

دراسة قدرة إيقاف البروتونات و جسيمات الفا في بعض الأوساط المختلفة

راشد عويد كاظم
جامعة الكوفة / كلية التربية للبنات
rashid.alghanimi@uokufa.edu.iq

وفاء نصيف جاسم ابو رقيبة
جامعة الكوفة / كلية التربية للبنات
wafaansyaf@yahoo.com

الخلاصة

تم في هذا البحث حساب قدرة إيقاف البروتونات وجسيمات الفا خلال مرورها في بعض الأوساط الذرية الممثلة بالـ (اللانثانيوم La الذهب AU والبيورانيوم U) وبعض المركبات الممثلة بالـ (الماء H_2O والماليار $C_{10}H_8O_4$ والكتون $C_{22}H_{18}O_5N_2$) كما تم حساب قدرة الإيقاف للبروتونات وجسيمات الفا في تلك الأوساط الماصة بإدخال مفهوم الشحنة الفعالة وتمت برمجة المعادلات بالإعتماد على لغة Matlab, كما تم استخدام اداة مطابقة المنحنى Curve Fitting Tool. أظهرت النتائج إن قدرة الإيقاف للبروتونات وجسيمات الفا في تلك الأوساط تعتمد على طاقة الفزينة وطبيعة الوسط الماصل وحصلنا على توافق جيد بين نتائجنا النظرية ونتائج (Bichsel) (1992) بالنسبة للبروتونات ولجسيمات الفا في الأهداف الذرية المختلفة وكذلك مع نتائج برنامج SRIM2003 مع اختلاف عند الطاقات الواطئة وكذلك بينت النتائج التوافق الجيد بين نتائج هذه المعادلات المستخدمة في حساب قدرة الإيقاف لكل من البروتونات وجسيمات الفا في كل من الاهداف ($C_{22}H_{18}O_5N_2, C_{10}H_8O_4, H_2O$). كذلك لاحظنا التوافق الواضح بين النتائج النظرية ونتائج المستخرجة باستخدام اداة المطابقة عند الطاقة الأعلى من 0.6 MeV للبروتونات والأعلى من 5 MeV بالنسبة لجسيمات الفا في جميع الأوساط المستخدمة .

الكلمات المفتاحية: قدرة الإيقاف , عدد الإيقاف , الشحنة الفعالة , قاعدة برانك كليمان.

Studying of Stopping Power For Protons And Alpha Particles In Some Different Mediums.

Rashid Oweed Kadhim
Kufa University /College of Education

Wafaa Nsaif Jasim Abuirqebe
Kufa University /College of Education

Abstract:

In this researcher , calculaed stopping power for protons and alpha particles through these particles passing in some atomic medium which are (U , Au , La) and some compound which are (H_2O , $C_{10}H_8O_4$, $C_{22}H_{18}O_5N_2$) . As well as that we have been calculated the stopping power for protons and alpha particles in these mediums absorber by insert effective charge and by programming these equations for stopping power depended on Matlab Language and using Curve Fitting Tool . The results appear protons and alpha particles stopping power in these medium depend on the projectile energy and the absorber medium . we get a good agreement with ((1992)) Bichsel) results for protons and alpha particles in atomic medium and with SRIM2003 results but there is small different in the low energy . The results appear a good agreement with stopping power equations results for protons and alpha particles in (H_2O , $C_{10}H_8O_4$, $C_{22}H_{18}O_5N_2$) .So we note a good agreement between theoretical results and the results we get by using Curve Fitting Tool at the energy over than 0.6 MeV for protons and over than 5 MeV for Alpha particle in all using medium.

Key word:-stopping power ,stopping number ,effective charge, Bragg-Kleeman rule.

وجعلت كطريقة فيزيائية مهمة ، فضلا عن ذلك نظرية بور كان استعمالها لتضمين مدى شظايا الانشطار لكن المحاولات اللاحقة لتأسيس علاقات قياس إيقاف الأيونات الثقيلة بنيت من قبل Bethe بدلا من نظرية Bohr [5]، فنظرية Bohr تضمنت كل التفاعلات القريبة والبعيدة والتصادمات القريبة تعاملت معها كتفاعلات Free Coulomb Interaction كثولوم الحرجة بينما ارتبط الكترونات الهدف يأخذ بالنظر التفاعلات البعيدة وذلك من خلال التردد الكلاسيكي الرنيني [6]، وتبعدا لنظرية بور التصادم بين الأيون الساقط والكترونات وسط الإيقاف (التصادم الإلكتروني) يتم وصفه بواسطة المعالجة الكلاسيكية (Classical Treatment) والتي تعطى بالعلاقة التالية [4] :

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi Z_1^2 Z_2 e^4}{mv^2} L_{Bohr} \quad \dots\dots(2)$$

$$L_{Bohr} = \ln \frac{C m_e v^3}{Z_1 e^2 w} \quad \dots\dots(3)$$

L_{Bohr} : عدد الإيقاف لبور
 w : التردد الكلاسيكي الرنيني.

