The study of the collision energy loss of the electron and positron in two elements silicon and germanium and compounds of sodium iodide, water, dry air near sea level and A-150 Tissue-Equivalent Plastic.

دراسة خسارة الطاقة التصادمية للألكترون والبوزترون في العنصرين السليكون والجرمانيوم والمركبات يوديد الصوديوم والماء والهواء الجاف ونسيج البلاستك A-150 .

م.م. شهله عبد السادة كاظم
shahlaa.alruhaimi@uokufa.edu.iq
جامعة الكوفة – كلية التربية للبنات – قسم الفيزياء

الخلاصة :-

تم في هذا البحث دراسة قدرة الإيقاف الالكترونية للجسيمات المشحونة الخفيفة (الالكترونات والبوزترونات) المتفاعلة مع عنصرين هما السليكون والجرمانيوم ومع المركبات يوديد الصوديوم والماء والهواء الجاف عند مستوى سطح البحر ونسيج بلاستك A-150 ضمن مدى الطاقة MeV [0.01-1000] ، وقد تم مقارنة نتائج دراسة قدرة ايقاف الالكترونات في تلك العناصر والمركبات مع برنامج ester لنفس العناصر والمركبات وكذلك مقارنة نتائج دراسة قدرة ايقاف البوزترونات مع النتائج المستحصلة من قبل M.J. Berger and S.M. Seltzer وقد أظهرت توافقاً جيداً مع نتائج كلا المصدرين.

الكلمات المفتاحية: - قدرة الايقاف الالكترونية ، الالكترونات ، البوزترونات ، ester .

Abstract :-

In this research study of the electronic stopping power of the light charged particles (electrons and positrons) interact with two elements silicon and germanium and with compounds of sodium iodide, water , dry air near sea level and A-150 Tissue-Equivalent Plastic within the range of energy [0.01-1000] MeV, the results of a study have been compared with the preview work electronic stopping power in these elements and compounds with ester program of the same elements and compounds as well as the results of a study comparing the electronic stopping power of Positron with the results obtained by M.J. Berger and S.M. Seltzer , good agreement with the results of both sources have shown .

Key words: - electronic stopping power , electrons , positrons , ester .

1 -.المقدمة:- Introduction

تعرف قدرة الإيقاف بأنها الطاقة المفقودة للجسيمة الساقطة خلال وحدة المسار نتيجة لاختراق الجسيمات المشحونة المعجلة لمادة الوسط وتفاعلها مع نوى والكترونات ذرات مادة ذلك الوسط .وعليه يمكن تقسيمها الى قدرة الايقاف التصادمية وهي معدل خسارة الطاقة لكل وحدة مسار بسبب التصادمات غير المرنة بين الجسيمات المشحونة الساقطة وبين الكترونات ذرات الهدف مسببة تأين أو تهيج الوسط ، و قدرة الإيقاف الاشعاعية وهي معدل خسارة الطاقة لكل وحدة مسار بسبب التفاعلات المرنة لنوى ذرات الهدف مع الجسيمات الساقطة لتعطي اشعة الكبح حيث تعطى قدرة الايقاف الكلية بالعلاقة [2][1] :

$$\left(-\frac{\mathrm{dE}}{\mathrm{dx}}\right)\mathrm{tot} = \left(-\frac{\mathrm{dE}}{\mathrm{dx}}\right)coll + \left(-\frac{\mathrm{dE}}{\mathrm{dx}}\right)\mathrm{rad} \qquad \ldots (1)$$

إذ إن

$(-\mathrm{dE/dx})_{\mathrm{tot}}$ تمثل قدرة الإيقاف الكلية .

$(-\mathrm{dE/dx})_{\mathrm{coll}}$ تمثل قدرة الايقاف عن طريق التصادمات .

$(-\mathrm{dE/dx})_{\mathrm{rad}}$تمثل قدرة الإيقاف عن طريق الاشعاع .

وتقسم الجسيمات المشحونة الى جسيمات مشحونة ثقيلة كجسيمات الفا والديوترونات والبروتونات وجسيمات مشحونة خفيفة كالالكترونات والبوزترونات [3] .

ويعد العالم بورأول من حسب قدرة الإيقاف الالكترونية عام 1913 وقد استخدم في حساباته الميكإنيك الكلاسيكي . وأول من درس قدرة الإيقاف باستخدام الميكإنيك الكمي هو العالم هانز بيتا Bethe عام 1930 [4].

ولقد تبين أن قدرة الإيقاف للجسيمات الثقيلة والخفيفة تعتمد اعتمادا رئيسيا ومباشرا على شحنة وسرعة القذيفة إذ أن قدرة الإيقاف الخطية تتناقص بزيادة الطاقة للجسيمة أي إنها تتناسب تناسباً عكسياً مع طاقة القذيفة[5].وان دراسة وحساب قدرة الإيقاف $(-\frac{dE}{dX})$ للجسيمات المشحونة من المواضيع المهمة التي شغلت عددا من الباحثين لاهميتها في جميع المجالات الطبية والصناعية والصحية والتفاعلات النووية والكيمياء الإشعاعية وتصميم الكواشف [6] حيث قام الباحث Singh Hemlata واخرون بوضع علاقة تجريبية لقدرة الايقاف الكليّة بحدين من الطاقة الكليّة (الحركيّة + وطاقة كتلة السكون) للألكترونات والبوزترونات من 20 keV الى 50000 وتم ملائمتهما ببارامترات تقريبية. هذه البارامترات تعتمد على العدد الذرّي (Z) للوسط الماص وكانت قابلة للتطبيق في الاوساط الماصة ذات العدد الذرّي من Z =1 إلى 92. وحصل توافق جيد بين القيم لقدرة ايقاف الالكترونات والبوزترونات الكليّة لبعض العناصر وتلك القيم المحسوبة بواسطة Berger وSeltzer [7].

