

دراسة مقارنة لفقدان الطاقة الإشعاعية S_{Rad} وتقريب المديات التباطئية

المستمرة R_{CSDA} لإلكترونات ضمن مدى الطاقة $(0.01 \leq E \leq 10)MeV$

للعناصر $^{31}_{15}P$ و $^{40}_{20}Ca$ ، $^{39}_{19}K$

مصعب عماد محمد¹ ، صباح محمود امان الله² ، صباح جلال فتحي³

^{1,2} قسم الفيزياء / كلية العلوم / جامعة تكريت / صلاح الدين – العراق.

¹ Mosab.emad-87@yahoo.com¹ , sabah_75@yahoo.com²

³ قسم الفيزياء / كلية العلوم / جامعة كركوك / كركوك – العراق.

Dr_sabahjalal2014@yahoo.com³

تاريخ قبول البحث: ٢٢ / ١٠ / ٢٠١٥

تاريخ استلام البحث: ١٣ / ٥ / ٢٠١٥

الملخص

في هذا البحث تم عرض نتائج قدرة الايقاف الإشعاعية وتقريب المديات التباطئية المستمرة (CSDA) للإلكترونات في عناصر الفسفور، البوتاسيوم والكالسيوم ضمن مدى الطاقة (٠.٠١ - ١٠) ميكا الكترون فولط باستعمال معادلتين تجريبيين ل بيركر-سليتز و تابتا وجماعته على التوالي . وجد ان هذين العاملين يعتمدان على قيم العدد الذري Z لمادة الهدف والطاقة الالكترون الساقطة E و بمقارنة النتائج المتحصلة من معادلة تجريبيين ل بيركر-سليتز ومعادلة تابتا وجماعته مع قيم Estar universal code وجد انها متطابقة بشكل جيد .

الكلمات الدالة : فقدان الطاقة الإشعاعية، تقريب المديات التباطئية المستمرة **CSDA** ، بيركر-سليتز ، تابتا ، الفسفور ، بوتاسيوم ، كالسيوم .



Comparative study of the radiative Energy Loss S_{Rad} and R_{CSDA} of electron within ranges $(0.01 \leq E \leq 10)$ MeV in ${}^{31}_{15}P$, ${}^{39}_{19}K$ and ${}^{40}_{20}Ca$

Mosab E. Mohammed¹, Sabah M. Aman Allah², Sabah J. Fatahi³

^{1,2}Physics Department / College of Sciences / Tikrit University, P.Box.O:42 ,Saladin -Iraq.

Mosab.emad-87@yahoo.com¹, sabah_75@yahoo.com²

³Physics Department / College of Sciences / Kirkuk University / Kirkuk -Iraq.

Dr_sabahjalal2014@yahoo.com³

Received date: 13 / 5 / 2015

Accepted date: ٢٢ / ١٠ / 2015

ABSTRACT

In this paper ,we present the results of Radiative Energy Loss and continuous slowing down approximation (CSDA) ranges for electrons in the elements Calcium , Potassium and Phosphor in terms of energy (0.01 - 10) MeV have been studied by using two empirical formula of Berger-Seltzer and Tabata et al respectively . These two parameters depend upon the atomic number (Z) of the absorber and incident electron energy E. It has been found that these formulae gives better agreement with the available data of Estar universal code.

Keywords: Radiative Energy Loss , Continuous Slowing Down Approximation (CSDA) Ranges, Berger-Seltzer and Tabata, Calcium , Potassium ,Phosphor .

١. المقدمة (Introduction)

تتفاعل الجسيمات المشحونة الساقطة على ذرات مادة الهدف بواسطة مركبة كولومب لقوة لورنز وذلك اما بمنح طاقتها الحركية الى الالكترونات الذرية او عن طريق الاستطارة بالمجالات الكولومية الالكترونات الذرية والنواة ولهاتين الظاهرتين نتائج مختلفة. ففي الظاهرة الاخيرة نجد ان جزء كبير من الطاقة الحركية ينتقل الى الالكترونات الذرية شريطة ان تكون كتله الجسيم الساقط اكبر من كتلته الالكترون، فاذا كان الجسيم الساقط الكترون او بوزترون ، فان الفارق الكبير في الكتلة مع كتلته النواة ينتج عنه انحراف كبير من مساره بفعل المجال النووي الكولومي مما يقود الى انبعاث اشعاع كهرومغناطيسي يعرف باسم اشعة التباطى Bremsstrahlung radiation ومن جهة اخرى فان الجسيم المشحون سوف يتفاعل مع الجسيمات المشحونة الأخرى عند المسافات الممتدة حول مجالها الكولومي مما ينتج عنه فقدان تدريجي للطاقة الى الوسط الذي تمر خلاله و في نهاية المطاف سوف يتوقف الجسيم عن الحركة [1]. ان الوسط المعترض يتحدد بالخصائص الاتية : بقدرة ايقافه (SP) stopping power و معدل المسار الحر الغير مرن inelastic mean free path (IMFP)، تقريب مدى التباطى المستمر the continuous slowing down approximation–range (CSDA–range) ومعامل تبعثر الطاقة energy straggling parameter جميع الخواص المذكورة ذات اهمية قصوى في الكثير من التطبيقات مثل البيولوجيا الاشعاعية ،الحزمة الكترونية للطباعة على الحجر والمعادن (ليثوغرافيا) electron beam lithography، والتحليل الكيميائي لسطوح المواد الصلبة وفي حسابات الجرغ الاشعاعية في العلاج الاشعاعي .ان الميزة الرئيسية للإشعاع المؤين هو امتلاكها طاقة كافية لتحطيم الاواصر الكيميائية وتتسبب في ظاهرة التأيين لجميع المواد [2،3] دراسات شاملة بخصوص قدرة الايقاف الاشعاعية [4-8] وكذلك بالنسبة لمدى التباطى المستمر التقريبي للمركبات كيميائية [9-14] ان الهدف من هذه الدراسة هو حساب قدرة التوقف الاشعاعية التباطئية S_{Rad} والمديات التقريبية التباطئية المستمر R_{CSDA} للالكترونات في العناصر الفسفور ، البوتاسيوم والكالسيوم ضمن مدى الطاقة $0.01MeV \leq T \leq 10MeV$ باستخدام معادلات بيركر-سليتز [21] ل تباتا وجماعته على التوالي [15] ولقد بينت النتائج انها في تطابق مع نتائج الكود ايستر [16] .

