ρ_1) ويمكن إيجاد العدد الكتلي المؤثر من المعادلة [١٧] :

$$\sqrt{A_{eff}} = \left(\sum_{i=1}^L W_i / \sqrt{A_i} \right)^{-1} \dots\dots\dots (9)$$

حيث A_i ، W_i النسبة الوزنية للمادة والعدد الكتلي على التوالي. أما في حالة المركبات فيعطى العدد الذري المؤثر والوزن الذري المؤثر في حال استعمال التأثير بجسيمات ألفا أو بيتا بالمعادلة [١٧] :

$$Z_{eff} = \sum_i W_i Z_i \dots\dots\dots (10)$$

$$A_{eff} = Z_{eff} \cdot \left(\sum_{i=1}^L W_i \cdot (Z_i / \sqrt{A_i})^{-1} \right) \dots\dots\dots (11)$$

$$= \sqrt{\rho_1} w_1 + \sqrt{\rho_2} w_2 \dots\dots\dots (12) (\rho_{eff})^{\frac{1}{2}}$$

وبأيجاد المدى المؤثر اعتمادا على المعادلات السابقة يمكن إيجاد (R_{eff}) وحسب المعادلة الآتية [١٧] :

$$R_{eff} = R_1 W_1 + R_2 W_2 \dots\dots\dots (13)$$

ومن خلال المعادلة (١٣) يمكن معرفة المديات المطعمة ولكل العناصر المستعملة اعتمادا على النسب الوزنية المختارة [٥] .

3- الحسابات و النتائج:

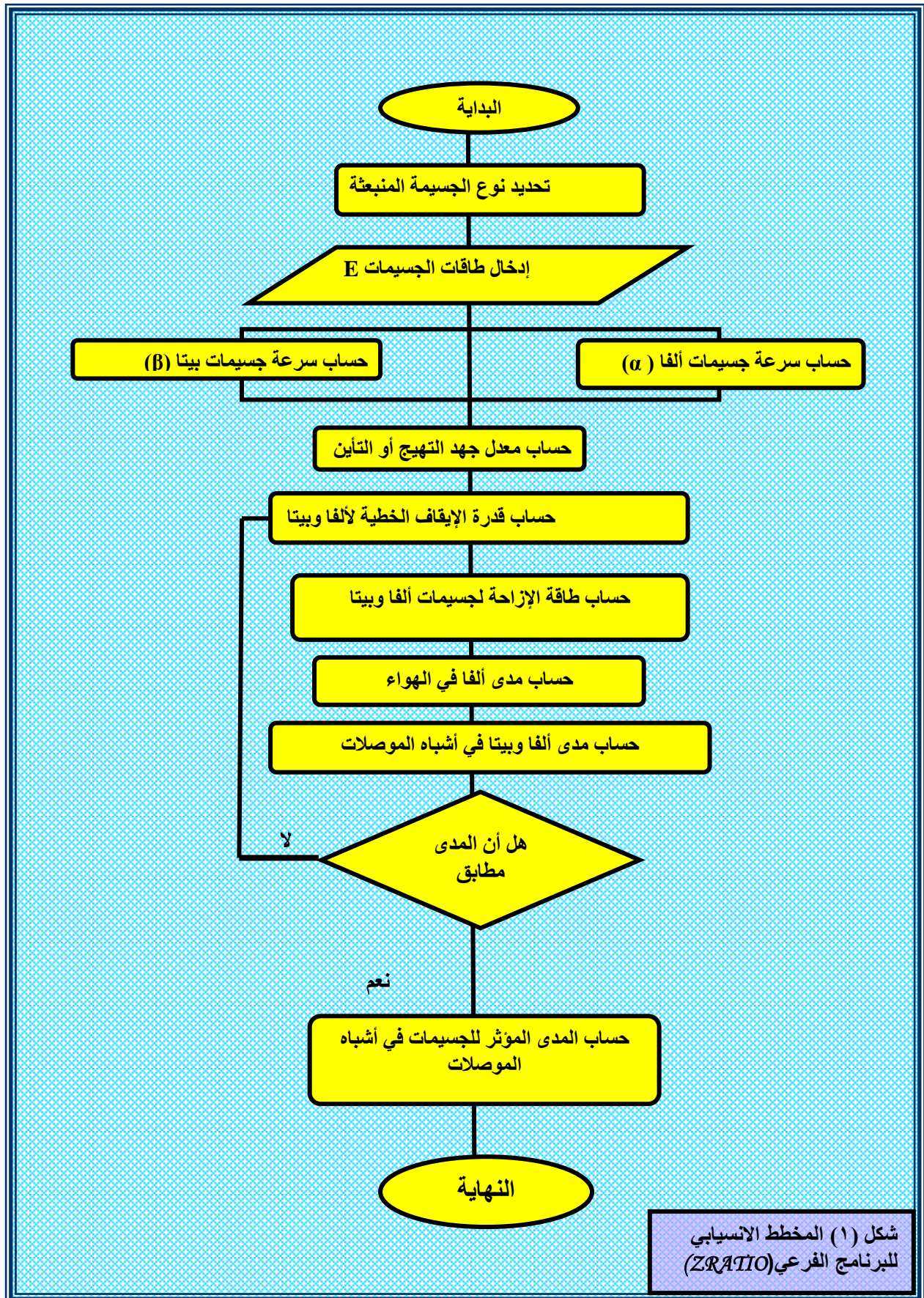
تم في هذا البحث دراسة فقدان الطاقة في المادة من خلال جهد التأين أو التهيج لذرات المادة الممتصة ، وتطبيقها في البرنامج الفرعي (ZRATIO) الذي تمت كتابته من البرنامج الرئيسي بلغة فورتران (٧٧) الموضح بالمخطط الانسيابي (شكل ١) . وتم إدخال المعلومات (Parameters) في البرنامج والمتمثلة بالعدد الذري للمادة شبه الموصلة (Z)، وكذلك كثافة المادة شبه الموصلة (ρ)، مع ملاحظة أن سرعة الجسيمات النووية تتغير تبعا لطاقة النظائر المشعة بالنسبة لجسيمات ألفا وبيتا. فمن خلال هذه المتغيرات تم تنفيذ البرنامج وإيجاد مدى جسيمات ألفا وبيتا في الهواء والكاديوم النقي والمطعم بـ (S, Se, Te) بالاعتماد على نسب التطعيم (0.005, 0.05, 0.5) wt% . فالشكل (٢) يوضح العلاقة الطردية بين طاقة جسيمة ألفا ومداه في الهواء والذي تم إيجاده باستعمال المعادلة (5). وتم من خلال المعادلات التجريبية (6) و (٧) حساب مديات جسيمات ألفا وبيتا في الكاديوم النقي اعتمادا على الأعداد الكتلية والكثافات والموضحة في الشكلين (٣) و (٤) على التوالي والتي تبين إن العلاقة طردية بين المدى وطاقات النظائر المشعة (Energy) . كما يلاحظ إن مدى جسيمة بيتا في عنصر الكاديوم أعلى من مدى جسيمة ألفا فيه. ومن خلال تطبيق المعادلة (١٣) تم الحصول على المديات المؤثرة R_{eff} لجسيمات ألفا وبيتا في الكاديوم المطعم بعناصر المجموعة السادسة وهي (S, Se, Te) وحسب التراكيز الوزنية المختارة (0.005, 0.05, 0.5) wt% (الموضحة في الأشكال (٥ - ١٠) التي تبين العلاقة الطردية بين طاقة جسيمة ألفا للنظائر المشعة مع المدى المؤثر للكاديوم المطعم.