C : ثابت قيمته 1.229

من جانب آخر Bethe وجد أول حل تام لمسألة قدرة الإيقاف عند الطاقات العالية وذلك باستخدام تقرير بورون الأول ، وسع Bethe تلك الفكرة لتضم التصحيحات النسبية . وفرض إن الجسيمة تتفاعل مع الهدف فقط من خلال قوى الكترونية أي إن فقدان الطاقة بتفاعل الجسيمة مع نوى الهدف يكون مهمل [7] ولما كانت معادلة قدرة الإيقاف لـ [8] Bethe :

$$-\frac{dE}{dx} = K \frac{Z_1^2}{A\beta^2} Z_2 L_{Beth} \quad \dots\dots(4)$$

حيث ان:

$$K = \frac{4\pi e^4 N_0}{mc^2} = 0.307075 MeV/cm^2$$

$N_0 = 6.022134 \times 10^{23}$ atoms/mol : عدد افكاردو
 A : الوزن الذري للوسط الماصل .

L_{Beth} : عدد الإيقاف ليث و يمكن التعبير عنه كالتالي :

$$L_{Beth} = \ln \frac{2mc^2 \beta^2 \gamma^2}{I} - \beta^2 \quad \dots\dots(5)$$

حيث v/c = سرعة الضوء و I = جهد التأين
 بوحدات V و $\gamma = \frac{1}{1 - \beta^2}$

1- المقدمة: اختراق الجسيمات المشحونة للمادة أثار الاهتمام منذ الأيام المبكرة للفيزياء الذرية الحديثة ، وأول من درس تلك الظاهرة هو Niels Bohr الذي طور هيكلها النظري بالاعتماد على الميكانيك الكلاسيكي تبعه آخرون من استخدمو طرق الميكانيك الكمي والكلاسيكي لتوضيح ارتباط هذه الظاهرة بهذه المجال . فضلا عن ذلك فإن القيم النظرية لقدرة الإيقاف يمكن فهمها من خلال كون ظاهرة فقدان الطاقة لها الكثير من التطبيقات ليس في مجال الفيزياء وحسب وإنما يشمل مساحات واسعة من العلوم فلها تطبيقات طبية كاستخدام الإشعاع لمعالجة الأورام مع الحفاظ على صحة وحياة النسيج البشري وكذلك استخدامها في الفضاء والصناعة ومنها الأجهزة الإلكترونية وإنتج أحجزة أشباه الموصلات وبعض الشوائب تكون غير معروفة في المادة الأساسية ، تلك الشوائب مصدرها في منطقة ضيقة وعند عمق مناسب [1] . إن ميكانيكية فقدان الطاقة تعتمد على شحنة وسرعة الجسيم المشحون وطبيعة الوسط المادي [2] ، وبذلك يظهر اثر سرعة الفذيفية بالرغم من إن عملية اختراق الجسيمات المشحونة الثقيلة لمادة الهدف هو الموضوع المهم في حسابات المدى وقدرة الإيقاف للأيونات الثقيلة ، إلا انه بقيت هناك بعض التعقيدات حول معرفة حالة الشحنة للأيون المتفاعل مع مادة الهدف في حالة كونها مادة صلبة أو غازية [4,3] . إن الدراسات المبكرة لفقدان الطاقة للجسيمات المشحونة المختلفة للمادة توصلنا إلى الصيغة العامة لقدرة الإيقاف [1]:

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi e^4 N Z_2}{m_e v^2} Z_1^2 L \quad \dots\dots(1)$$

حيث إن :

الإشارة السالبة تشير الى النقصان في طاقة الجسيمة المشحونة المختلفة للمادة .

m_e : تمثل شحنة وكلة الإلكترون على التوالي .

v : تمثل سرعة الجسيم الساقط .
 Z_1 و Z_2 : العدد الذري للجسيم الساقط والهدف على التوالي .