وايضا قام الباحثان Mustafa Tufan وHasan Gumus بدراسة قدرة ايقاف الالكترونات والبوزترونات في بعض المركبات البايولوجية ضمن مدى الطاقة 100 eV الى 1GeV حيث ان قدرة الايقاف الكلية نتجت من جمع قدرة الايقاف الالكترونية التصادمية والاشعاعية لمواد الهدف ثم استخدم تقريب التباطو المستمر(CSDA) (continuous slowing down approximation) لحساب طول المسار للجسيمة الساقطة على الهدف . استخدما تقريب الشحنة الفعالة لحساب قدرة الايقاف التصادمية وطبقا تعبير تحليلي (رياضي) لطول الاشعاع للحصول على قدرة الايقاف الاشعاعية [8] .وكذلك قامت الباحثة Sabah Mahmoud واخريات بدراسة قيم قدرة الإيقاف الإشعاعية والتصادمية و القدرة الكلية وطول المسار الإشعاعي وزمن التوقف لبوزترونات β^+ الساقطة على بعض المواد باستخدام معادلة بيث –بلوخ النسبية ولمدى طاقة يبدأ منMeV(10-0.1) وقد بينت النتائج ان قيم قدرة الإيقاف الإشعاعية أكثر من قيم قدرة الإيقاف التصادمية بالنسبة قدرة الإيقاف الكلية وقورنت النتائج مع البرنامج العالمي estar وقد حققت تطابق جيد[9] .

2- قدرة الايقاف للجسيمات المشحونة الخفيفة :- Stopping power for light charged particle

يتم تعريف قدرة الايقاف التصادمية بأنها تصادم غير مرن مع الالكترونات الذرية وهذا يؤدي الى الاثارة والتأين وينتهي في نهاية المطاف الى امتصاص طاقة (من خلال الاهتزازات الذرية والجزيئية)[2]

عندما تكون الطاقة للالكترونات الساقطة اقل من (0.5MeV) تفقد هذه الالكترونات الطاقة عن طريق الاثارة المدارية لذرات مادة الهدف او تتأين بنفس اسلوب انتقال الطاقة من الجسيم المشحون الثقيل الى المادة الهدف ولان كتلة الالكترونات صغيرة مقارنة بكتلة الجسيم الثقيل المشحون ستكون سرعة الالكترونات كبيرة مقارنة بسرعة الجسيم الثقيل الذي يمتلك نفس القيمة من الطاقة وهذا يعني ان فترة بقاء الالكترونات بالقرب من ذرة من ذرات المادة سيكون صغيرا لذا سيؤدي الى انخفاض التاين[10]

ويمكن الحصول على القيمة النظرية لقدرة الايقاف للبروتونات من العلاقة التالية[8].

$$S_{coll} = -\frac{1}{\rho}\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi e^4}{m_e c^2}\frac{z^2}{\beta^2}\frac{ZN_A}{A}B(v) \quad , \qquad (2)$$

$$B(v) = \frac{1}{2}ln\frac{\tau^2(T+2)}{2(\frac{I}{m_e c^2})^2} + \frac{F(\tau)^{\pm}}{2} \quad , \qquad (3)$$

$$\beta = \left(1 - \left(\frac{1}{T/m_e c^2}\right)^2\right)^{0.5} \quad ,$$

$$\tau = T/m_e c^2 \quad ,$$

$$F(\tau)^- = 1 - \beta^2 + \frac{\frac{\tau^2}{8} - (2\tau+1)ln2}{(\tau+1)^2} \quad \text{للالكترون} \qquad (4)$$

$$F(\tau)^+ = 2ln2 - \frac{\beta^2}{12}\left(23 + \frac{14}{\tau+2} + \frac{10}{(\tau+2)^2} + \frac{4}{(\tau+2)^3}\right) \quad \text{للبوزترون} \qquad (5)$$

ويمكن تعويض حدود المقدار [11] $\frac{4\pi e^4}{m_e c^2}\frac{z^2}{\beta^2}\frac{ZN_A}{A}$

حيث ان $N_A = 6.022 * 10^{23}\frac{atoms}{mol}$ عدد افوكادرو

$$K = 4\pi r_o^2 mc^2 = 0.0005099\ (\frac{eV.cm^2}{10^{15}atoms})$$

حيث $r_o = \frac{e^2}{mc^2} = 2.818 \times 10^{-15}m$ نصف قطر الإلكترون electron radius .

$$K = \frac{4\pi r_o^2 m_e c^2 N_A}{10^2 A} = \frac{0.3071}{A}\ (\frac{KeV.cm^2}{mg})$$

$$\frac{-1}{\rho}\left(\frac{dE}{dx}\right)_{coll} = 0.30707 \times \frac{Z}{\beta^2 A}B(v)\ (\frac{MeV.cm^2}{g}) \qquad (6)$$