٤- المناقشة و الاستنتاجات:

أن صيغة بيتا -بلوخ تعد من الصيغ المهمة في حساب قدرة الإيقاف الخطية للجسيمات الثقيلة والخفيفة والتي تعتمد على سرعة الجسيمة وكتلتها وذلك من خلال استعمال المعادلة الكلاسيكية لإيجاد سرع الجسيمات المشحونة، بالاعتماد على طاقات النظائر المشعة بالنسبة لجسيمة ألفا وبيتا. تم إيجاد مدى أشعة ألفا وبيتا في عنصر الكادميوم النقي والمطعم بـ (Te, Se, S) بالاعتماد على نسب التطعيم wt% (0.005, 0.05, 0.5). يلاحظ من الشكل (٢) إن العلاقة طردية بين مدى ألفا في الهواء وطاقات النظائر المشعة لجسيمات ألفا أي إن زيادة المديات يزداد اختراق جسيمة ألفا في الهواء وبشكل خطي [١٨]. ويوضح الشكلين (٣) و (٤) مدى جسيمات ألفا وبيتا على التوالي في الكادميوم النقي وتبين الأشكال إن العلاقة طردية بين المدى وطاقات النظائر المشعة (Energy) [١٩]. كما يلاحظ إن مدى جسيمة بيتا في عنصر الكادميوم أعلى من مدى جسيمة ألفا فيه وذلك بسبب كون قابلية الاختراق لجسيمات بيتا أكبر من جسيمات ألفا وقابلية توليدها لعبوب خطية والكثرونية، وانتقال بعض الذرات إلى مواقع بينية جراء التصادم [٢٠]. المديات المؤثرة R_{eff} لجسيمات ألفا وبيتا في الكادميوم المطعم بعناصر المجموعة السادسة وهي (Te, Se, S) وحسب التراكيز الوزنية المختارة wt% (0.005, 0.05, 0.5) موضحة في الأشكال (٥ - ١٠) والتي تبين العلاقة الطردية بين طاقة جسيمة ألفا للنظائر المشعة مع المدى المؤثر للكادميوم المطعم. فالأشكال (5-7) تبين تأثير زيادة طاقة جسيمات ألفا من نظائر العناصر (E) في المدى المؤثر لهذه الجسيمات في شبه الموصل المطعم، إذ يلاحظ إن زيادة التطعيم لجميع المطاعم تزيد من مديات ألفا المؤثرة لنفس قيم الطاقة. وإن تطعيم الكادميوم بالكبريت بنسبة wt% (٠.٠٥) هي الأفضل في الحصول على أدنى مدى مؤثر للجسيمة وبالتالي أقل عيوب ممكنة لنبائط أشباه الموصلات المطعمة. كما يلاحظ زيادة المدى عند النسبة wt% (٠.٥) ونقصانها كلما نقصت نسبة التطعيم، إذ إن زيادة نسبة التطعيم تولد عيوباً جراء التطعيم بنسبة عالية كما إن العدد الذري للعنصر المطعم له تأثير في الارتباطات الذرية للكادميوم التي لها أواصر تساهمية تعتمد على مستويات الطاقة لشبه الموصل المطعم الناتج [٢١]. ويلاحظ أيضاً إن المدى المؤثر يزداد بزيادة طاقة جسيمة ألفا بنسب تختلف باختلاف نوع عنصر التطعيم من المجموعة السادسة [٢٢]. أما الأشكال (٨-١٠) توضح زيادة المدى المؤثر لجسيمات بيتا مع زيادة طاقة الجسيمة لشوائب التطعيم بالنسب الوزنية wt% (٠.٠٥, ٠.٠٥, ٠.٠٥) وإن نسبة التطعيم % (٠.٥) تعطي أعظم قيم للمدى بسبب تولد العيوب جراء التطعيم نتيجة الارتباطات المتولدة والتأصر مع الشوائب مع مما يغير من الهيكل البلوري لشبه الموصل إذا كانت بلورية وزيادة الأواصر المتدلالية (Dangling Bonds) إذا كانت متعددة التبلور أو عشوائية مما يفسح المجال للجسيمات في اختراق المادة والفقدان التدريجي لطاقته وهذا يعتمد على نوع شبه الموصل وقدرة إيقافه للجسيمة الداخلة وهذا بدوره يتوقف على معامل التراص لمادة شبه الموصل البلوري كما يلاحظ إن أدنى مدى مؤثر لجسيمة بيتا كان عند تطعيم الكادميوم بالكبريت بسبب كون العدد الذري للعنصر المطعم هو (١٦) أقل من تلوريوم (Te) وسلينيوم (Se) حيث يحدث ترابطات بين ذرات الكادميوم يقلل من الفراغات والعيوب المتولدة جراء التطعيم [٢٣].

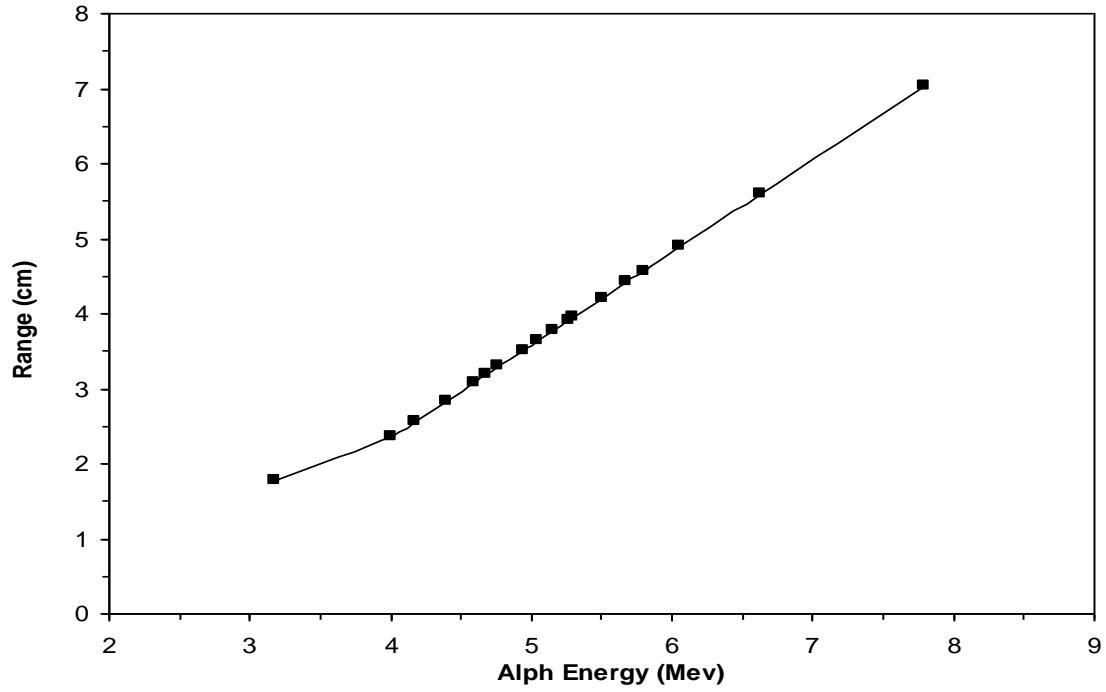
من خلال العمل الحالي يمكن استنتاج ما يأتي:

١. إن مدى جسيمات ألفا أو بيتا في الكادميوم يتناسب طردياً مع طاقتها .
٢. المدى المؤثر لجسيمات ألفا أو بيتا في الكادميوم المطعم بعناصر المجموعة السادسة (Te, Se, S) يتناسب طردياً مع طاقتها.
٣. إن زيادة نسبة التطعيم للكادميوم تزيد من المدى المؤثر لجسيمات ألفا أو بيتا.
٤. ويلاحظ أيضاً إن عنصر (الكبريت) هو أفضل عنصر عند تطعيم الكادميوم إذ يكون مدى جسيمات ألفا ومدى جسيمات بيتا أقل ما يمكن في هذه الحالة.

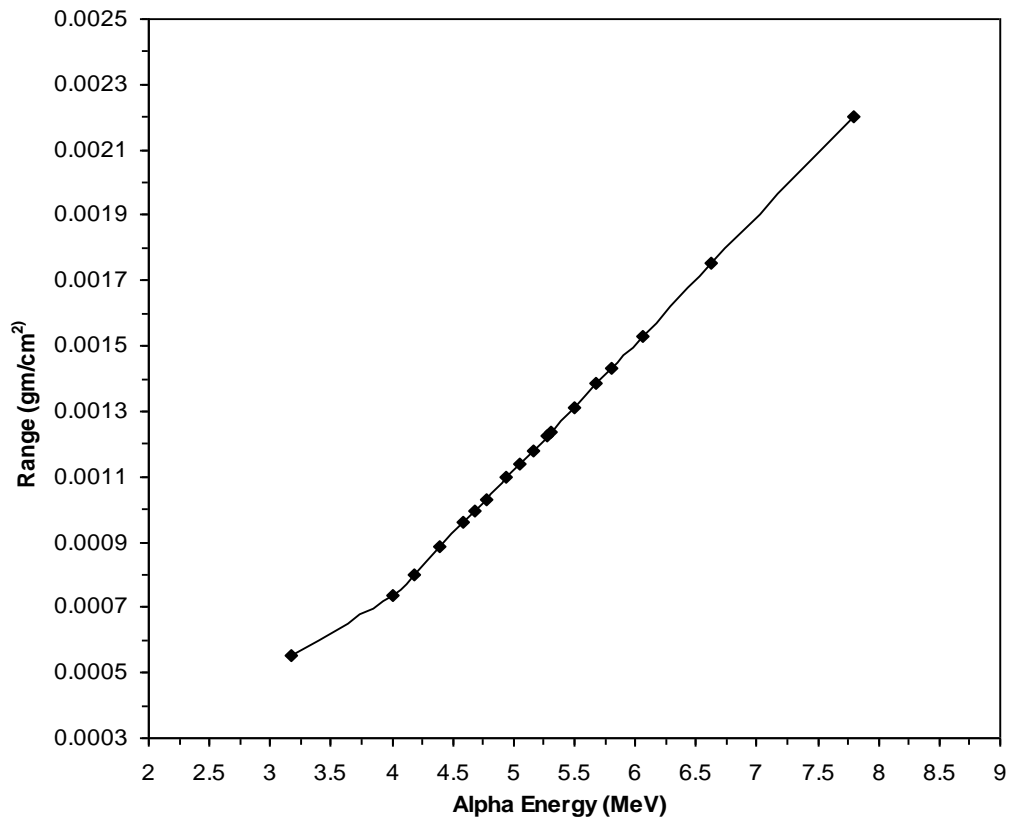


المصادر:-

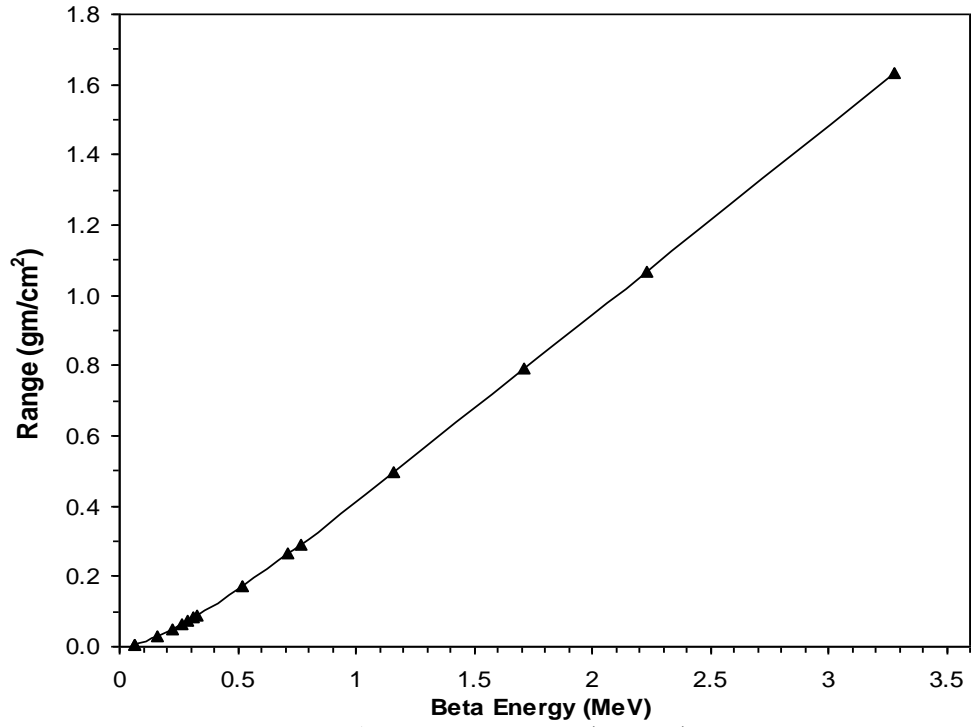
1. Herbert, F., 1971, "Electronic Defects in Semiconductors", Wiley Interscience, New York,.
2. Sze, S.M., 1981, "Physics of Semiconductor Devices". 2nd. John Wiley & Sons, New York,.
3. Jha ,P.K., Rath ,S. and Sanyal, S.P., 1996, Indian Journal of Pure and Applied Physics, 34, 269.
4. Solymar ,S.L. and Walsh, D., 1998, "Electrical properties of materials", Oxford, New York, Tokyo,.
5. Ray ,B., 1969, "II.VI compounds" 1st edition, printed in Great Britain by Neil and Co. Ltd. of Edinburgh,.
6. Peltola ,J., 2003, "Stopping Power for Ions and Clusters in Crystalline Solid", University of Helsinki,.
7. Ziegler ,J.F., 1999, "The Stopping of Energetic Light Ions in Element Matter", Purdue University, pp: 1249-1272,.
8. Knoll ,G.F., 1989, "Radiation Detection and Measurement", 2nd. John Wiley and Sons, New York,.
9. Sontry, (1984), "Stopping Power of (C, Al, Si, Ni, Ag) Using Radioactive Alpha Sources", Nucl. Inst. Methods, B1, 13.