N : الكثافة الإلكترونية الهدف .
 L : عدد الإيقاف .

2- النظرية: أول نموذج نظري لفقدان طاقة الجسيمات المشحونة المختلفة للمادة كان صيغة الإيقاف الكلاسيكية لـ Bohr سنة 1913 م في هذا النموذج انتقال الطاقة قسم إلى جزء نووي وجزء الكتروني وحسب باستخدام نظرية التشتيت الكلاسيكية [1]، بينما جاءت بعده نظرية Bethe كوصف لنظرية إيقاف جسيمات الفا

(dE/dx_p) هي قدرة إيقاف الوسط للبروتون . كما بالإمكان التعبير عن الشحنة الفعالة Z_1^* بمعامل الشحنة الفعالة γ_i و بشحنة الأيون : [11]

$$Z_1^* = \gamma_i Z_i \quad \dots \dots \quad (10)$$

في نظرية Bethe الأهداف فرضت كمادة تتألف من عناصر مستقلة لكن من جانب آخر للأهداف المركبة فإن قاعدة براك Bragg's Rule شائعة الاستعمال لحساب قدرة الإيقاف للمركبات طبقاً لنتائج القاعدة قدرة الإيقاف للمركب تحس بالجمع الخطى لقدرة إيقاف العناصر الفردية المكونة لها [12] أي للحصول على فقدان الطاقة في مخلوط أو مركب فإن الوسط الماصل بالإمكان التعامل معه بجعله طبقة رقيقة من عناصر نقية بالاعتماد على كثافة الكترونات الوسط الماصل : [11]

$$\frac{dE}{dx} = \sum_i \left(\frac{dE}{dx} \right)_i \quad \dots \dots \quad (11)$$

حيث المجموع يؤخذ لكل عناصر الوسط الماصل i تسلسل العنصر في المركب $\text{و } dE/dx_i$ قدرة الإيقاف للعنصر النقى i ، إن قاعدة براك دقيقة جداً للعناصر النسبية عندما التفاعل مع نوى العناصر يكون مهملاً لكن عند الطاقات الواطئة دقة قاعدة براك تكون محدودة لأن فقدان الطاقة للإلكترونات في أي مادة يعتمد على المدارات المنفصلة ونظم تأين المادة . أي في حالة المركب أو المخلوط المذكور من أكثر من عنصر بالإمكان استخدام قاعدة براك كليمان Bragg-Kleeman rule لحساب قدرة الإيقاف الكتيلية الكلية [14,12] :

$$\left[\frac{1}{\rho} \frac{dE}{dx} \right] = \sum_{i=1}^n \left[\frac{w_i}{\rho_i} \left(\frac{dE}{dx} \right)_i \right] \quad \dots \dots \quad (12)$$

حيث ان w_i و ρ_i هي نسبة تواجد العنصر وكثافة العنصر i في المركب على التوالي إن هذه القاعدة يمكن كتابتها بالشكل التالي [15,2] :

$$S(A_m B_n) = mS(A) + nS(B) \quad \dots \dots \quad (13)$$

حيث $S(A), S(B)$: تمثل قدرة الإيقاف لكل من العناصر A, B على التوالي و n, m عدد الذرات للعناصر A و B على التوالي . إذن من الممكن إعادة كتابة المعادلة (11) بالشكل التالي [12,2] :

$$S(\text{comp}) = \sum_i n_i S_i \quad \dots \dots \quad (14)$$

حيث i يمثل العنصر وبوحدات $\frac{\text{MeV.cm}^2}{g}$

فإن :

لقد تم الافتراض في البداية إن حالة الشحنة المقاسة للأيونات الخارجية من أهداف صلبة تكون أكبر بكثير من تلك الموجودة في أهداف غازية ولكن بعد ذلك أوضح Betz إن حال الشحنة داخل المواد الصلبة والغازية وبالعدد الذي نفسه تغيرها تكون مشابهة [9,4] في عملية تباطؤ الجسيم المشحون خلال مروره في الوسط المادي للاحظ إن القذيفة (الجسيم الساقط) تعاني من تغير في الشحنة وسبب ذلك يعود إلى إن هذا الجسيم المشحون سيتفاعل مع ذرات الكترونات من والتفاعل يكون بفقدان أو اكتساب الكترونات من وإلى الهدف وهذا التغير يمثل الشحنة الفعالة Z_1^* (Effective Charge) للجسيم الساقط (القذيفة) وتعتمد الشحنة الفعالة Z_1^* على سرعة الجسيم الساقط والتي تتناقص كلما زاد نفوذه في الوسط [10] . لقد اقترح Lamb بأن طاقات حزم الكترونات الجسيمية تؤثر ابتدأ في تحديد درجة تأين شظايا الانشطار في المادة بينما Bohr اقترح إن سرعة الإلكترونات المدارية هي المعامل الحرج ، وان Northcliffe فهم مفهوم كال التالي Bohr [7] :

