

*حساب قدرة إيقاف الألكترونات للجسيمات المشحونة باستخدام عامل التصادم

تاريخ القبول: 2013\12\8

تاريخ الاستلام: 2013\6\19

شهلة عبد السادة كاظم

راشد عويد كاظم

قسم الفيزياء - كلية التربية للبنات - جامعة الكوفة

الخلاصة :-

قد تم إجراء دراسة نظرية في هذا البحث لحساب قدرة إيقاف الألكترونات باستخدام معادلة Bohr والمعادلة الناتجة من جمع التصادمات القريبة والتصادمات البعيدة المعتمدة على عامل التصادم للجسيمات المشحونة (أيونات الكربون والبروتونات) الساقطة على المركبات العضوية: [polypropylene (C_3H_6 ; $\rho=0.9 \text{ gm/cm}^3$), Polycarbonate ($C_{16}H_{14}O_3$; $\rho =1.2 \text{ gm/cm}^3$), Polyvinylalcohol (C_2H_4O ; $\rho =1.3 \text{ gm/cm}^3$), Polyvinylacetate ($C_4H_6O_2$; $\rho=1.19\text{gm/cm}^3$)] باستخدام قاعدة براك مرة وأخرى باستخدام النسبة $\left(\frac{Z}{A}\right)$ ، ضمن مدى الطاقة [0.01-1000] MeV .

لقد تم برمجة تلك المعادلات بطرق رياضية ونفذت ببرنامج حسابي مكتوب بلغة Matlab للحصول على النتائج النظرية المطلوبة والتي تم توضيحها كرسوم بيانية . وقورنت النتائج مع نتائج برنامج ال- SRIM 2012 لحساب قدرة إيقاف تلك المركبات فأظهرت توافق جيد معها.

كلمات مفتاحية : قدرة إيقاف الألكترونات ، عامل التصادم ، إيقاف المركبات .

1- المقدمة :

عندما تدخل الجسيمات المشحونة السريعة في الوسط المادي فإنها تتفاعل مع الألكترونات و النوى في الوسط . وتبدأ يفقد الطاقة كلما اخترقت ذلك الوسط . التفاعل عموماً يمكن أن يخمن كتصادمات بين الجسيمات المشحونة و الإلكترون النزي أو النوى . الطاقة التي بعثت سوف تنتج تأين، إنتاج أزواج أيون - إلكترون في الوسط ، كذلك يمكن أن تظهر بهيئة إشعاع كهرومغناطيسي ، او العملية المعروفة Bremsstrahlung (أشعة الكبح) [1] . الهدف الأساسي من الفهم النظري لهذه العمليات هو تنبؤ معدل نسبة الطاقة المفقودة للجسيمة لكل وحدة مسافة انتقال كدالة لطاقة الجسيمة ، هذه الكمية الأساسية تدعى قدرة إيقاف المادة لتلك الجسيمة Stopping Power والتي يرمز لها $-\frac{dE}{dx}$ ويعبر عنها بوحدات MeV.cm^{-1} [1,2]. قسمة قدرة الايقاف على كثافة المادة ρ تعطي علاقة وثيقة الصلة بها : قدرة الإيقاف الكتلية Mass Stopping Power $\left(-\frac{dE}{\rho dx}\right)$ ويعبر عنها ب $\text{MeV.cm}^2.\text{g}^{-1}$ [2].

Theory :2- النظرية :

هناك تقريبان أساسيان لحساب خسارة (انتقال) طاقة الجسيمة الى الكترونات الهدف .هما تقريب بور Bohr الذي يعتمد على عامل التصادم ، وتقريب بيتث Bethe الذي يعتمد على انتقال الزخم من الجسيمة الى الكترونات الهدف [3] .

حيث وضع بور اول صيغة حسابية نظرية لقدرة الإيقاف مستنداً على الميكانيك الكلاسيكي عام 1913 و اعتبر خسارة طاقة جسيمة مشحونة ثقيلة نشيطة بسبب تصادمها مع الكترونات الذرة وإن الإلكترون بعد تقريباً حر وساكن قبل التصادم مع الايون السريع [2].

تقريب بور اعتبر جسيمة مشحونة ثقيلة شحنتها Z_1e ، سرعتها v مرت بالقرب من إلكترون خفيف شحنته e وكتلته m عند عامل التصادم p [3].

*البحث مستل من رسالة ماجستير للباحث الثاني

يعرف عامل التصادم p بأنه اقصر مسافة مستقيمة بين المسار المستقيم للأيون الساقط و الهدف [4].

الشكل (1) يصور مسار الأيون المتحرك خلال وسط منتظم بسرعة v ويمر بشكل هندسي على مسافة (p) (أو ما يدعى عامل التصادم) من الكثرونات في قشرة اسطوانية حلقيية رقيقة سمكها db وطولها dx [1].

دفع الزخم المنتقل ΔP إلى الإلكترون الحفيف يساوي [3] :-

$$\Delta P = \int_{-\infty}^{\infty} e \bar{E}(t) dt = \frac{2Z_1 e^2}{bv} \dots \dots \dots (1)$$

حيث \bar{E} المجال الكهربائي المنتقل. إذن الطاقة المنتقلة :-

$$\Delta E = \frac{(\Delta P)^2}{2m} = \frac{2Z_1^2 e^4}{mv^2} \left(\frac{1}{p^2} \right) \dots \dots \dots (2)$$

هذا التعبير يفترض بأن الإلكترون لا يتحرك كثيراً نسبة إلى عامل التصادم p . للحصول على قدرة الإيقاف S ، الطاقة المنتقلة يجب تكامل على كل عوامل التصادم الممكنة. على فرض إن الهدف مكون من ذرات عددها الذري Z_2 :

$$S = 2\pi Z_2 \int \Delta E(p) p dp \dots \dots \dots (3)$$

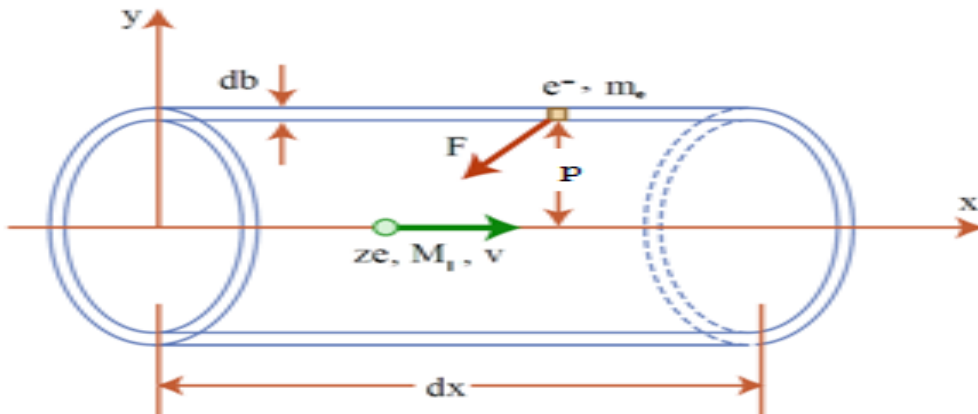
الشكل (1)

نعوض معادلة (2) في (3) نحصل على :-

$$S = 4\pi Z_2 \frac{Z_1^2 e^4}{mv^2} \int_0^{\infty} \frac{1}{p^2} p dp \dots \dots \dots (4)$$

التكامل يتباعد عندما $P \rightarrow 0$ ، لذا من الضروري أن نقتنع بان اصغر عامل تصادم هو p_{min} . إذا افترض إن كتلة الإلكترون صغيرة جداً مقارنة بكتلة الجسيمة الساقطة، فالإلكترون سوف يرتد لعامل تصادم صغير جداً. لاحظ أعظم انتقال طاقة عند التصادم المباشر، نحن قد نستعمل استطرارة رذرفورد المرنة لجسمين لتخمين المسافة الأقرب لتقريب التصادم المباشر، هذا يعطي اصغر مسافة $p_{min} \sim \frac{Z_1 e^2}{mv^2}$.

التكامل كذلك يصبح غير معرف عندما $P \rightarrow \infty$ ، يمكن أن تكون سلسلة عند ملاحظة بأن للتصادمات



البعيدة إذا التفاعل طويل مقارنة بالتردد المداري للإلكترون ω ، فالتصادم سيصبح أدبياتيكي ولا طاقة ستنتقل .
هذا يوحي بقطع عندما زمن التصادم طويل مقارنة بالتردد المداري ، $P_{max} \sim \frac{v}{\omega}$.

بتعويض P_{max} ، P_{min} في معادلة (5) :-

$$S = 4\pi Z_2 \frac{Z_1^2 e^4}{mv^2} \ln \frac{P_{max}}{P_{min}} \dots \dots \dots (5)$$

خسارة الطاقة تصبح :-

$$\frac{dE}{dx} = S = 4\pi Z_2 \frac{Z_1^2 e^4}{mv^2} \ln \frac{mv^3}{Z_1 e^2 \omega} \dots \dots \dots (6)$$

بور استعمل هذا التعبير لتشكيل الأساس لحساب خسارة الطاقة لجسيمة ثقيلة في وسط من الالكترونات مرتبطة توافقياً [3] .