3- الحسابات و النتائج :- Calculations and results

لقد استخدم برنامج الماتلاب لحساب قدرة ايقاف الالكترون والبوزترون في السليكون والجرمانيوم ويوديد الصوديوم والماء والهواء الجاف عند مستوى سطح البحر ونسيج البلاستك A-150 وقد تم حساب نسب العناصر في تلك المركبات وفق النسب المستحصلة من برنامج ester [12] وكما في الجدول التالي :-

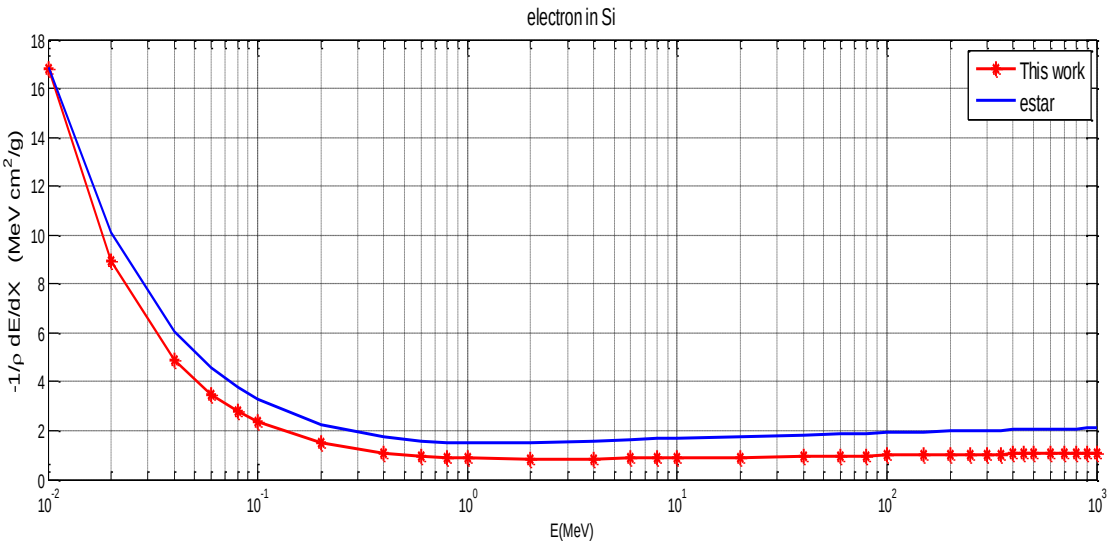
Sodium Iodide	$^{23}_{11}$Na	$^{127}_{53}$I				
	0.153373	0.846627				
Water	$^{1}_{1}$H	$^{16}_{8}$O				
	0.111894	0.888106				
Dry Air (Near Sea Level)	$^{12}_{6}$C	$^{14}_{7}$N	$^{16}_{8}$O	$^{40}_{18}$Ar		
	0.000124	0.755267	0.231781	0.012827		
A-150 Tissue-Equivalent Plastic	$^{1}_{1}$H	$^{12}_{6}$C	$^{14}_{7}$N	$^{16}_{8}$O	$^{19}_{9}$F	$^{40}_{20}$Ca
	0.101327	0.775501	0.035057	0.052316	0.017422	0.018378

فقد درست قدرة ايقاف الالكترون في تلك العناصر والمركبات باستخدام المعادلة (2) وذلك بعد تعويض معادلة (4) في معادلة (3) لمدى واسع من الطاقة MeV (0.01-1000) وقد قورنت بنتائج برنامج estar ، اما قدرة ايقاف البوزترون فقد درست لنفس الاهداف السابقة وبتطبيق نفس المعادلة لكن تم تعويض معادلة (5) في المعادلة (3) ولنفس مدى الطاقة وقد قورنت مع نتائج دراسة M.J. Berger and S.M. Seltzer وكانت النتائج على شكل رسوم بيانية كما مبينة في الاشكال التالية (1a,b,c,d,e,f)، (2a,b,c,d,e,f) .