$$\frac{Z_1^*}{Z_1} = 1 - \exp \left[\frac{-v}{v_o Z_1^{2/3}} \right] \quad \dots \dots \quad (6)$$

حيث ان :

v_o سرعة بور .

Z_1^* : هي صافي الشحنة على الأيون المتعادل جزئياً .

عند السرع العالية $Z_1^*/Z_1 = 1$ حيث الأيون ينفذ تماماً . حيث يمكن كتابة الشحنة الفعالة كالاتي :-

$$Z_1^* = Z_1 \left(1 - \exp \left[\frac{-v}{v_o Z_1^{2/3}} \right] \right) \quad \dots \dots \quad (7)$$

فإذا عوضنا عن Z_1 بـ Z_1^* في المعادلة (4) نحصل على

$$-\frac{dE}{dx} = K \frac{(Z_1^*)^2}{A \beta^2} Z_2 L_{Beth} \quad \dots \dots \quad (8)$$

إن نظرية الكم تطبق في المرتبة الأولى في حساب قدرة الإيقاف عندما $v > v_o Z_1^{2/3}$ ، إذ تعتمد قدرة

الإيقاف $\frac{dE}{dx}$ على Z_1^2 في السرع الواطئة تكون شحنة الجسيم الثقيل الساقط أقل من العدد الذي له (Z_1) بسبب التصادم وفقدان الألكترونات الذرية ، وقد عرفت الشحنة الفعالة على أنها [10] :

$$Z_1^* = \left[\frac{(dE/dx)_z}{(dE/dx)_p} \right]^{1/2} \quad \dots \dots \quad (9)$$

حيث $(dE/dx)_z$ هي قدرة إيقاف الوسط لليون .

ونتائج (Bichsel (1992)) عندما الطاقة تكون اكبر من 0.8MeV وذلك يعود للتأثير الضعيف للشحنة الفعالة في هذا المدى من الطاقة وتبعاً للنتائج عند الطاقة الأقل من 0.8MeV كما اظهر منحني المطابقة fit التطابق الواضح مع منحني قدرة الإيقاف الإلكتروني المحسوبة بأخذ تأثير الشحنة الفعالة بالنظر عند الطاقات الأعلى من 0.6MeV للبروتونات . إن قدرة الإيقاف الإلكترونية لجسيمات الفا الساقطة على الأهداف (La, Au) والذهب (Au) والليورانيوم (U) بمدى طاقة 1.6-100MeV تم حسابها من المعادلة (4) ليث مع حساباتنا النظرية المتمثلة بالمعادلة (8) . الشكل (2,a,b,c) يوضح توافق جيد لنتائجنا النظرية مع نتائج(Bichsel (1992)) [8] في حساب قدرة الإيقاف الإلكتروني لجسيمات الفا في الأهداف (U, Au, La) وكذلك توافق لنتائجنا النظرية مع نتائج المعادلة (4) ليث كما نلاحظ انه بزيادة الطاقة تبدأ قدرة الإيقاف الإلكترونية بالتناقص كما يبينه الشكل (2,a,b,c) وتظهر هذه الأشكال توافقاً جيداً مع نتائج برنامج SRIM2003 عند الطاقات الأكبر من MeV 1.2 وكذلك منحني المطابقة fit مع منحني قدرة الإيقاف الإلكترونية لجسيمات الفا بأخذ الشحنة الفعالة بينما تتبعاً هذه المنحنيات عند الطاقات الأقل من ذلك لأنتمام قدرة الإيقاف على العدد الذري للوسط الماصل لقد تم حساب قدرة الإيقاف الإلكترونية للبروتونات المارة في الماء والمایلر والكتيون التي تعد بلاستيك باستثناء الماء ضمن مدى الطاقة 100-0.3 MeV من خلال استخدام المعادلات (4) ليث والمعادلة (8) التي أعتمدناها في حساباتنا النظرية لحساب قدرة الإيقاف الإلكترونية (بإدخال مفهوم الشحنة الفعالة من المعادلة (7)). يظهر الشكل (3,a,b,c) مقارنة بين نتائجنا النظرية لقدرة إيقاف البروتونات في كل من الماء والمایلر والكتيون من المعادلة (8) حيث يظهر توافقاً جيداً بين نتائجنا النظرية لقدرة الإيقاف الإلكترونية و النتائج المستحصلة من معادلة بيث بعد إدخالها في المعادلة (13) لبراك للمركيبات الثلاثة وبين منحني المطابقة fit للبروتونات في هذه المركيبات . باستخدام الطريقة نفسها المستخدمة في حساب قدرة إيقاف البروتونات في (الماء والمایلر والكتيون) تم حساب قدرة الإيقاف الإلكترونية لجسيمات الفا المارة في هذه المركيبات ضمن مدى الطاقة 100-0.3 MeV . الشكل (4,a,b,c) يظهر قدرة الإيقاف الإلكترونية لجسيمات الفا المارة في هذه المركيبات الثلاثة (الماء والمایلر والكتيون) الناتجة من حساباتنا النظرية باستخدام مفهوم الشحنة الفعالة من المعادلة (8) بعد إدخالها في معادلة براك (13) حيث تتطابق بشكل مناسب مع قدرة الإيقاف الإلكترونية ليث (4) بعد إدخالها