ومن النظريات الأساسية :-

نظرية بور Bohr Theory :-

اشتق بور صيغة المقطع العرضي للإيقاف لكل إلكترون هدف (شحنته $-e$, كتلته m) من المادة [5]

$$S = \frac{4\pi Z_1^2 e^4}{mv^2} \ln \frac{cmv^3}{Z_1 e^2 \omega} \dots \dots \dots (7)$$

حيث $c = 1.1229 = 2e^{-\gamma}$ وان $\gamma = 0.5772$ ثابت اويلر

و $L_{Bohr} = \ln \frac{cmv^3}{Z_1 e^2 \omega}$ عدد ايقاف بور [6] .

$$S = \frac{4\pi Z_1^2 e^4}{mv^2} L_{Bohr} \dots \dots \dots (8)$$

وان نتيجة بور تتحقق عند الشرط $\kappa = \frac{2Z_1 v_0}{v} > 1$.

حيث $v_0 = \frac{c}{137}$ سرعة بور κ

. [5] سرعة الضوء $c = 3 \cdot 10^8 \text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$.

نظرية بيت Bethe Theory :-

اشتق بيت صيغة مماثلة لصيغة بور لقدرة الإيقاف الالكترونية للجسيمات المشحونة الثقيلة معتمداً على الميكانيك الكمي حيث حسب المقطع العرضي التفاضلي باستخدام تقريب بورن الأول لاستطارة الايون [2] :-

$$\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi e^4 Z_1^2 N}{mc^2 \beta^2} L_{Bethe} \dots \dots \dots (9)$$

N عدد الالكترونات لوحدة الحجم

m كتلة الإلكترون السكونية

$$\beta = \frac{v}{c}$$

$$L_{\text{Bethe}} = \ln \frac{2mv^2}{I}$$

$$I = \hbar\omega$$

معدل جهد التأين، $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ ، h ثابت بلانك

وبأخذ التصحيحات النسبية فان عدد التوقف لإلكترون الهدف يوصف بالمعادلة الآتية [7]:

$$L_{\text{Bethe}} = \ln \left[\frac{2mc^2\beta^2}{1-\beta^2} \right] - \beta^2 - \ln I$$

ويمكن كتابة قدرة الإيقاف لـ (Bethe) بالشكل الآتي :

$$\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi e^4 Z_1^2 N}{mc^2 \beta^2} L_{\text{Bethe}} \dots \dots \dots (10)$$

إن نظرية بيث للإيقاف تكون صحيحة عندما سرعة الجسيمة الساقطة أعلى من سرعة بور [8].

$$\kappa = \frac{2Z_1 v_0}{v} \ll 1$$

وتطبق معادلة بيث بالاعتماد على الشرط

أما بالنسبة للتصادمات القريبة (Close Collisions) والتي تم الافتراض إنها تخضع لقانون استطرارة كولوم الحرة (Free Coulomb Scattering) فان حساب فقدان الطاقة يتم من خلال استطرارة الإلكترونات الذرية بواسطة الجسيم الساقط، وبما أن الجسيم المشحون الساقط سوف يفقد طاقته خلال هذه العملية، لذلك فإن الطاقة المنتقلة إلى ذرة الهدف كدالة لعامل التصادم (p) تعطى بالعلاقة الآتية [5] :-

$$T_{\text{close}} = \frac{2Z_1^2 e^4}{mv^2 p^2} \frac{1}{1 + (b/2p)^2} \dots \dots \dots (11)$$

حيث أن :

T_{Close} : تمثل الطاقة المنتقلة الى ذرة الهدف كدالة عامل التصادم

$$b = \frac{2Z_1 e^2}{mv^2}$$

(Collision Diameter) قطر التصادم

إن المعادلة (11) مشتقة مباشرة من قانون رذرفورد ($\tan \theta/2 = b/2p$) و ($T = 2mv^2 \sin^2 \theta/2$) حيث إن θ زاوية استطرارة مركز الكتلة (The center- of -mass Scattering Angle).

أما التصادمات البعيدة (Distant Collisions) فتكون فيها الإلكترونات الذرية غير حرة، أي أنها ناتجة من ترابط الكتلونات الهدف من خلال التردد الكلاسيكي (ω) وان الطاقة المنتقلة إلى الكتلونات ذرة الهدف كدالة لعامل التصادم (p) (Impact Parameter) تعطى بالعلاقة الآتية [5] :-

$$T_{\text{dist}} = \frac{2Z_1^2 e^4}{mv^2 p^2} \left\{ \left[k_0 \left(\frac{\omega p}{v} \right) \right]^2 + \left[k_1 \left(\frac{\omega p}{v} \right) \right]^2 \right\} \dots \dots \dots (12)$$

k_0 و k_1 تمثل دوال بيسل المعدلة (Modified Bessel Functions)

وبما إن قدرة الإيقاف تعرف بدلالة الطاقة المنتقلة (Energy transformation) وعامل التصادم p وفق المعادلة الآتية [5] :-

$$S_{tot} = \int_0^{\infty} 2\pi T(p) dp \quad \dots \dots \dots (13)$$

وإن :

$$S_{tot} = S_{close} + S_{dist} \quad \dots \dots \dots (14)$$

$$= \int_0^{p_0} 2\pi p dp T_{close}(p) + \int_{p_0}^{\infty} 2\pi p dp T_{dist}(p) \quad \dots \dots \dots (15)$$

حيث أن الحد الأول من المعادلة (15) يمثل التصادمات القريبة والحد الثاني يمثل التصادمات البعيدة، و (p_0) هو عامل التصادم الحرج الذي يفصل التصادمات القريبة من التصادمات البعيدة والذي عنده تكون الطاقة المنتقلة للتصادمات القريبة T_{close} مساوية للطاقة المنتقلة للتصادمات البعيدة T_{dist} :-

وبتعويض المعادلتين (11) و (12) في (15) وإجراء التكامل نحصل على :-

$$S_{close} = \frac{2\pi Z_1^2 e^4}{mv^2} \ln \left[1 + \left(\frac{2p_0}{b} \right)^2 \right] \quad \dots \dots \dots (16)$$

$$S_{dist} = \frac{4\pi Z_1^2 e^4}{mv^2} \left(\frac{\omega p_0}{v} \right) K_0 \left(\frac{\omega p_0}{v} \right) K_1 \left(\frac{\omega p_0}{v} \right) \quad \dots \dots \dots (17)$$

$$L_{close} = \ln \left[1 + \left(\frac{2p_0}{b} \right)^2 \right] \quad \dots \dots \dots (18)$$

$$L_{dist} = \left(\frac{\omega p_0}{v} \right) K_0 \left(\frac{\omega p_0}{v} \right) K_1 \left(\frac{\omega p_0}{v} \right) \quad \dots \dots \dots (19)$$

ويمكن إعادة كتابة المعادلتين (16) و (17) بالصيغة الآتية:

$$S_{close}(p) = \frac{2\pi Z_1^2 e^4}{mv^2} L_{close} \quad \dots \dots \dots (20)$$

$$S_{dis}(p) = \frac{4\pi Z_1^2 e^4}{mv^2} L_{dis} \quad \dots \dots \dots (21)$$

وبتعويض قيم m و e (كتلة وشحنة الإلكترون) والعلاقة $\beta = \frac{v}{c}$ في المعادلتين (20) و (21) نحصل على المعادلتين التاليتين بوحدة (MeV cm² /mg) :

$$S_{close} = 0.307075 \left(\frac{Z_1^2}{\beta^2} \right) \left(\frac{Z_2}{a_2} \right) \times \frac{1}{2} \ln \left(1 + \left(\frac{2p_0}{b} \right)^2 \right) \quad \dots \dots \dots (22)$$

$$S_{dis} = 0.307075 \left(\frac{Z_1^2}{\beta^2} \right) \left(\frac{Z_2}{a_2} \right) \left(\frac{\omega p_0}{v} \right) K_0 \left(\frac{\omega p_0}{v} \right) K_1 \left(\frac{\omega p_0}{v} \right) \dots \dots \dots (23)$$

ومن جمع هاتين المعادلتين نحصل على المعادلة الكلاسيكية العامة لحساب المقطع العرضي للإيقاف التي تم الاعتماد عليها في حساباتنا النظرية:

$$S_{tot} = 0.30707 \left(\frac{Z_1^2}{\beta^2} \right) \left(\frac{Z_2}{a_2} \right) L_{tot} \dots \dots \dots (24)$$

عدد الإيقاف الكلي للمعادلة (24) يعطى بالعلاقة الآتية:

$$L_{tot} = \frac{1}{2} \ln \left(1 + \left(\frac{2p_0}{b} \right)^2 \right) + X K_0(X) K_1(X) \dots \dots \dots (25)$$

حيث $X = \frac{\omega p}{v}$

Bragg's Rule

قاعدة براك

في حالة المركب أو الخليط المتكون من أكثر من عنصر، يتم التعامل على انه مكون من طبقات رقيقة من العناصر النقية [9] ، فقيمة التقريب الجيدة يمكن إيجادها في اغلب الحالات بمعدل $\frac{dE}{dx}$ لكل عنصر في المركب موزون بجزء الإلكترون العائد لكل عنصر حسب قاعدة براك [10] أي ان :

$$\frac{1}{\rho} \frac{dE}{dx} = \frac{\omega_1}{\rho_1} \left(\frac{dE}{dx} \right)_1 + \frac{\omega_2}{\rho_2} \left(\frac{dE}{dx} \right)_2 + \dots \dots \dots (26)$$

حيث ω_1, ω_2 أجزاء وزن العناصر $1, 2, \dots$ في المركب .