٢. المفهوم الفيزيائي لفقدان الطاقة الإشعاعية S_{Rad}

تعرف الطاقة الإشعاعية S_{Rad} المفقودة -اشعة التباطؤ- (او باللغة الالمانية برمتشهنك (bremsstrahlung) على انها الطاقة المبددة من قبل الالكتران على طول مساره ضمن المجال النووي للذرة للمادة الممتصة وينتج بفعل التعجيل الكبير الذي يتعرض له الالكتران من نواة (الموجبة الشحنة $+Ze$) وعادة ما يعبر عنه بوحدة $MeV.cm^2g^{-1}$ او $MeV\backslash cm$ وكما مبين في الشكل ادناه [16- 17]. اقترح العالمان بيركر - سليتزر معادلة تجريبية محكمة لحساب قدرة الايقاف الاشعاعية الكلية والناجمة من التأثير المزدوج لتباطؤ الكتران -الكتران و الكتران -نواة والتي تعطى بالعلاقة الاتية [4]:

$$S_{Rad} = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{dE}{dx} \right)_{Rad} = Q \frac{Z^2}{A} [E + m_e c^2] \Phi_{Rad}^{total} \dots \dots \dots (1)$$

حيث ان:

$m_e c^2 = 0.511 \text{ MeV}$: طاقة الكتلة السكونية للإلكترون .

Z : العدد الذري لمادة الهدف .

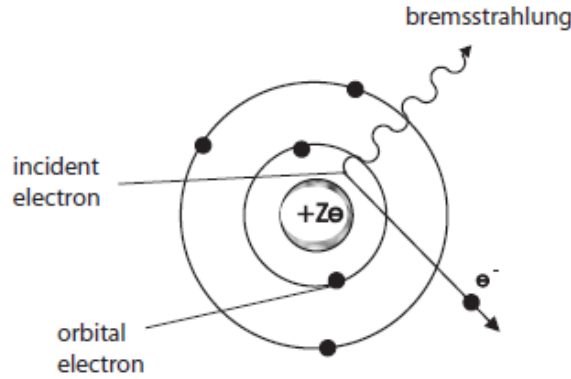
A : العدد الكتلي لمادة الهدف .

$$Q = \alpha . r_e^2 N_A = 3.49 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 / g \dots \dots \dots (2)$$

$\alpha = \frac{1}{137}$: ثابت التركيب الدقيق .

$r_e^2 = 2.81798 \times 10^{-13} \text{ cm}$: نصف قطر الالكتران الكلاسيكي .

$N_A = 6.023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$: عدد أفوكادرو .



شكل (١): الكترون الداخل الى المادة يتفاعل مع المجال الكولومي النووي مما ينتج عنه انبعاث اشعة التوقف [16].

اما الدالة التقريبية $\Phi_{Rad}^{total}(E, Z)$ فهي تعرف بموجب الدالة [٢١]:

$$\Phi_{Rad}^{total}(E, Z) = d_1(Z) \frac{1 + [\sum_{i=1}^4 f_i(Z)(\ln E)^i]}{1 + [\sum_{i=1}^4 h_i(Z)(\ln E)^i]} \dots\dots\dots(3)$$

وبعد تعويض تسعة قيم لمعاملات للعناصر قيد الدراسة فان المجموع الجبري $d_i(Z)$, $f_i(Z)$, $h_i(Z)$ لقيم $i = 1-4$