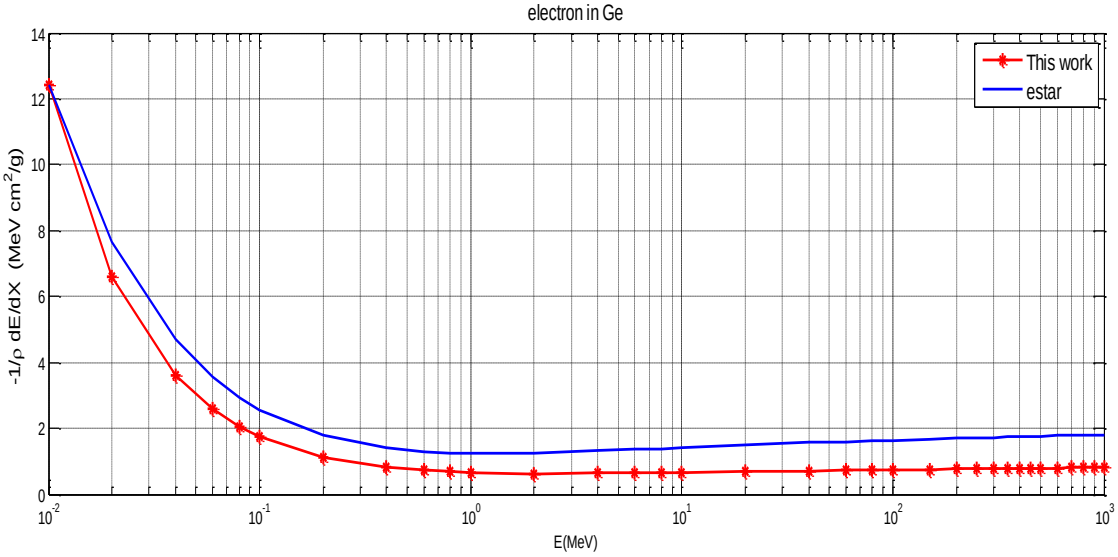
الشكل (1a,b) يمثل حساب قدرة الايقاف التصادمية للألكترونات في السليكون والجرمانيوم حيث نلاحظ عند بداية مدى الطاقة التقارب الشديد بين نتائج البحث مع برنامج قدرة الايقاف العملي ولكنها تبدأ بالتباعد تقريبا من(0.02 MeV) ولكن بفارق بسيط اما بالنسبة ليوديد الصوديوم كما في الشكل (1c) فأنه يبدأ متباعدا قليلا ولكن عند طاقة (0.02 - 0.03)MeV تكون نتيجة فقدان الطاقة تصل الى حد الانطباق مع البرنامج العملي ومن ثم بزيادة سرعة الجسيمه الخفيفة تقل قدرة الايقاف تدريجيا وتصل الى مرحلة الاستقرار لما تبقى من مدى الطاقة المستخدم .

اما عند قصف الماء والبلاستك بالالكترون فأن منحني البيانات سيكون موازي لمنحني بيانات قدرة الايقاف العملية (estar) مع فارق بسيط.

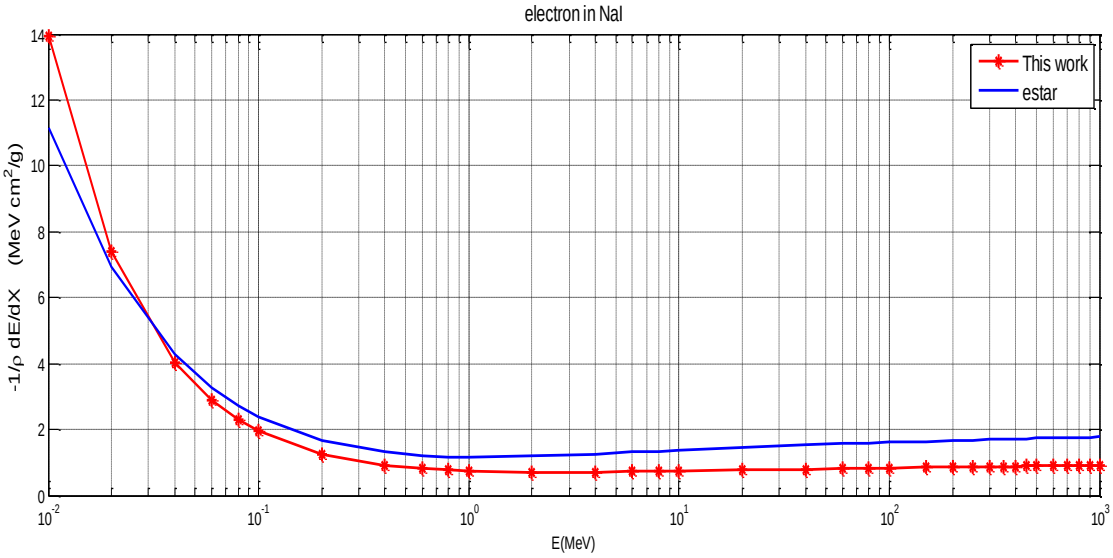
ولكن عند قصف الهواء الجاف فأنها تسلك سلوك مشابه للعناصر (Si, Ge) و المركب (NaI) مع اختلاف بقيم قدرة الايقاف حيث يلاحظ ارتفاع قيم قدرة الايقاف تدريجيا عند نهاية مدى الطاقة المستخدم .