بوضوح أكثر ، إذا كان n_i عدد الذرات و A_i الوزن الذري للعنصر i th في الجزيئة M ، فإن :

$$\omega_i = \frac{n_i A_i}{A_m}$$

$$A_m = \sum_m n_i A_i$$

كما إن الحدود المعتمدة على Z يمكن ان ترتب لإيجاد ما يكافئ المركب أو الخليط كعنصر مفرد من خلال [9]:

$$\left(\frac{Z}{A} \right) = \sum_i \omega_i \frac{Z_i}{A_i} = \frac{\sum_i n_i Z_i}{\sum_i n_i A_i} \dots \dots \dots (27)$$

$$\ln(I) = \frac{\sum_i \omega_i \left(\frac{Z_i}{A_i} \right) \ln I_i}{\sum_i \omega_i \left(\frac{Z_i}{A_i} \right)} = \frac{\sum_i n_i Z_i \ln I_i}{\sum_i n_i A_i} \dots \dots \dots (28)$$

3- النتائج والمناقشة :

حساب قدرة الإيقاف الالكترونية لأيونات الكربون المارة في المركبات العضوية :

لقد تم حساب قدرة الإيقاف الالكترونية لأيونات الكربون المارة خلال الاهداف [polypropylene (C_3H_6) , Polycarbonate ($C_{16}H_{14}O_3$) , Polyvinylalcohol (C_2H_4O), Polyvinylacetate ($C_4H_6O_2$)] في حدود مدى طاقة (0.01-1000) MeV باستعمال المعادلات (7)، (24)، في برنامج بلغة Matlab. تم تطبيق المعادلات (7) لـ Bohr، (24) للمعادلة الناتجة من تأثير التصادمات القريبة والتصادمات البعيدة بطريقتين مرة استخدمت قاعدة براك الموضحة بالمعادلة (26) ومرة باستخدام النسبة $\left(\frac{Z}{A}\right)$ الموضحة بالمعادلة (27) و النتائج العملية لبرنامج SRIM 2012 ، حيث نلاحظ من الشكل (2-a,b,c,d) ان أعظم قيمة لقدرة الايقاف الالكترونية الكلية الناتجة من المعادلة (24) تكون ضمن الطاقة (4 < E(MeV) < 2) وبزيادة الطاقة تبدأ قدرة الايقاف بالتناقص ولكلا القاعدتين (قاعدة براك والقيمة الفعالة) ولكن نتائج النسبة $\left(\frac{Z}{A}\right)$ اقرب الى نتائج الـ Srim . أما بالنسبة لمعادلة بور فنلاحظ ان اعظم قيمة لقدرة الايقاف الالكترونية تكون ضمن الطاقة (4 < E(MeV) < 2) وبزيادة الطاقة تبدأ قدرة الايقاف بالتناقص كما نلاحظ انة عند الطاقات الواطئة فإن صيغة Bohr تصل الى حد الانقطاع او التوقف (cut off) وبعيدة عن نتائج الـ Srim أما عند الطاقات العالية فإن جميع النتائج متقاربة مع نتائج الـ Srim .

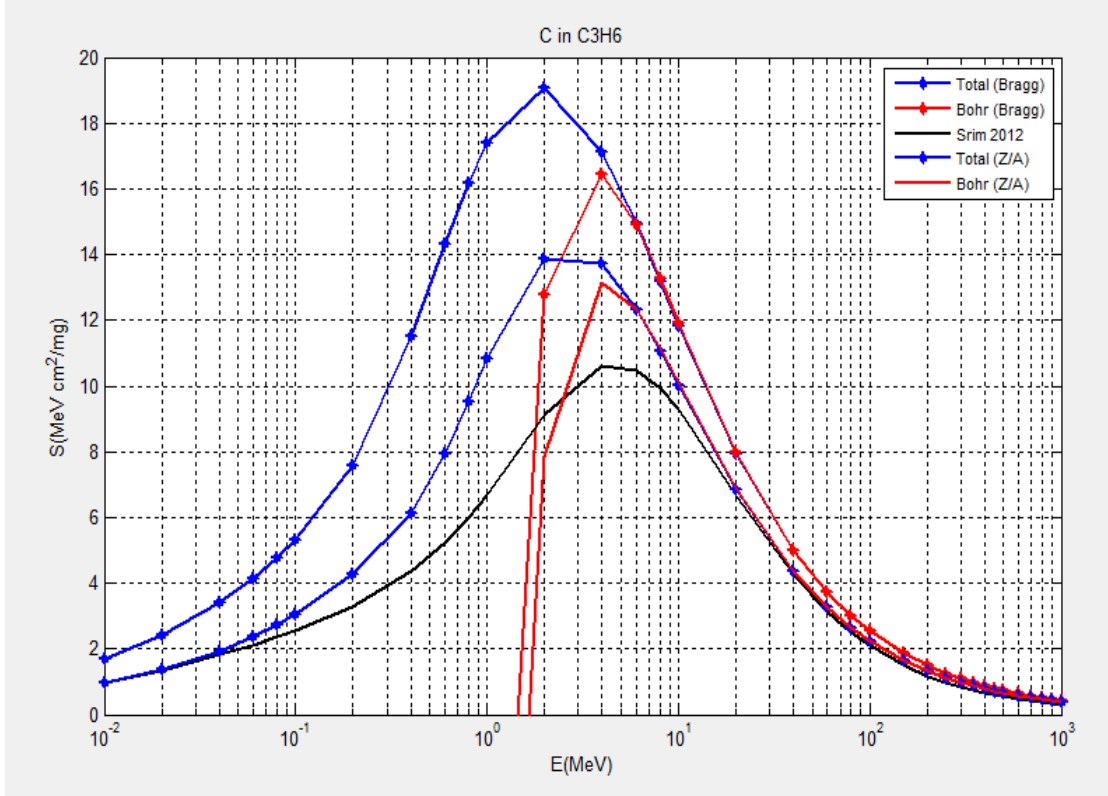
حساب قدرة الإيقاف الالكترونية للبروتونات المارة في المركبات العضوية :

لقد تم حساب قدرة الايقاف الالكترونية للبروتونات المارة خلال الاهداف

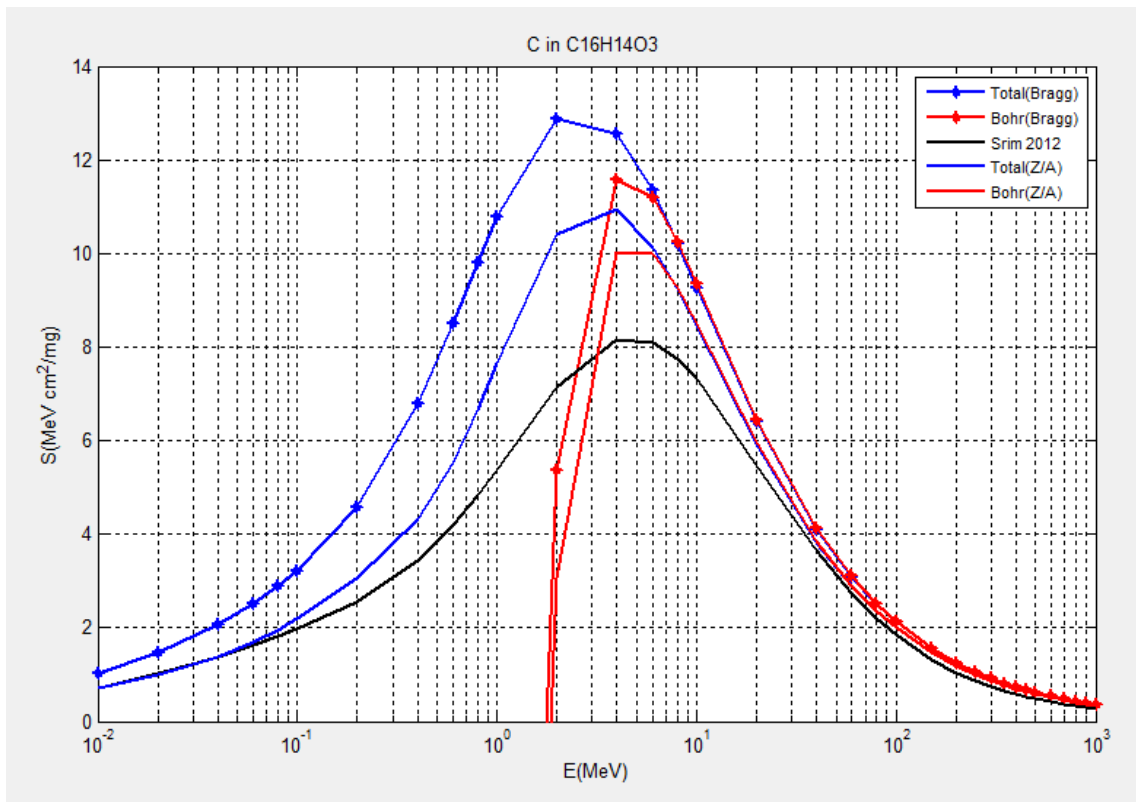
[polypropylene (C_3H_6) , Polycarbonate ($C_{16}H_{14}O_3$) , Polyvinylalcohol (C_2H_4O), Polyvinylacetate ($C_4H_6O_2$)] في حدود مدى طاقة (0.01-1000) MeV باستعمال المعادلات (7)، (24)، في برنامج بلغة Matlab) . تم تطبيق المعادلات (7) لـ Bohr ، (24) للمعادلة الناتجة من تأثير التصادمات القريبة والتصادمات البعيدة بطريقتين مرة استخدمت قاعدة براك الموضحة بالمعادلة (26) ومرة باستخدام النسبة $\left(\frac{Z}{A}\right)$ الموضحة بالمعادلة (27) و النتائج العملية لبرنامج SRIM 2012 ، حيث نلاحظ من الشكل (3-a,b,c,d) ان اعظم قيمة لقدرة الإيقاف الالكترونية الكلية الناتجة من المعادلة (24) تكون ضمن الطاقة (0.08 < E(MeV) < 0.04) وبزيادة الطاقة تبدأ قدرة الايقاف بالتناقص ولكلا القاعدتين (قاعدة براك و النسبة $\left(\frac{Z}{A}\right)$) ولكن نتائج النسبة $\left(\frac{Z}{A}\right)$ اقرب الى نتائج الـ Srim . أما بالنسبة لمعادلة بور فنلاحظ ان اعظم قيمة لقدرة الايقاف الالكترونية تكون ضمن الطاقة (0.1 < E(MeV) < 0.08) وبزيادة الطاقة تبدأ قدرة الايقاف بالتناقص كما نلاحظ انة عند الطاقات الواطئة فإن صيغة Bohr تصل الى حد الانقطاع او التوقف (cut off) وبعيدة عن نتائج الـ Srim أما عند الطاقات العالية فإن جميع النتائج متقاربة مع نتائج الـ Srim .