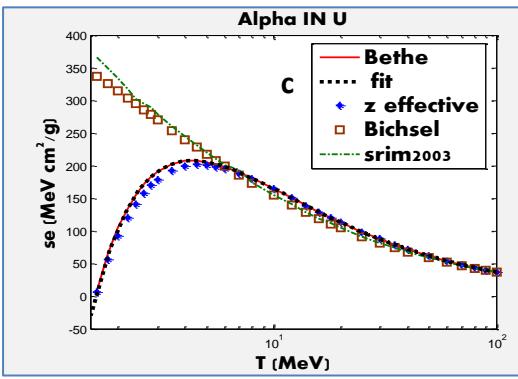
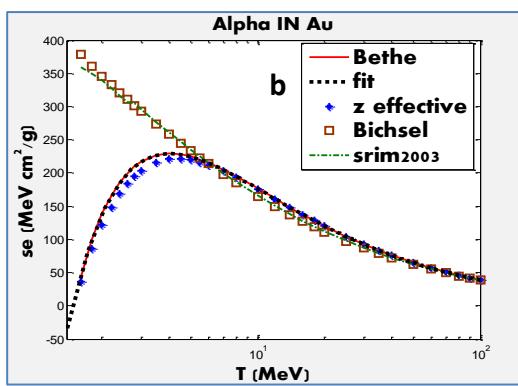
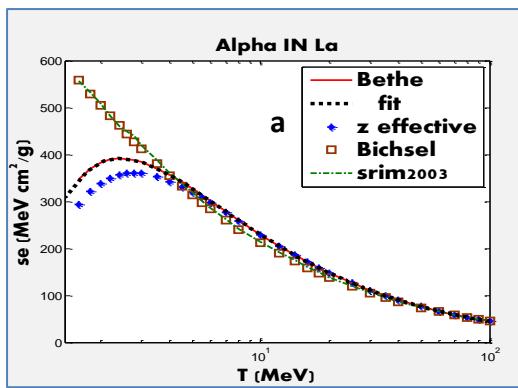
$$S_{comp} = \sum_i w_i S_i \dots \dots (15)$$

حيث إن $w_i = n_i A_i / A_c$ في المركب و A_i الوزن الذري للعنصر i و A_c هي الوزن الذري للمركب والتي تساوي $S_c = \sum_i n_i A_i$