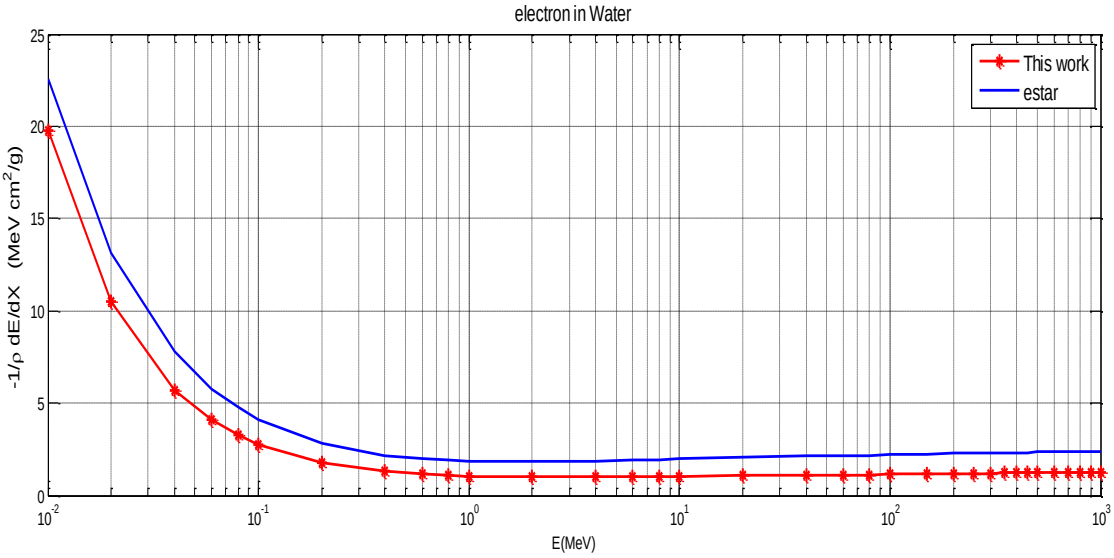
a


electron in Ge
This work
estar
-1/ρ dE/dX (MeV cm²/g)
E(MeV)

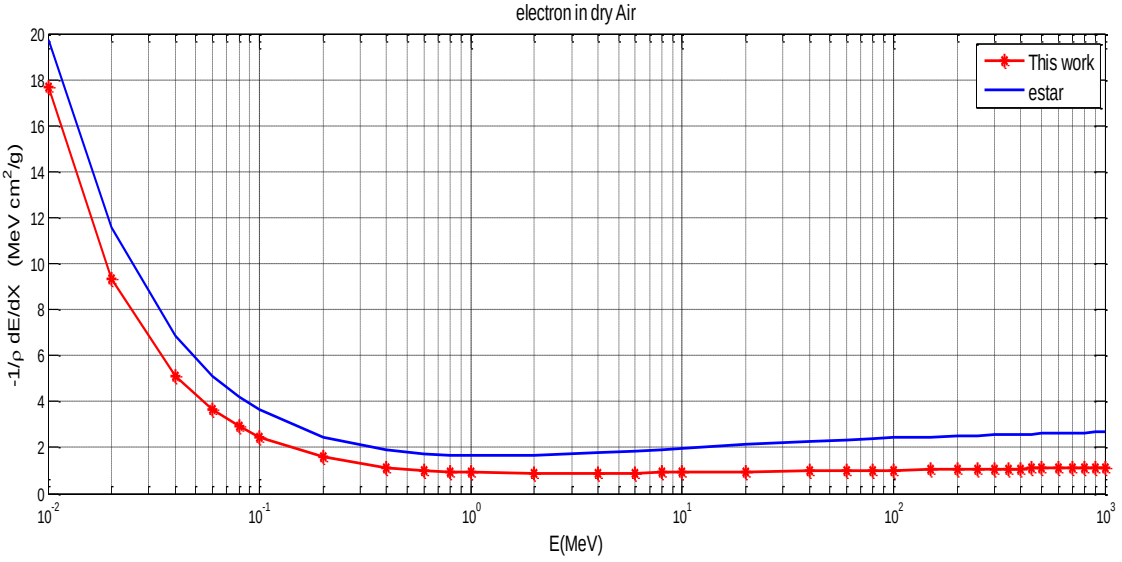
B


electron in NaI
This work
estar
-1/ρ dE/dX (MeV cm²/g)
E(MeV)

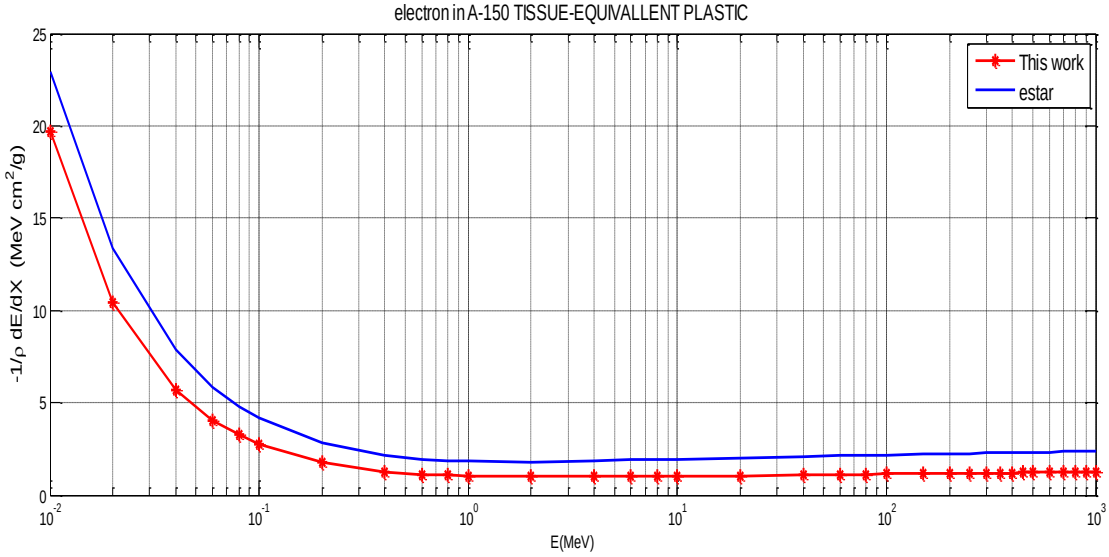
c


electron in Water
This work
estar
-1/ρ dE/dX (MeV cm²/g)
E(MeV)