من ملاحظة الشكلين (2,3) فان قدرة إيقاف المركبات لأيونات الكربون اكبر من قدرة إيقاف تلك المركبات للبروتونات وهذا بسبب العدد الذري للقذيفة ، أي إن العلاقة طردية بين العدد الذري للجسيمة الساقطة وقدرة الإيقاف .

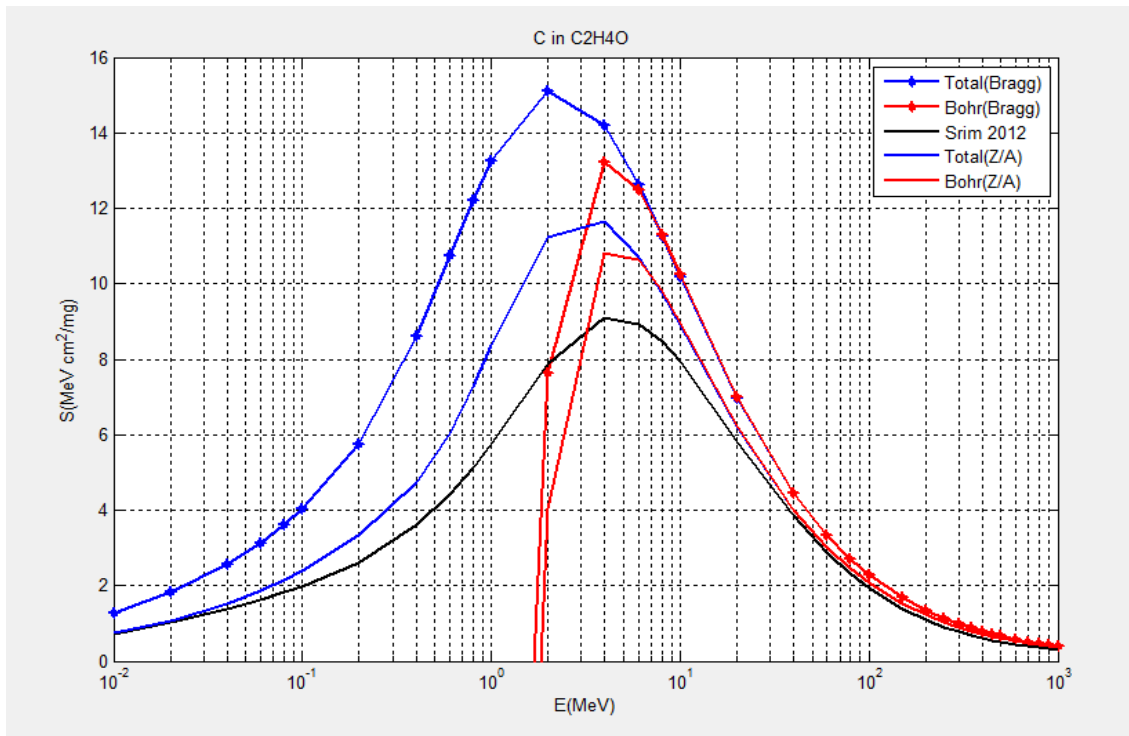
اما الشكل (4,5) فانه يبين ان العلاقة طردية بين العدد الذري للجسيمة الساقطة وعامل التصادم ، حيث ان ايونات الكربون تمتلك عامل تصادم اكبر من عامل تصادم البروتونات مع الأهداف .



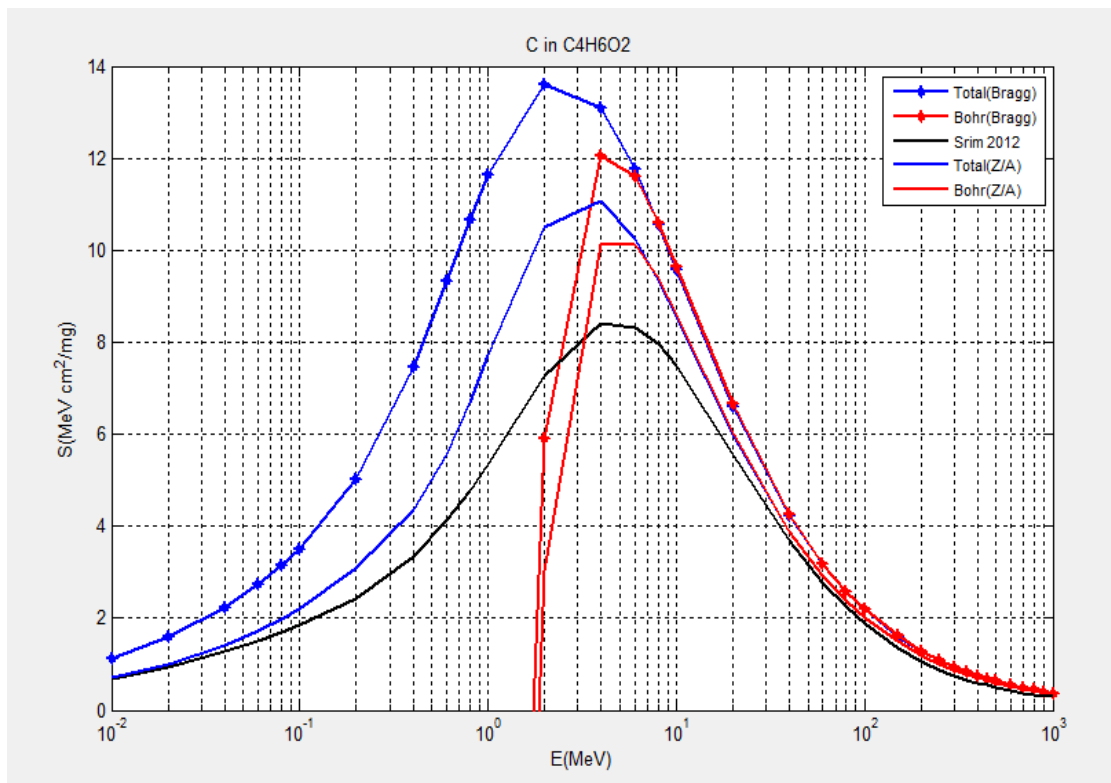
(2-a)



(2-b)