10. Dossantos, (1995), "Electronic Stopping Power of <100> Axial Channeled He Ions in Si Crystals", Nucl. Inst. Methods, B106, 51-54,.
11. Stafgo, M., (2003) "Interaction of Charged and Heavy Particles with Matter", Med. Phys. B 277, 391.
12. Settzer ,S.M. and Berger, M.J., (1982), Int. J. of Applied Rad. 33, 1189.
13. Bezrukov, L.B. , 2003, "Stopping Power and Range Tables for Alpha Particles", J. Appl. Phys. 59, 166.
14. Cember ,H., 1996, "Introduction to Health Physics", 3rd. Ed. Mc Graw-Hill, p 132.
15. Biersack, 2004, "Effective Ranges in Germanium Doped Bismuth and Aluminum", Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B180, 203.
16. Euler, (1972), "Electron Radiation Damage in Semiconductors and Metals", New York and London.
17. T. Nicholas, (1983), "Measurement and Detection of Radiation", University of Missouri-Rolla.
18. Oliver, (2000), "Alpha Range in Air", Nucl. Inst. Methods.
19. Zigler, G., (2001), "Stopping power and range in the charged particle (proton)", Phys. Rev. 1383, 64101.
20. Heller ,Z.H., (1951), "The Stopping Power of Metals and Semiconductors", Purdue University.
21. Stoll ,J., (2000), "Effective Range of Silicon Doped Arsenic in The Beta Particle". Nucl. Inst. Methods, 119, 325-330.
22. Hubert, R. (2000), "Germanium with Boron of Dopant in The Alpha Particle", Nucl. Inst. Methods, B17, 409-413.
23. Goulding, F. (2001), "Effective Range of Silicon Doped Boron in The Beta Particle", Rad. Effects, 104, 1-42.