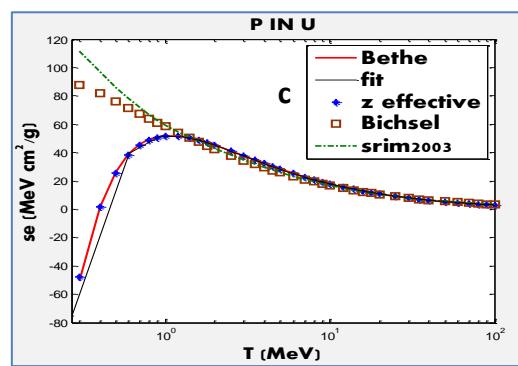
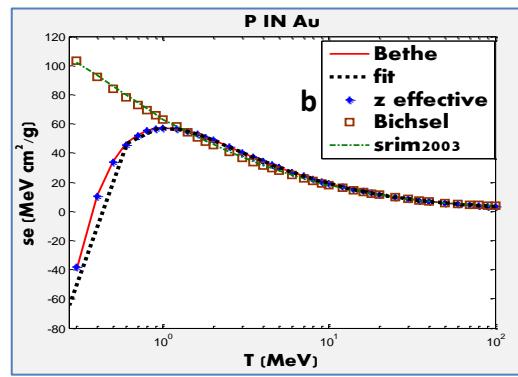
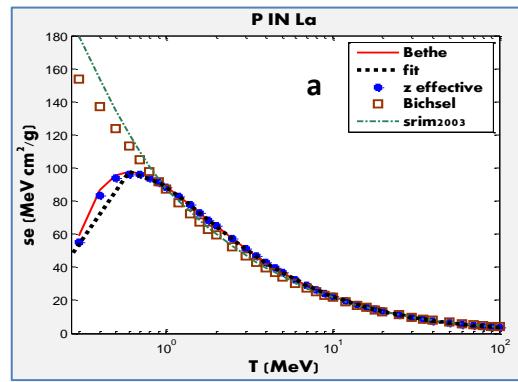
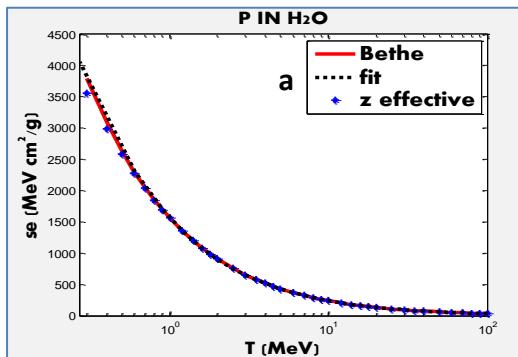
للعنصر c في المركب S_{comp} تمثل قدرة الإيقاف الكتالية للمركب . برغم من التطبيق الواسع للأهداف المركبة ، تكون قاعدة براك غير كافية وغير مناسبة لحساب فقدان الطاقة أسفل منطقة بيث للإيقاف (عندما سرعة المقذفة ليست عالية بشكل كافي لتطبيق في تقريريات بيث) وكذلك عندما يكون نظام المقذفة- الهدف projectile -Target خيفي . أي انه في الطاقات الواطئة نجد ان تطبيق قاعدة الجمع لا يعطي قيمة صحيحة او دقة وذلك لأن قاعدة الجمع تهمل تأثير الحالة الفيزيائية وتأثير نوع الاصارة الكيميائية الرابطة ، كما ان صحة و دقة نتائج قاعدة براك محددة ضمن مدى طaci محدد حيث تكون النتائج جيدة عند الطاقات العالية >> (1MeV/amu)E و تكون الكترونات ذرات الهدف غير مقيدة وتسهم بنفس المقدار في عملية فقدان الطاقة .

3- النتائج والمناقشة : تم حساب قدرة الإيقاف الإلكترونية لكل من البروتونات وجسيمات الفا المارة في الأوساط الذرية (اللانثانيوم La و الذهب Au و الليورانيوم U) ومن ثم حساب قدرة الإيقاف الإلكترونية أيضاً للبروتونات و لجسيمات الفا المارة في كل من الماء و المایلر والكتيون من خلال برنامج بلغة Matlab وتم رسم بيانات قدرة الإيقاف كدالة لطاقة الجسيمة الساقطة باستخدام نفس البرنامج واستخدمت اداة المطابقة للمنحنى المحسوبة وكذلك تم الاستعانة ببيانات برنامج SRIM2003 وتطبيقاتها في برنامج Matlab لعرض المقارنة بها مع النتائج المحسوبة من المعادلة (4) . ان قدرة الإيقاف الإلكترونية للبروتونات المارة خلال الأهداف (اللانثانيوم La والذهب Au و الليورانيوم U) في حدود مدى الطاقة 0.3-100MeV (4) ليث مع الأخذ بالنظر تأثير الشحنة الفعالة المتمثلة بالمعادلة (8) وذلك باستبدال العدد الذري للجسيمة الساقطة Z_1 ب Z_1^* وتمت عملية حساب قدرة الإيقاف ورسمها كدالة لطاقة الجسيمة الساقطة (البروتونات) . الشكل (1,a,b,c) يوضح مقارنة بين نتائج قدرة الإيقاف الإلكترونية من المعادلة (4) ليث مع الحسابات النظرية المتمثلة بالمعادلة (8) في حساب قدرة الإيقاف الإلكترونية للبروتونات الساقطة على الأهداف (U, Au , La) (ومقارنتها بنتائج Bichsel (1992) [8] ونتائج SRIM2003 وبينت SRIM2003 النتائج توافقاً جيداً مع نتائج برنامج SRIM2003)