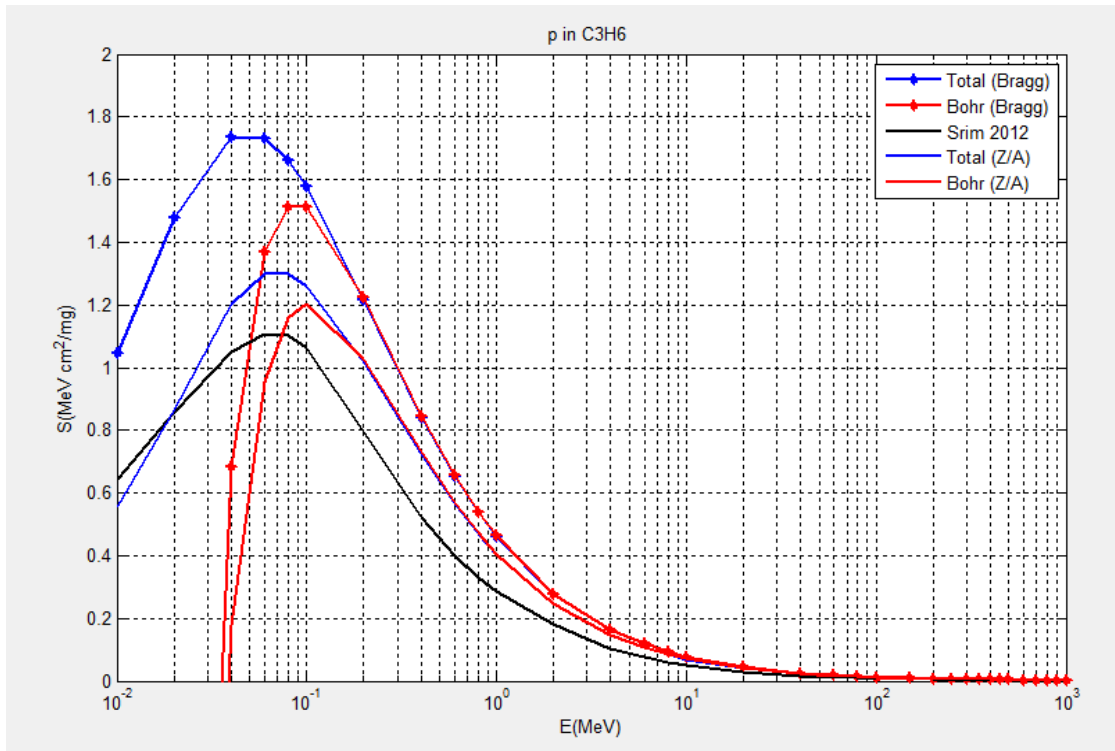


(2-c)

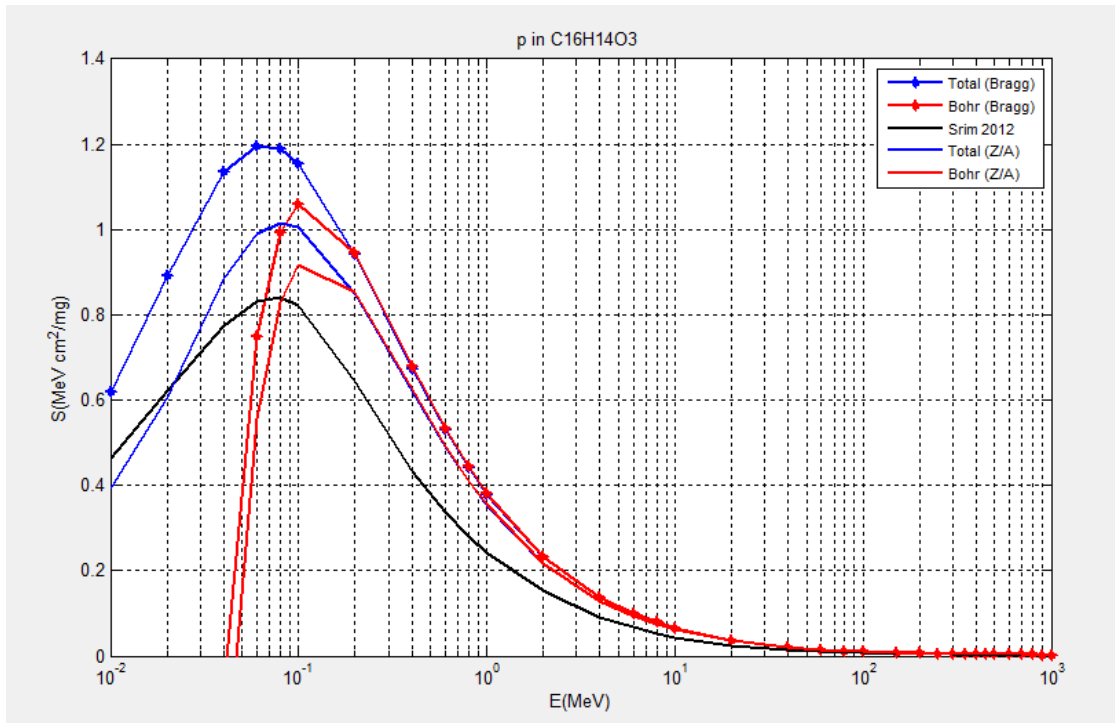


(2-d)

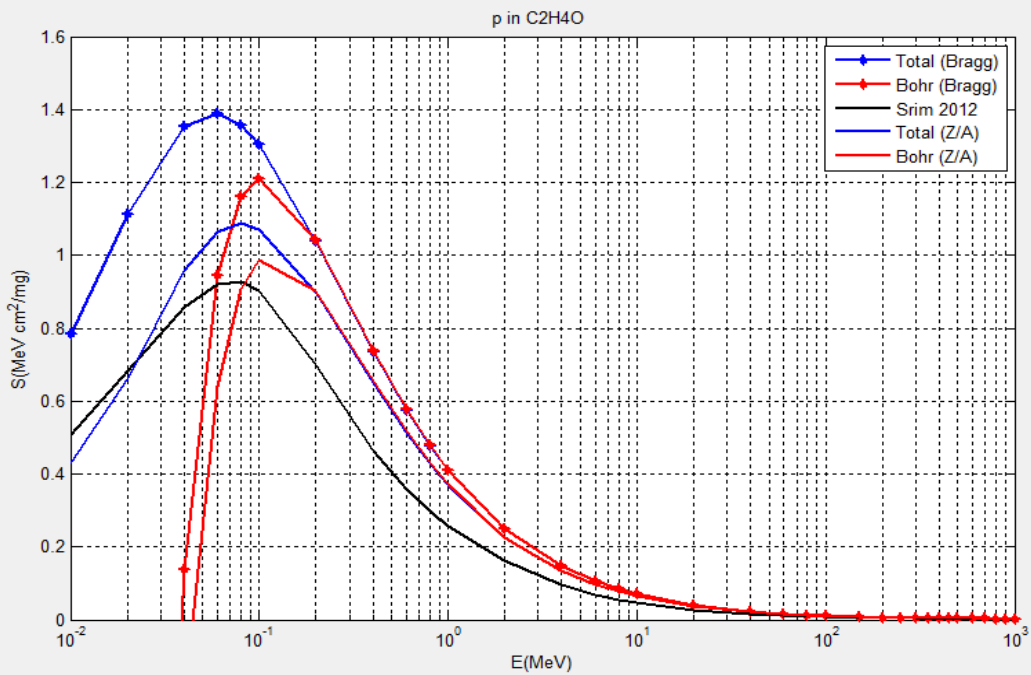
شكل (2) يوضح العلاقة بين قدرة الايقاف الالكترونية لأيونات الكربون المارة خلال الأهداف
 (C₃H₆ , C₁₆H₁₄O₃ , C₂H₄O , C₄H₆O₂)



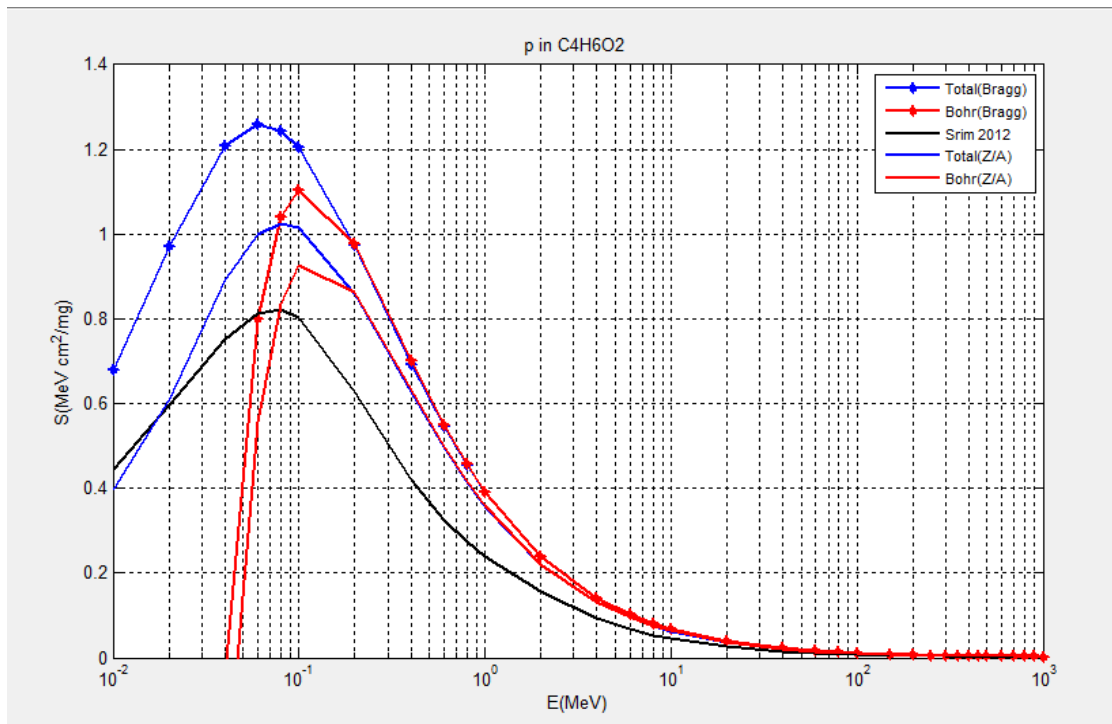
(3-a)