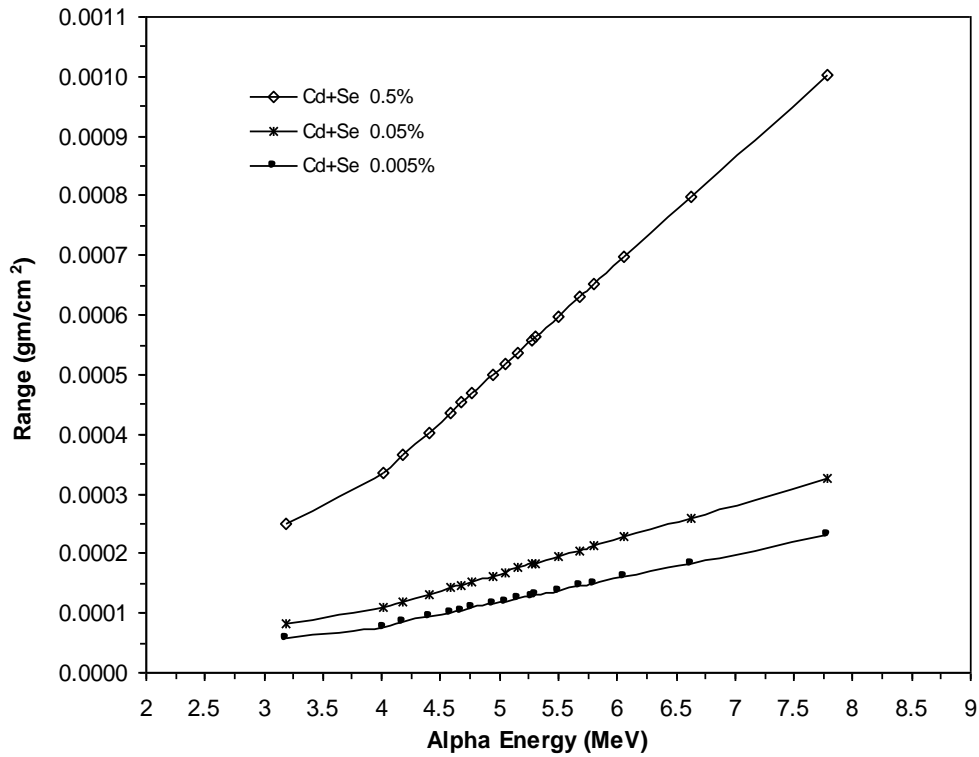
الشكل (2) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة الفا مع مدى جسيمات الفا في الهواء



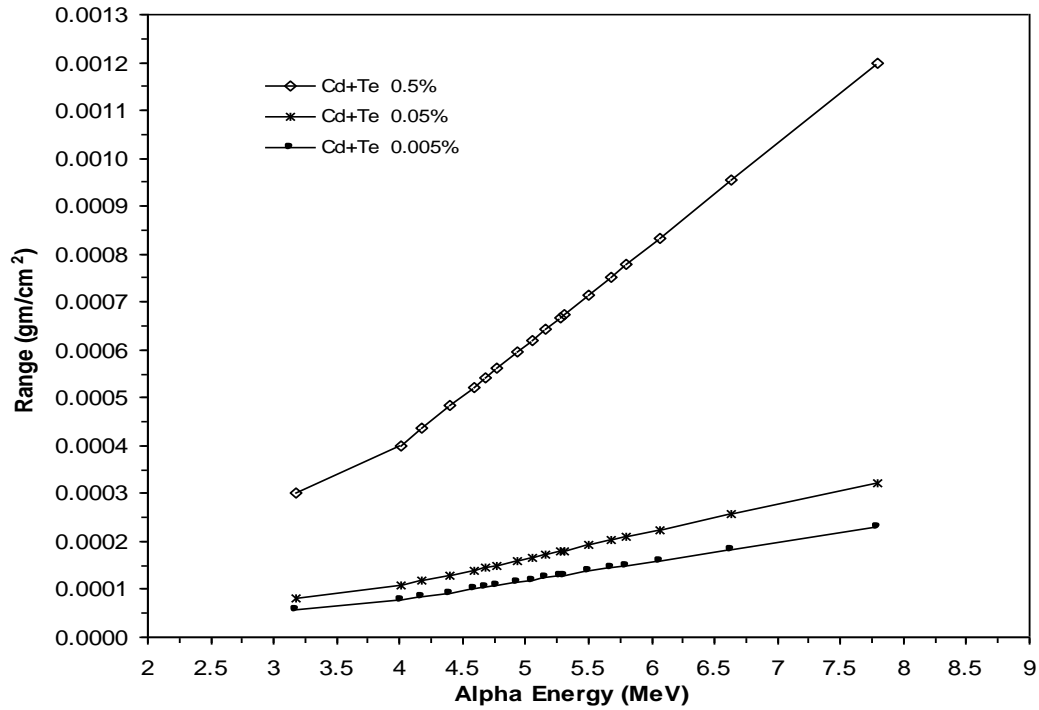
الشكل (3) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمات الفا مع مداها في الكاديوم النقي