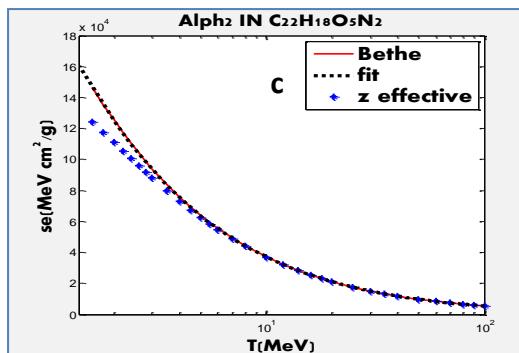
أيضا في معادلة براك وتطابق مع منحني المطابقة fit لهذه النتائج .



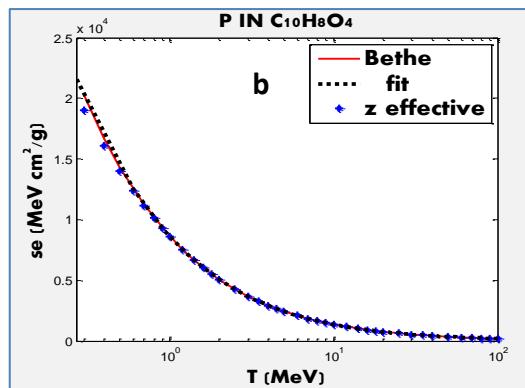
الشكل (2,a,b,c) يوضح قدرة إيقاف جسيمات الفا في كل من (La, Au , U)



الشكل(1,a,b,c) يوضح قدرة إيقاف البروتونات في كل من (La, Au , U)



الشكل (4,a,b,c) يوضح قدرة إيقاف جسيمات الفا في كل من(الماء, المايير, الكربون)



4- الاستنتاج :

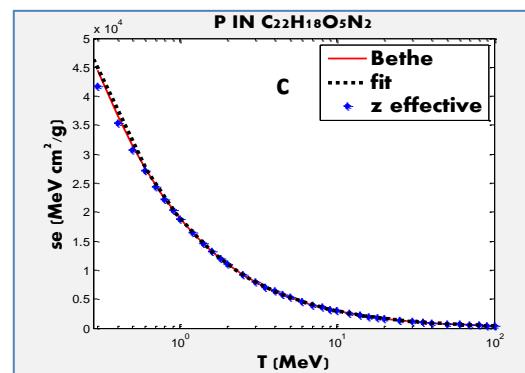
من خلال حساباتنا النظرية لقدرة الإيقاف يمكن الاستنتاج بأن :

1- أعلى قيمة لقدرة الإيقاف تحصل في حدود الطاقات الواطئة وان قدرة الإيقاف تتناقص مع زيادة طاقة الجسيمة المشحونة الساقطة .

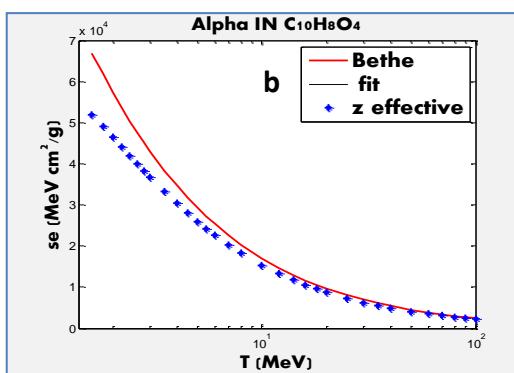
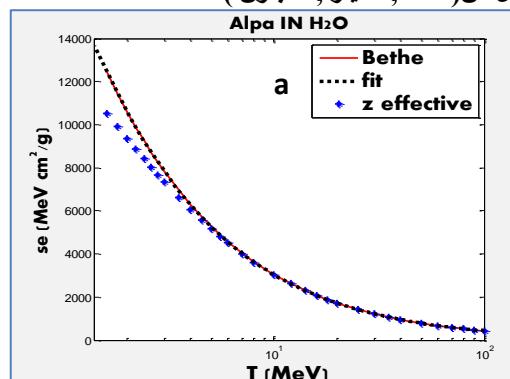
2- من الأشكال أعلاه نجد انه عند الطاقة العالية منحنيات قدرة الإيقاف من المعادلات (4 و 8) تقارب وعند الطاقات الواطئة تبتعد عن منحنيات SRIM2003 .