(3-b)

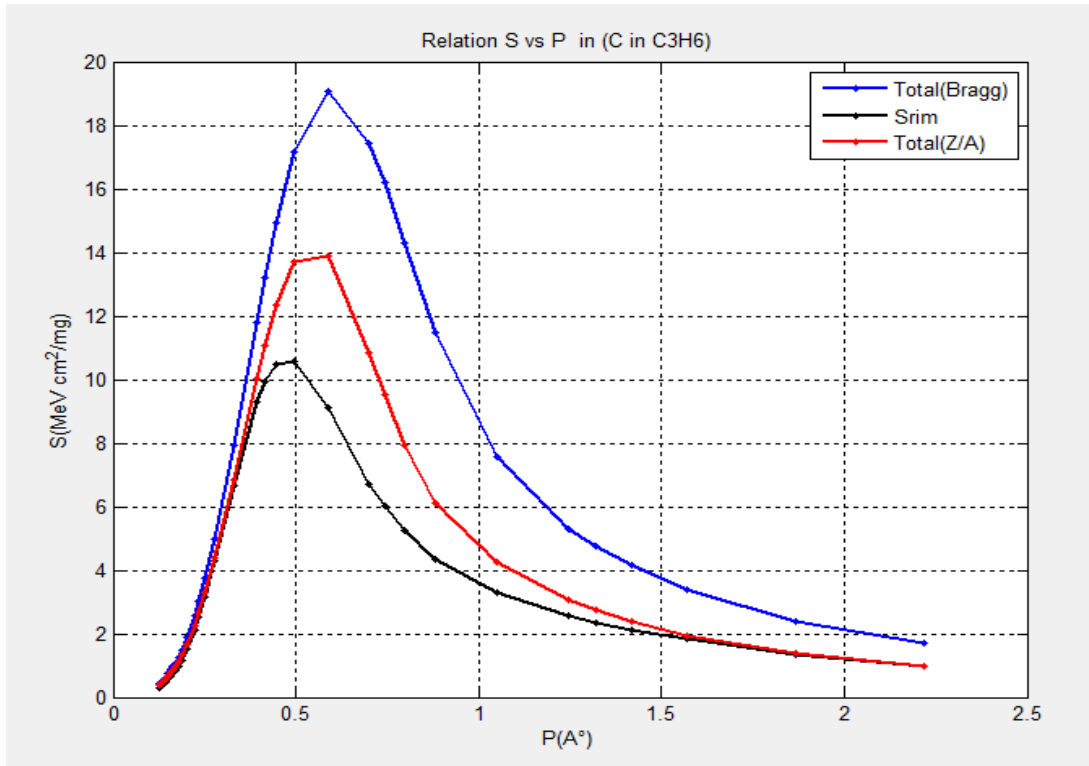


(3-c)

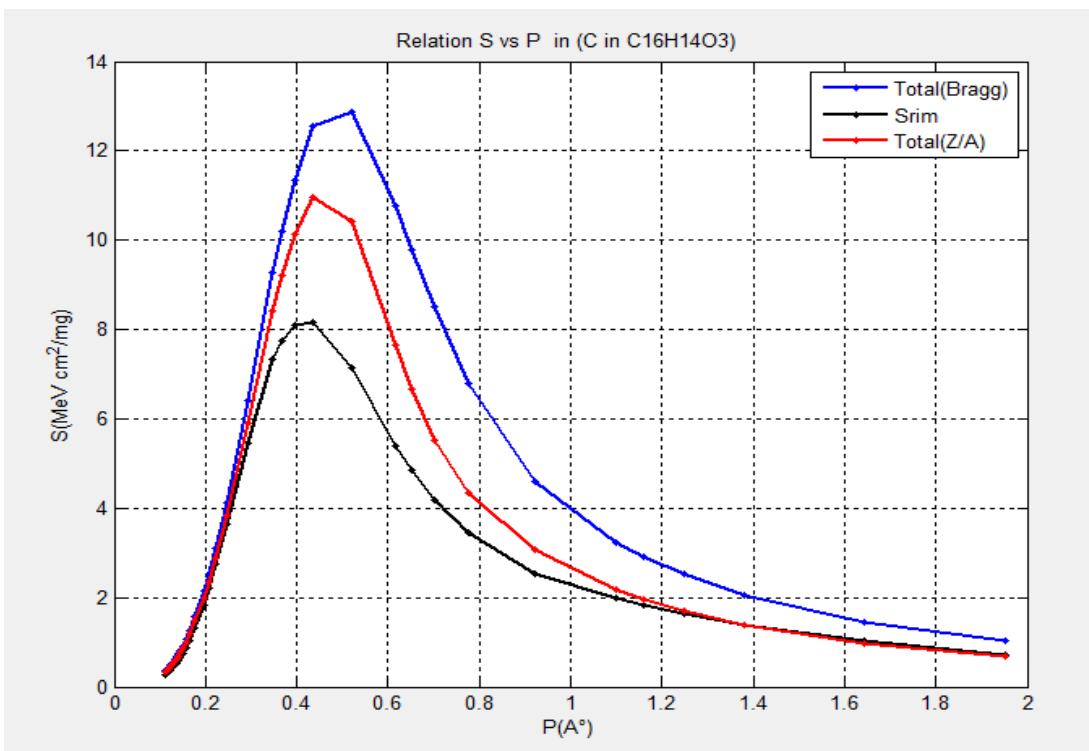


(3-d)

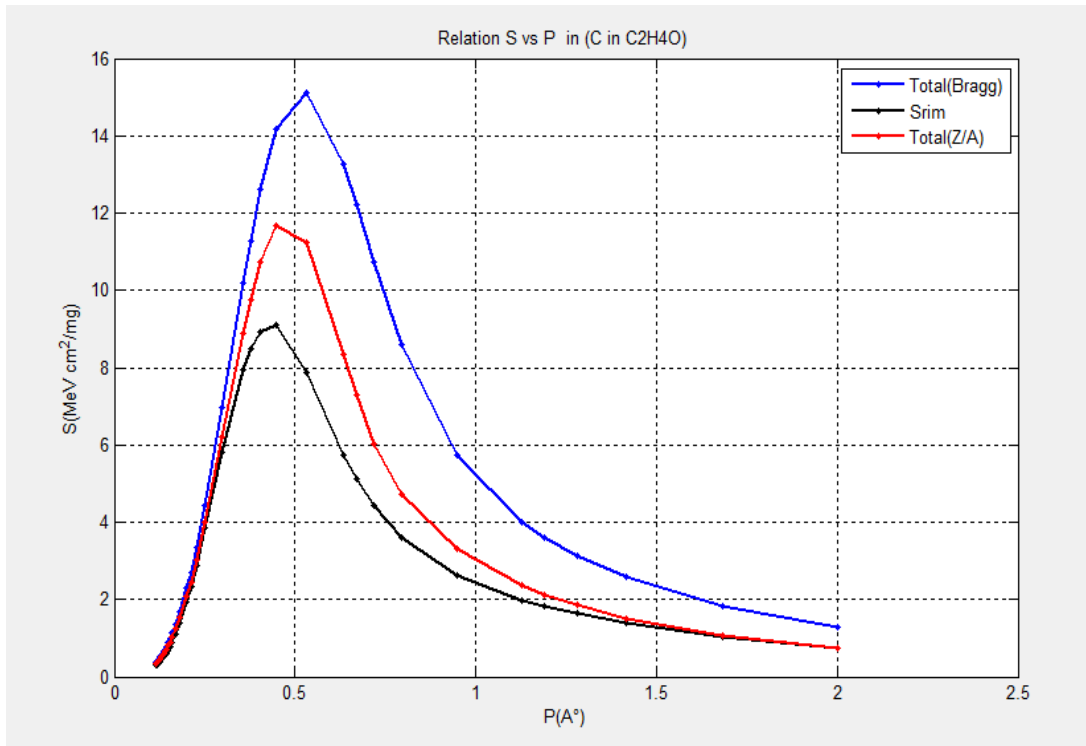
شكل (3) يوضح العلاقة بين قدرة الإيقاف الإلكترونية للبروتونات المارة خلال الأهداف
 $(C_3H_6, C_{16}H_{14}O_3, C_2H_4O, C_4H_6O_2)$