d

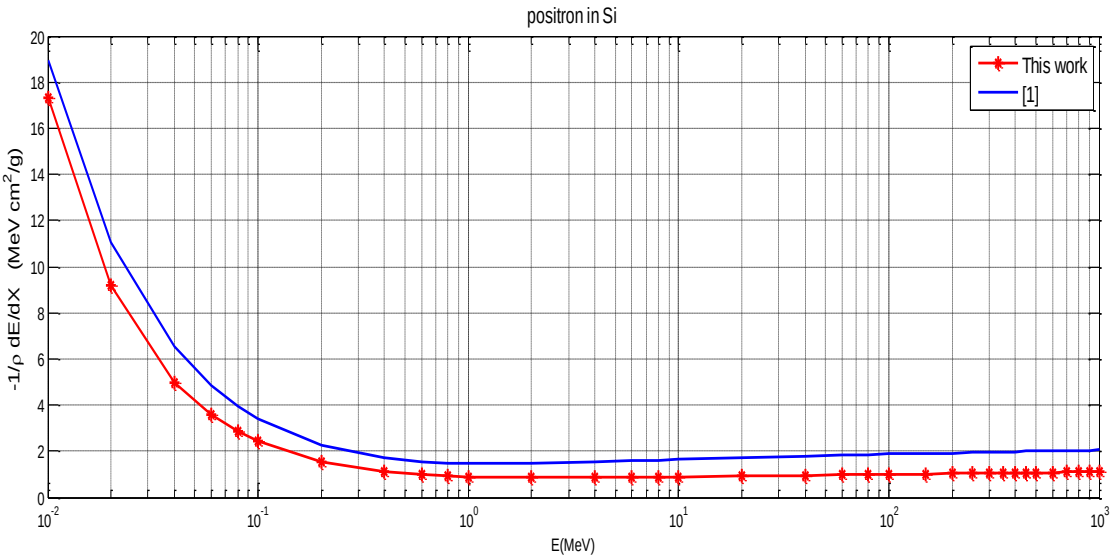


E

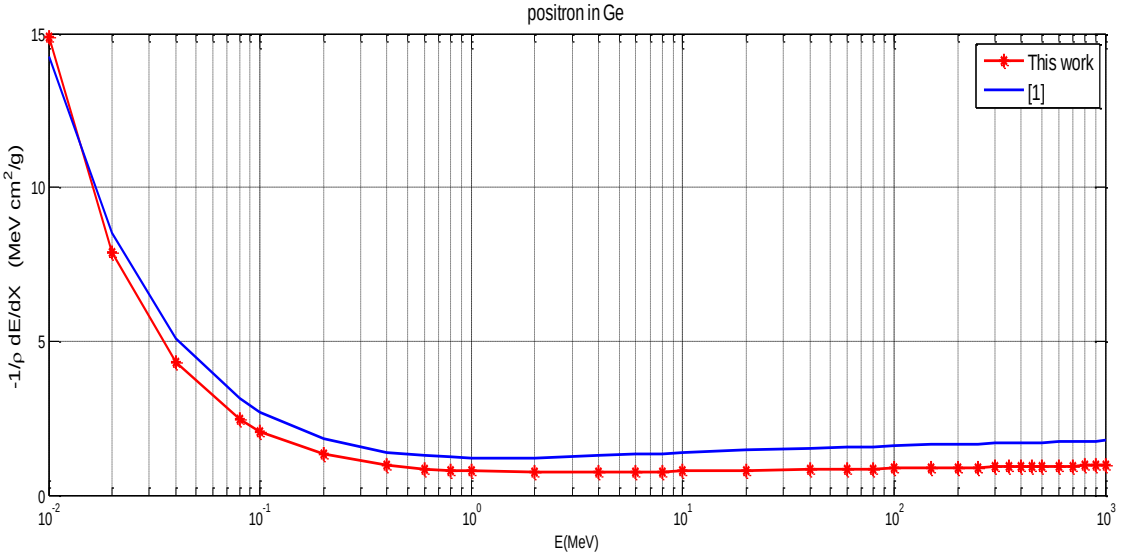


F

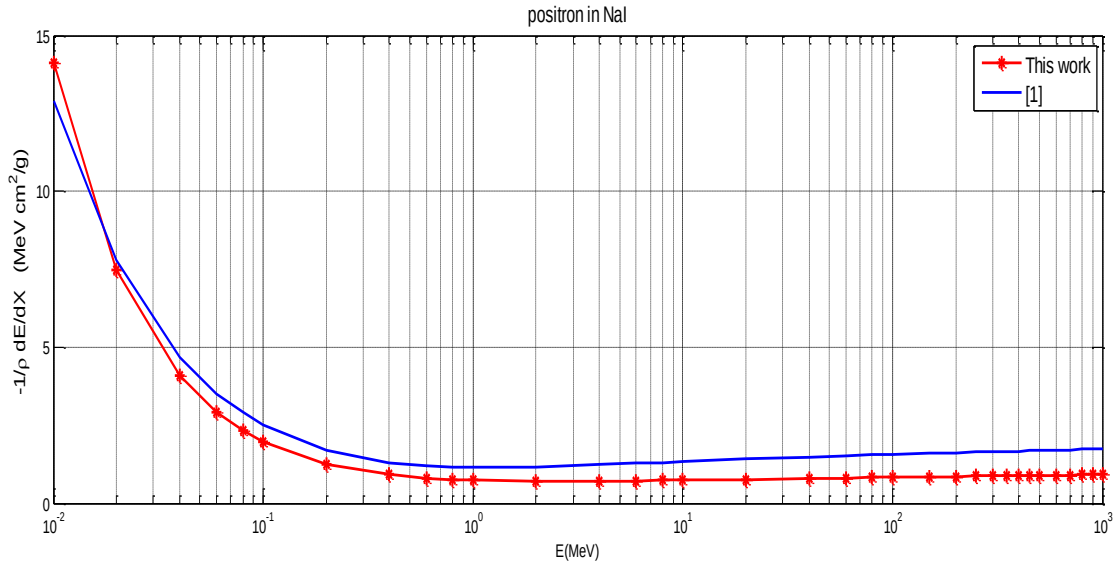
شكل (1a,b,c,d,e,f) يوضح قدرة ايقاف الالكترون في السليكون والجرمانيوم ويوديد الصوديوم والماء والهواء الجاف عند مستوى سطح البحر ونسيج البلاستك A-150 على التوالي .