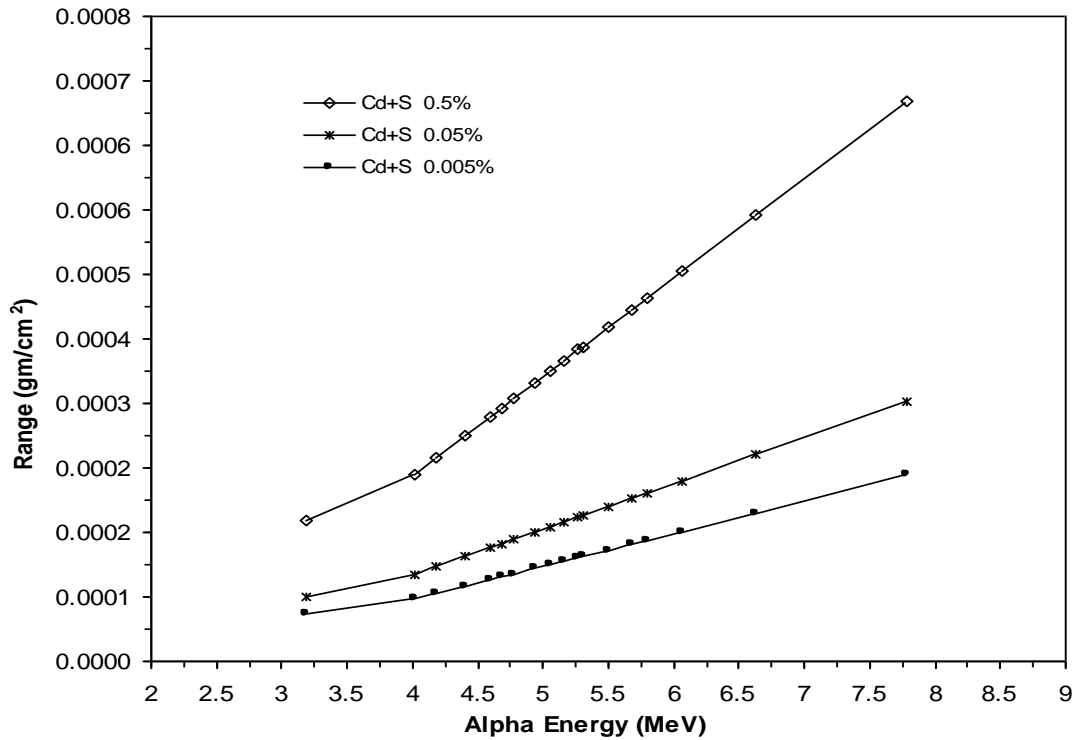
شكل (4) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمات بيتا مع مداها في الكاديوم النقي



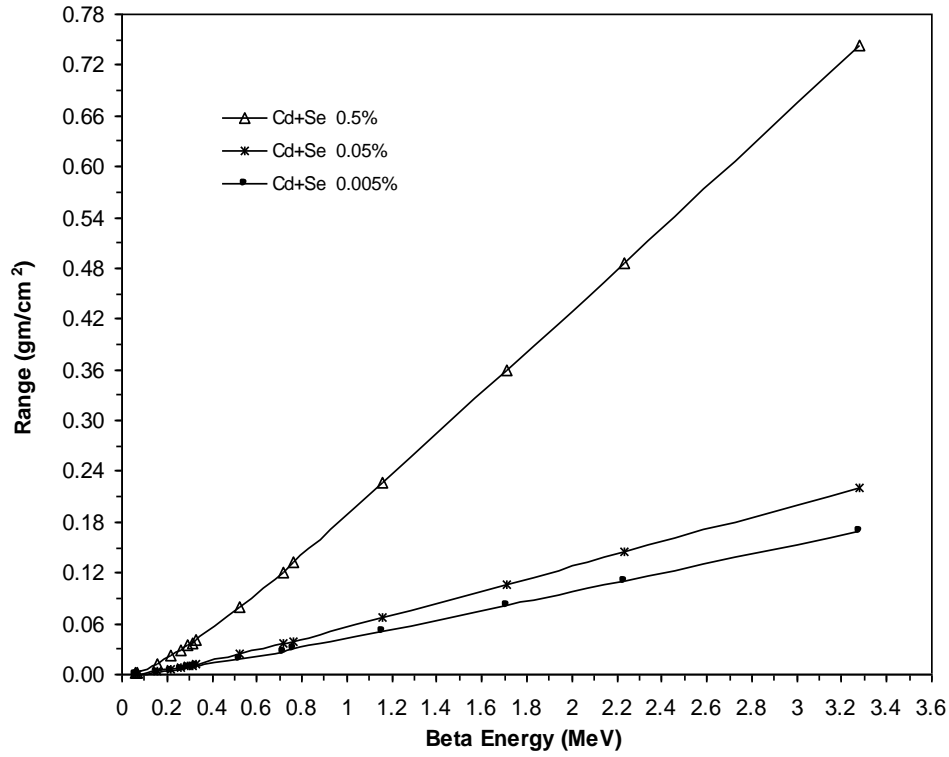
شكل (5) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمات الفا مع المدى المؤثر في الكاديوم المطعم بالسليينيوم