3- من حسابات قدرة الإيقاف بأخذ تأثير الشحنة الفعلة نلاحظ تأثيرها على النتائج ولاسيما عند الطاقات الواطئة حيث إن الشحنة الفعلة تزداد أهميتها في هذه المنطقة نتيجة لعمليات القنص والفقد الإلكتروني .

4- من منحنيات قدرة إيقاف البروتونات وجسيمات الفا في الأوساط الذرية نلاحظ إن هذه المنحنيات تتبع من بعضها عند الطاقات الواطئة اي السرعة الواطئة وهذا يعود إلى ان مساهمة التصادمات القريبة والبعيدة يكون اكبر في الطاقة الواطئة مقارنة بمساهمتها في الطاقة العالية اضافة الى اهمية اخذ الشحنة الفعلة بنظر الاعتبار في الطاقات الواطئة بينما النسبة العكسي في كل الرسومات يعزى تفسيره الى ان الجسيم الساقط كلما كانت طاقته عالية كلما كان زمن التفاعل قليل وفقدان الطاقة يكون قليل .



الشكل (3,a,b,c) يوضح قدرة إيقاف البروتونات في كل من(الماء, المايير, الكربون)



المصادر

Elements , Physical Review A ,Vol.54, No.4 ,(1992)

[9] Sigmund , P. and Schinner, A ., Nonperturbative Theory of Charge – Dependent Heavy –Ion Stopping ,*Physica Scripta* .T92 ,(2001) .

[10] Al -Da'amy,S. A., Quantum and Classical of Electronic Stopping for the Cluster Ions , M.Sc. Thesis , Al-Mustansiriyah University ,(2008) .

[11] Ivanchenko , V. , et al, ,Hadron and Ion Ionization , Physics Reference Manual (2007)249-259.

[12] Tufan , M.C. and Gumus , H. , Stopping Power Calculations Of Compounds By Using Thomas – Fermi – Dirac – Weizacker Density Frunctional ,*Acta physica Polonica A* ,Vol. 114,No.4 ,(2008) .

[13] Groom , D . E , el al , Muon Stopping Power And Range Tables 10MeV – 100 TeV , Atomic Data And Nuclear Data Tables , Vol. 76 ,No. 2 ,(2001) .

[14] Ahmed , S.N. , physics and Engineering of Radiation , Queen's University Kingston , Ontario (2007) 114 .

[15] Semrad R.,D. and Aumayr , F. ,Electronic Stopping In He –H₂ Mixture Substantially Exceeds Bragg's Rule Value ,*physical Review* ,Vol.76 ,No.76 , No. 17 (1999) .

References:

[1]Csete,A.,Experimental Investigations of The Energy Loss of Slow Protons and Antiprotons in Matter , M.Sc. Thesis , Instute of Physics And Astronomy , University of Aarhus (2002) 1-8 .

[2] Aziz,S.A. ,Chemical Effect On Bethe – Bloch Stopping Formula , M.Sc. Thesis , Al- Mustansiriyah University (2000).

[3] Al Rubyi, A. A.,Increase The Range of Stopping power for Energies $1 < E(\text{MeV/u}) \leq 0.1$, M.Sc. Thesis , Al-Mustansiriyah University (1999) .

[4] Lindhard, J. ,The Barkas Effect – Or Z_1^3,Z_1^4 – Corrections to Stopping Power Of Swift Charged Particles , Nucl. Inst .and Math.132,(1976) 1-5.

[5] Sigmund,P. and Schinner, A. , Heavy – Ion Stopping : Bohr Theory Revisited *Physical Review*, (2000)1.

[6] Sigmund, P. , Low –speed Limit Of Bohr's Stopping Power Formula , *Physical Review A* ,Vol.54 , No.4 , (1996) .

[7] Ziegler , J.F. ,The Stopping Of Energetic Light Ion In Elemental Matter , *J.Appl. phys.* 85 ,1249-129 (1999) .

[8] Bichsl, H ., Stopping Power And Ranges Of Fast Ions In Heavy