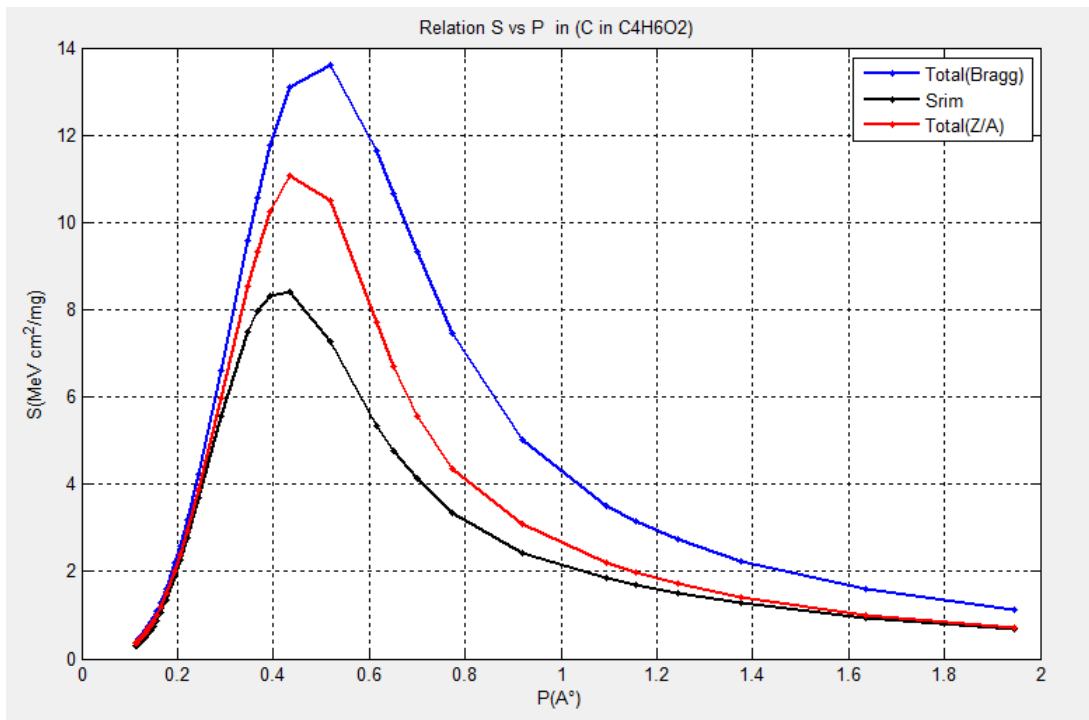
(4-a)



(4-b)

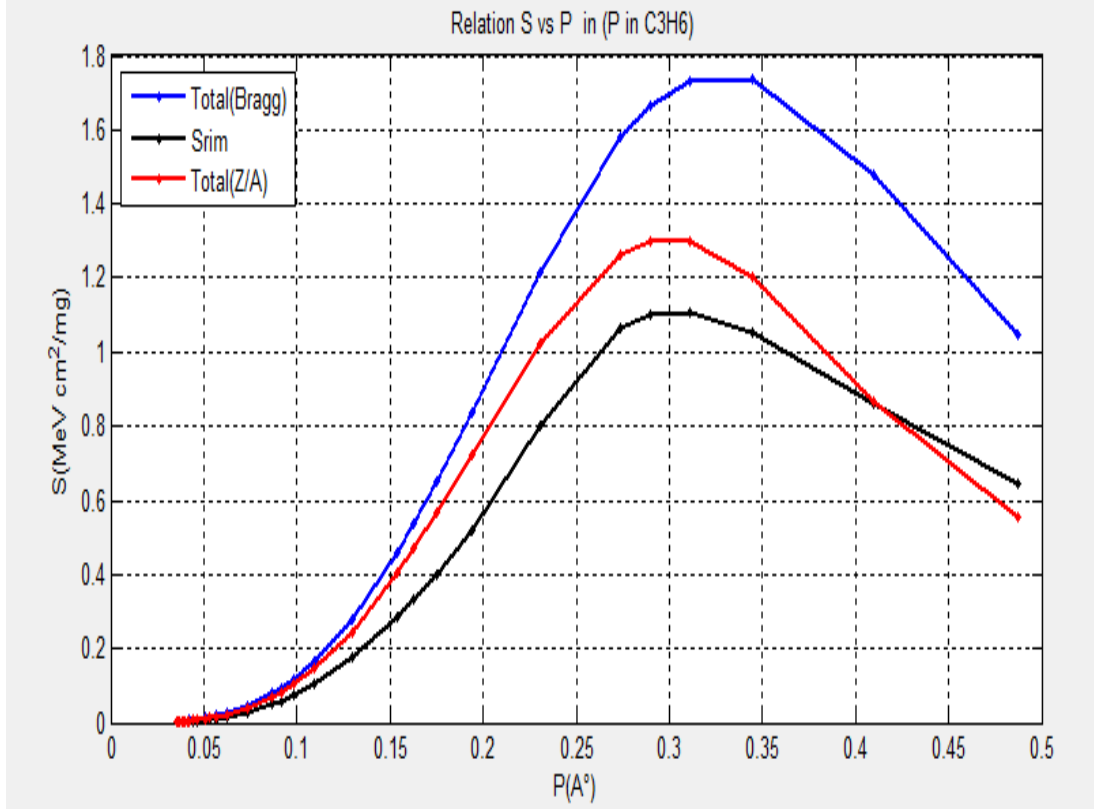


(4-c)

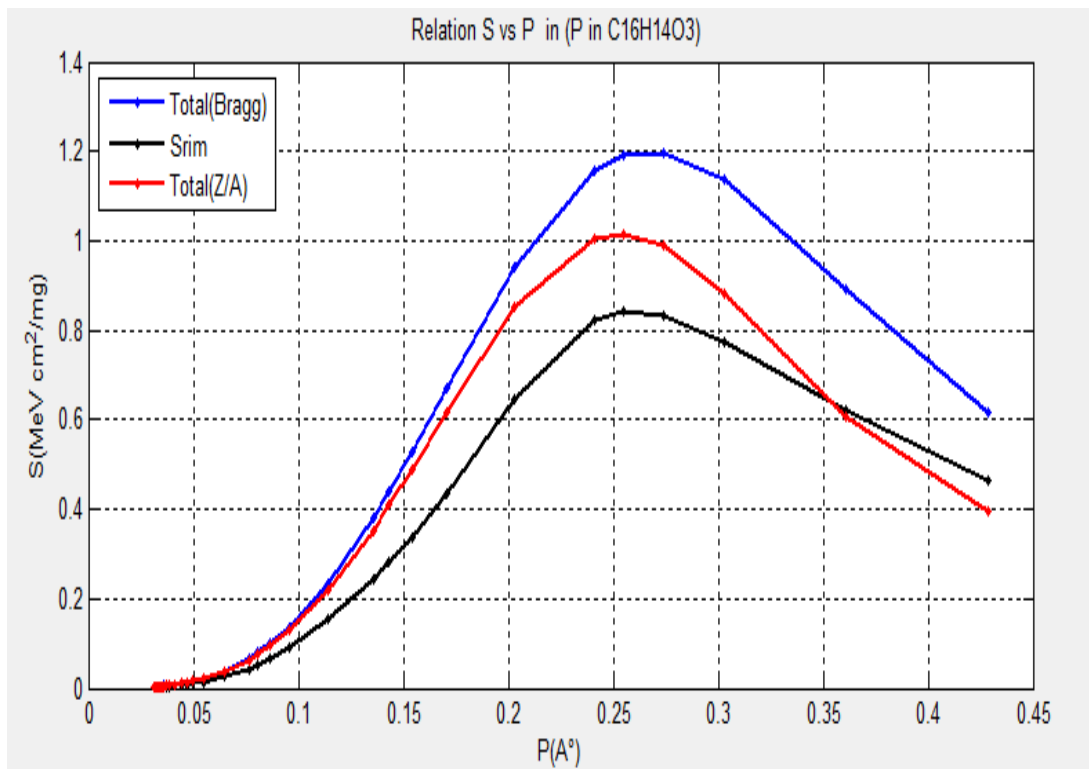


(4-d)

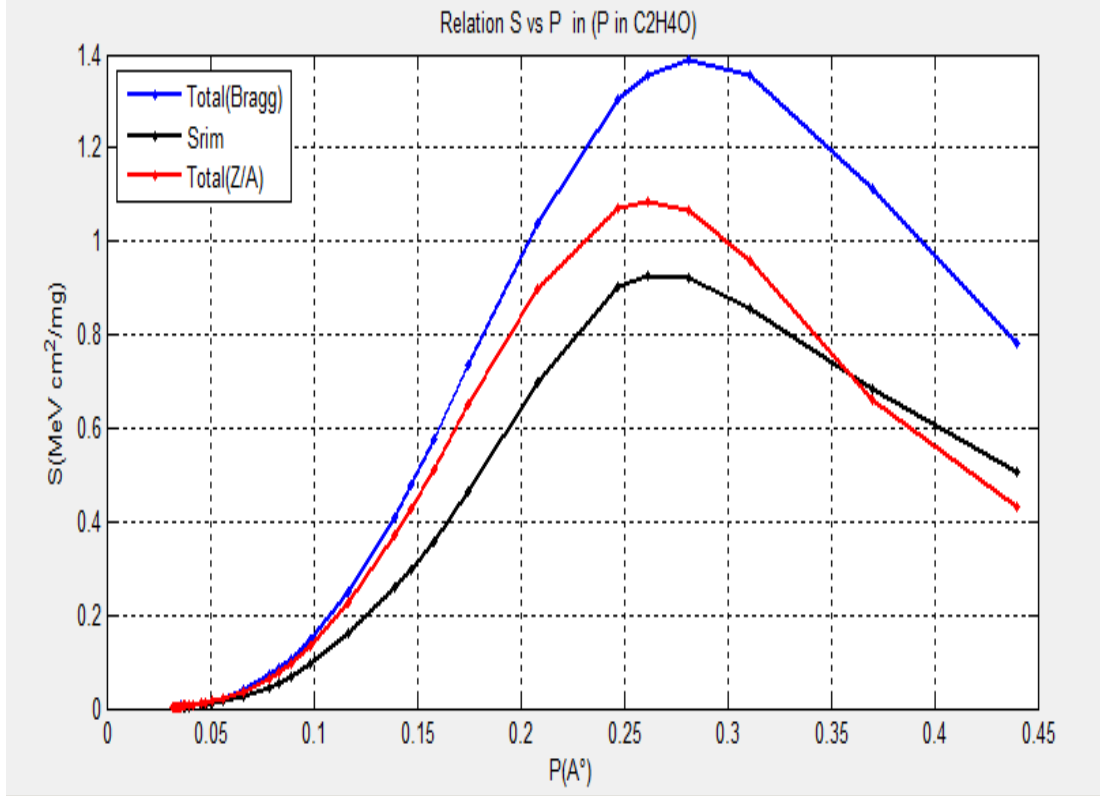
شكل (4) يوضح العلاقة بين عامل التصادم وقدرة الايقاف الالكترونية لايونات الكربون المارة خلال الأهداف (C_3H_6 , $C_{16}H_{14}O_3$, C_2H_4O , $C_4H_6O_2$)