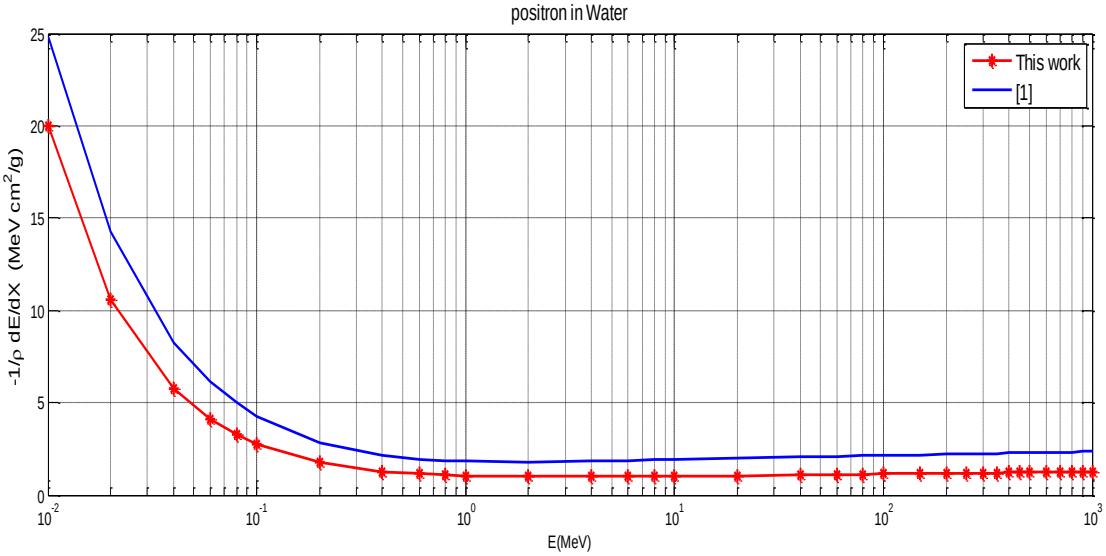
A


positron in Ge
This work
[1]
-1/ρ dE/dX (MeV cm²/g)
E(MeV)

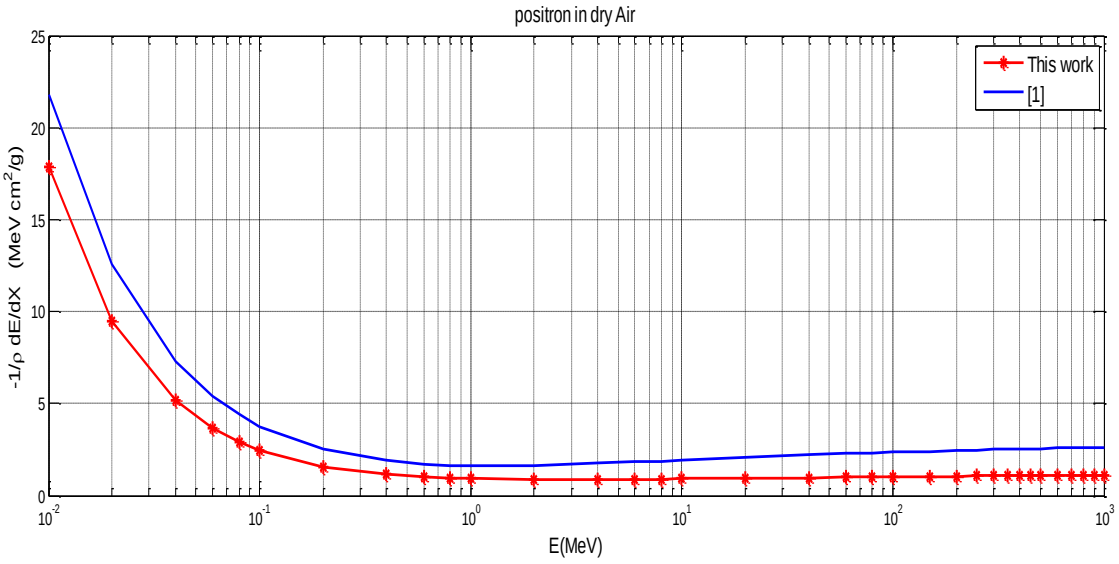
b


positron in NaI
This work
[1]
-1/ρ dE/dX (MeV cm²/g)
E(MeV)