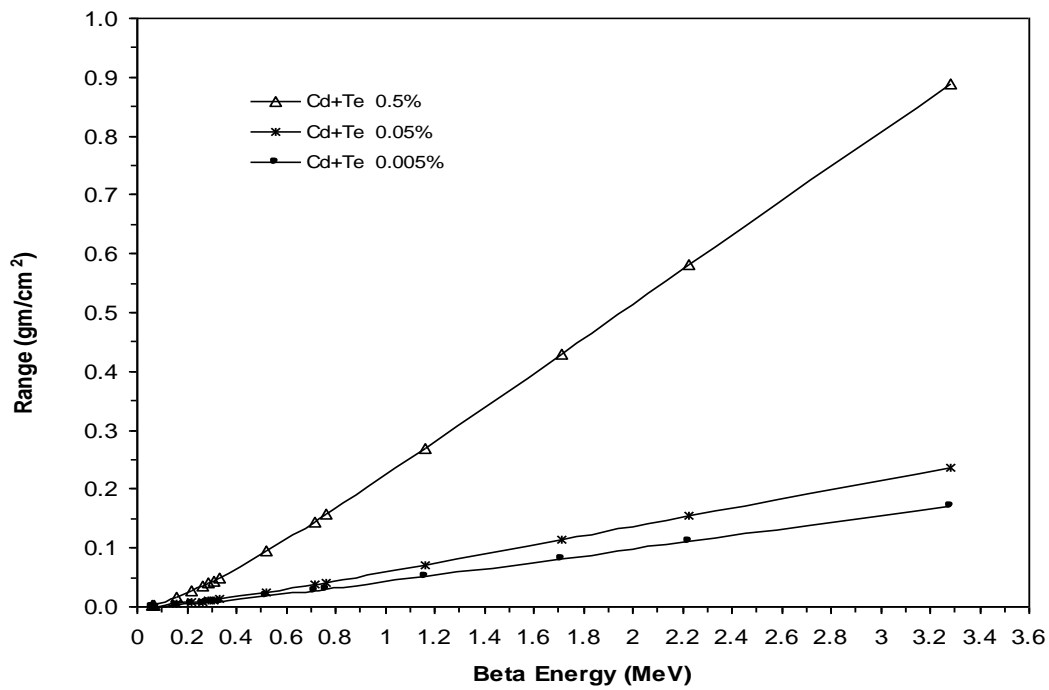
شكل (6) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمات الفا مع المدى المؤثر في الكاديوم المطعم بالتلوريوم



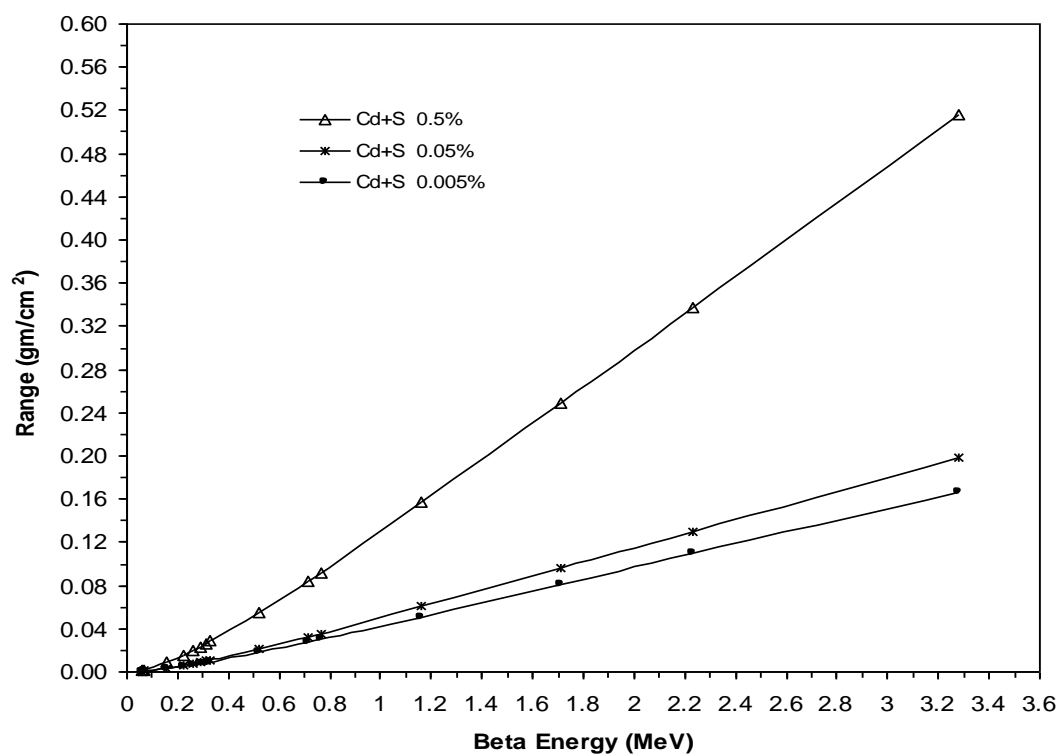
شكل (7) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمات الفا مع المدى المؤثر في الكاديوم المطعم بالكبريت



شكل (8) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمات بيتا والمدى المؤثر في الكاديوم المطعم بالسلينيوم



شكل (9) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمات بيتا والمدى المؤثر في الكاديوم المطعم بالتلوريوم



شكل (10) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمات بيتا والمدى المؤثر في الكاديوم المطعم بالكبريت