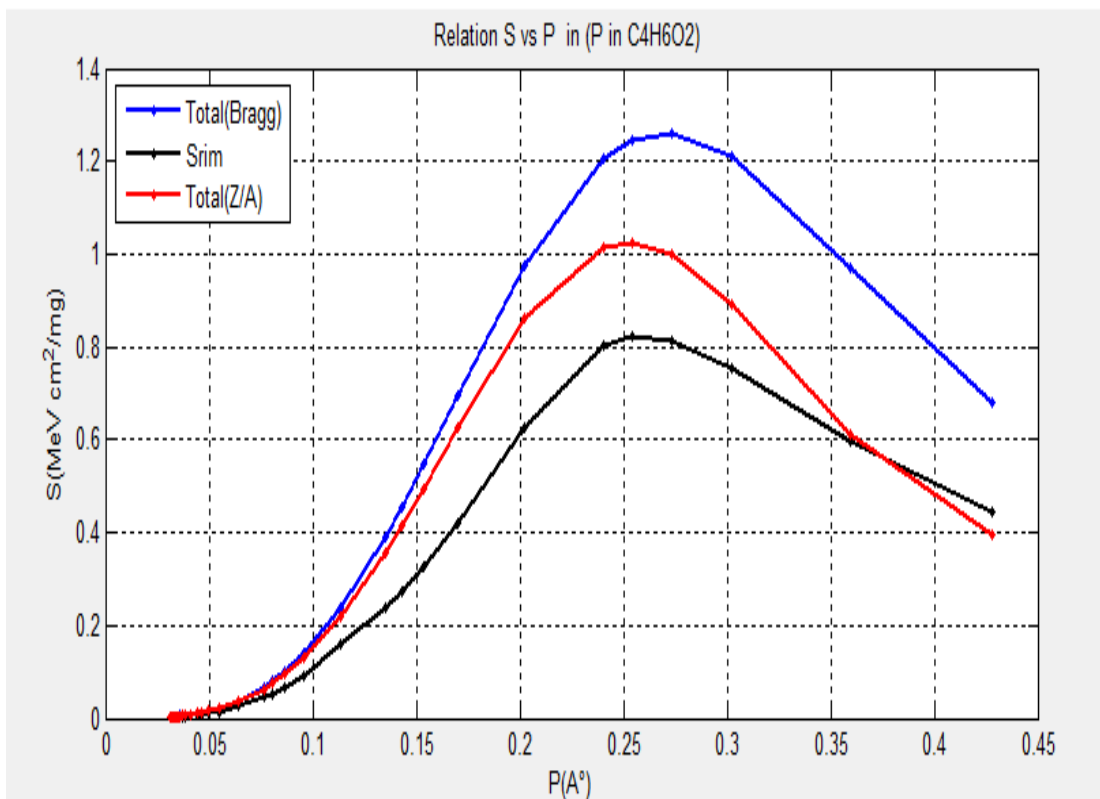
(5-a)



(5-b)



(5-c)



(5-d)

شكل (5) يوضح العلاقة بين عامل التصادم وقدرة الايقاف الالكترونية للبروتونات المارة خلال الأهداف (C_3H_6 , $C_{16}H_{14}O_3$, C_2H_4O , $C_4H_6O_2$)

4-الاستنتاجات :

من خلال دراسة قدرة الإيقاف الالكترونية يمكن استنتاج النقاط المهمة الآتية :

1- يمكن استعمال المعادلة (24) في حساب قدرة الايقاف للجسيمات المشحونة الثقيلة في اي هدف عند السرعة العالية وعند السرعة الواطئة ولاي قيمة لشحنة وسرعة الجسيم الساقط .

2- لوحظ في حساب قدرة الايقاف للبروتونات الساقطة على الاهداف الذرية (, C_3H_6 , $C_{16}H_{14}O_3$) المشحونة الساقطة الى ان تصل الى القيمة (0.8064, 0.9951 MeV.cm²/mg) على التوالي ثم تبدا بالنقصان الى ان تكون قريبة من الصفر عند الطاقات العالية .

3 – أما عند حساب قدرة الإيقاف لايونات الكربون الساقطة على نفس الاهداف الذرية فان قدرة الإيقاف الكلية حسب قاعدتي براك والقيمة الفعالة تزداد بزيادة طاقة الجسيمات المشحونة الساقطة الى ان تصل الى القيمة (8.5998, 10.1185, 8.4432, 11.9874, 8.5072, 10.3013, 11.093, 15.0001) MeV.cm²/mg على التوالي ثم تبدا بالنقصان الى ان تكون قريبة من الصفر عند الطاقات العالية .

4- كذلك لوحظ في الشكل (4,5) ان العلاقة طردية بين العدد الذري للجسيمة الساقطة وعامل التصادم ، حيث ان ايونات الكربون تمتلك عامل تصادم اكبر من عامل تصادم البروتونات مع الأهداف .

5-المصادر:

- [1] W. E. Meyerhof, (1967), " Elements of Nuclear Physics", McGraw-Hill, New York,.
- [2] J. E. Turner , (2004), " Interaction of ionizing radiation with matter", Health Physics Society, Vol. 86, No. 3, p.p.228-252.
- [3] J. F. Ziegler , (1999), "The Stopping of Energetic Light Ions in Elemental Matter", J. Appl. Phys / Rev. Appl. Phys., vol.85, p.p. 1249-1272.
- [4] R. A. Kadhum , (2004), "Impact – Parameter Dependent Of Electronic Stopping Power" , (Ph.D.thesis) , AL Mustansiryah University, College of Science.
- [5] P. Sigmund, (1996), "Low-speed limit of Bohr's stopping –power formula" , Phys.Rev A , Vol.54 , No.4, p.p.3113-3793.
- [6] P. Sigmund, (1997) , " Charge- dependent electronic stopping of swift nonrelativistic heavy ions", Phys. Rev. A , V.56, N.5, P.P. 3781-3792.
- [7] A. Getachew , (2007), , " Stopping power and range of protons of various energies in different materials", M.Sc. Thesis , Addis Ababa University.
- [8] M.C. Tufan and H. Gümüs,(2008) , " Stopping power calculations of compounds by using Thomas-Fermi-Dirac-Weizsäcker density functional", ACTA PHYSICA POLONICA A, Vol. 114 ,No. 4 , p.p.703-711.
- [9] D. E. Groom , N. V. Mokhov and S. I. Striganov ,(2001) , " MUON STOPPING POWER AND RANGE TABLES 10 MeV-100 TeV " , Atomic Data and Nuclear Data Tables, Vol. 76 , No. 2 .
- [10] R. Lozeva , (2005), " A NEW DEVELOPED CALORIMETER TELESCOPE FOR IDENTIFICATION OF RELATIVISTIC HEAVY ION REACTION CHANNELS" , (Ph. D. thesis), University of Sofia "St. Kliment Ohridski" Faculty of Physics.

*Calculation the electronic stopping power for charged particles by using Impact parameter

Received : 19\6\2013

Accepted: 8\12\2013

Rashid Aweed Kadhum **Shahla Abdul sada Kadhum**
Department of Physics – College of Education for Girls – University of Kufa

Abstract :-

Theoretical study is performed to calculate electronic stopping power by using Bohr equation and the equation which resulting from distant and close collisions which dependent on impact parameter of charged particles (carbon ions and protons) interacted with organic compounds :[polypropylene (C_3H_6 ; $\rho =0.9$ gm/cm³), Polycarbonate ($C_{16}H_{14}O_3$; $\rho =1.2$ gm/cm³), Polyvinylalcohol (C_2H_4O ; $\rho =1.3$ gm/cm³), Polyvinylacetate ($C_4H_6O_2$; $\rho =1.19$ gm/cm³)] by using Bragg rule once and another by the ratio $\langle \frac{Z}{A} \rangle$, in the range of energy [0.01-1000] MeV .

This equations are programmed by mathematical methods and done by Matlab language to obtain the required theoretical results and they shown as diagrams .this results compared with program SRIM 2012 to calculate stopping of this compounds ,as they showed a good agreement with them.

Key words: Electronic stopping power , impact parameter , stopping of compounds .

*The Research is apart of on MSC. Thesis in the case of the second researcher