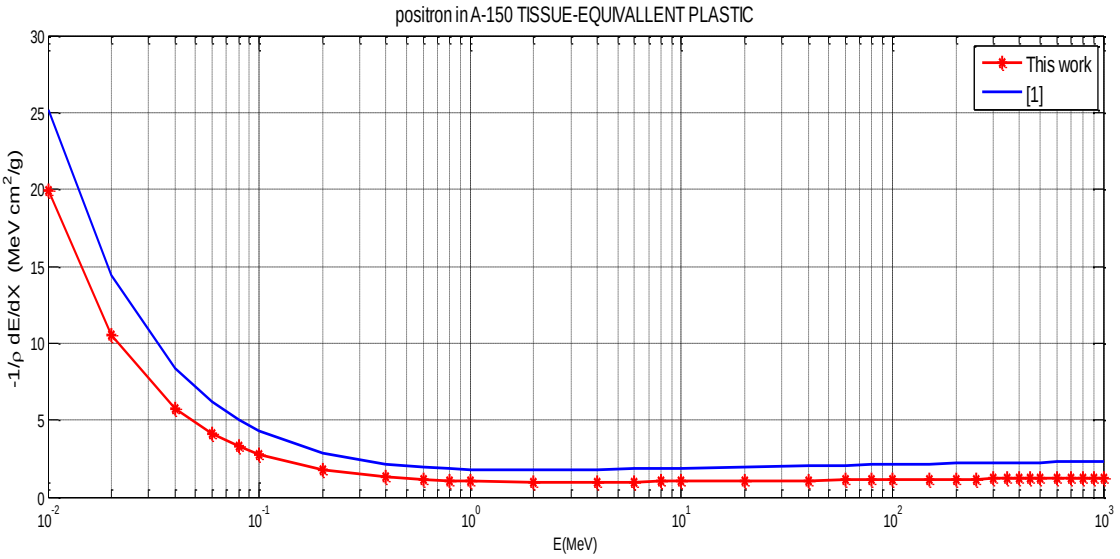
C


positron in Water
This work
[1]
-1/ρ dE/dX (MeV cm²/g)
E(MeV)

d



e



f

شكل (2a,b,c,d,e,f) يوضح قدرة ايقاف البوزترون في السليكون والجرمانيوم ويوديد الصوديوم والماء والهواء الجاف عند مستوى سطح البحر ونسيج البلاستك A-150 على التوالي .

الاستنتاجات :- Conclusion

ان قدرة الايقاف للالكترون والبوزترون تسلكان سلوك متماثل بينهما حيث تأخذ اعظم قيمة لها عندما تمتلك الجسيمة طاقة واطئة ثم تتناقص خسارة الطاقة تدريجيا كلما زادت سرعة الجسيمة ثم يكون فقدان ضئيل للطاقة او يكاد يكون غير ملحوظ ضمن مدى الطاقة MeV (0.6-10) وذلك لأنها جسيمات خفيفة فهي تخترق الهدف ثم ازدياد قدرة الايقاف بقدر بسيط ضمن مدى الطاقة MeV (10-1000) ، كذلك فان اعظم قدرة ايقاف للبوزترون هي اكبر من اعظم قدرة ايقاف للالكترون في جميع الاهداف التي درست .

References :

[1] M.J. Berger and S.M. Seltzer (1982) Stopping powers and ranges of electrons and positrons. National Bureau of Standards Report NBSIR 82-2550 A .

[2] R. A. Abbad "Analytical Study of the Specific energy loss and radiation length X_0 of Positron for Chromium $^{52}_{24}Cr$ ", Journal of Natural Sciences Research Vol.3, No.15(2013) .

[3] W. AL kazraji , "Energy Stopping Power and Straggling On Swift Ions Near Plan Surfore" , M.Sc. Thesis , AL – Mustansiriya University , (2000) .

[4] P.Sigmund and A.Schinner, "Binary theory of light Ion stopping ", PrepSubm, Nucl. Instr and Meth.B,Vol.193(2002).

[5] A . Csete, "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).

[6] - H.D .Betz ," Behr's Adiabatic Criterion and Effective Charge Of Heavy Ions" , Nucl.Inst.and Math.132(1976) .

[7] A. Saxena, H.Singh and Priyanka Agrawal" Stopping Power of Electrons and Positrons for C, Al, Cu, Ag, Au, Pb,Fe, U, Ge, Si and Mo" Applied Physics Research Vol. 2, No. 2(2010).

[8] Mustafa Tufanو Hasan Gumus "Stopping power and CSDA range calculationsfor incident electrons and positrons in breast and brain tissues" Radiat Environ Biophys (2013) .

[9] S. Mahmoud, E. Mohamad and R. Abduala" Estimation Of the Total Energy Loss of Positrons in Copper and Nickel" Journal of Babylon University/Pure and Applied Sciences/ No.(7)/ Vol.(22)(2014).

[10] W. E. Meyerhof , " Elements of Nuclear Physics", McGraw-Hill, New York , (1967).

[11] J. F. Ziegler , " The Stopping of Energetic Light Ions in Elemental Matter " , Rev. Appl. Phys , Vol. 85 , p.p. (1249-1272) , (1999) .

[12] NIST ESTAR. Available from http://physics.nist.gov/PhysRefData/Star/Text/ESTAR.html .