في المعادلة ٣ تصبح لعنصر الفسفور بالشكل الاتي :

$$\Phi_{Rad}^{total}(E) = 6.4185 \frac{1 + [\sum_{i=1}^4 0.37989(\ln E) + 0.21113(\ln E)^2 + 0.029674(\ln E)^3 + 0.0011364(\ln E)^4]}{1 + [\sum_{i=1}^4 0.11917(\ln E) + 0.0724(\ln E)^2 + 0.007674(\ln E)^3 + 0.0006196(\ln E)^4]} \dots\dots\dots(4)$$

ولعنصر البوتاسيوم:

$$\Phi_{Rad}^{total}(E) = 6.4190 \frac{1 + [\sum_{i=1}^4 0.39877(\ln E) + 0.22125(\ln E)^2 + 0.033097(\ln E)^3 + 0.0014364(\ln E)^4]}{1 + [\sum_{i=1}^4 0.1508(\ln E) + 0.077853(\ln E)^2 + 0.008592(\ln E)^3 + 0.0007928(\ln E)^4]} \dots\dots\dots(5)$$

اما لعنصر الكالسيوم:

$$\Phi_{Rad}^{total}(E) = 6.4197 \frac{1 + [\sum_{i=1}^4 0.40113(\ln E) + 0.22292(\ln E)^2 + 0.033685(\ln E)^3 + 0.0014848(\ln E)^4]}{1 + [\sum_{i=1}^4 0.1562(\ln E) + 0.0799(\ln E)^2 + 0.00874(\ln E)^3 + 0.0008217(\ln E)^4]} \dots\dots(6)$$

يلاحظ ان الدالة التقريبية في المعادلات (٤ ، ٥ ، 6) هي دالة للطاقة الحركية للإلكترون وترتبط القدرة الاشعاعية

بالقدرة التصادمية للإلكترون بموجب العلاقة التالية [2]

$$\frac{S_{Rad}}{S_{Coll}} = \frac{EZ}{750} \dots\dots\dots(7)$$

تقريب المدى التباطئي المستمر R_{CSDA} :

عند مرور الإلكترون خلال المادة ، فان متوسط فقدان الطاقة dE/dx يتم التعبير عنه بمعدل قدرة ايقافها ، حيث

انها تفقد كل طاقتها وتتوقف كلياً بعد قطعها معدل مدى يعرف بالعلاقة [20]

$$R = \int (dE/dx)^{-1} dE \dots\dots\dots(8)$$

ان الطاقة المفقودة للجسيمات المشحونة ما هي الا مجرد عملية احتمالية probabilistic process ، فالجسيم يبذل

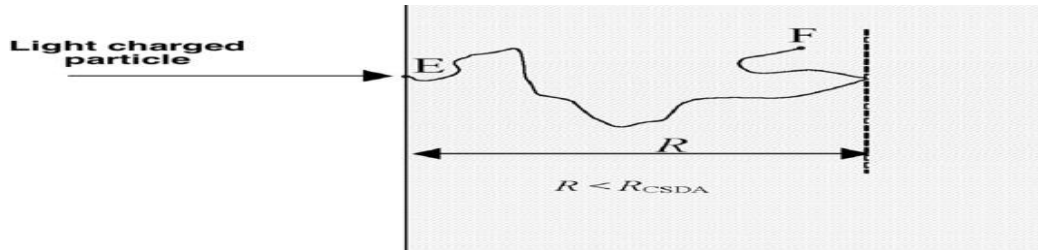
طاقته بمعدل اقل او اكثر من dE/dx والانتشار حول معدل فقدان الطاقة يسمى بالتبعثر straggling وبموجب المعادلة

(٨) فان المدى R يعرف على انه طول المسار لجسيم والذي يفقد طاقته بمعدل متوسط الا ان الجسيم الحقيقي يتحرك باقل

او اكثر من R (لاحظ شكل رقم ٢) وبالنتيجة فان تبعثر الطاقة يؤدي الى مدى مبعثر لذا فان متوسط معدل المدى يسمى

بمدى التقريبي التباطئي المستمر (CSDA) وبالنتيجة فان متوسط المدى R يسمى ايضا بمدى R_{CSDA} فمدى تبعثر

الالكترونات يتراوح ما بين ١٠%-١٥% من مدى CSDA [21] .



شكل (٢) : مخطط يوضح اختراق جسيم خفيف مشحون (الالكترون او البوزترون) الى وسط مادي [22] .

قدم العالم تابتا وجماعته دالة تقريبية مهمة لحساب تقريبا مدى التباطئ المستمر والذي هو دالة للعدد الذري Z

وطاقة الحركية لإلكترون الساقط $E = m_e c^2 \tau$ تعرف بالعلاقة [15] :

$$R_{CSDA}^{Fit} = \frac{c_1}{B} \left[\frac{\ln(1 + c_2 \tau^{c_3})}{c_2} - \frac{c_4 \tau^{c_5}}{1 + c_6 \tau} \right] \dots \dots \dots (9)$$

$$B = 2 \ln \left(\frac{\tau}{1.957 I + c_7 \tau} \right) + \ln(1 + 0.5 \tau) \dots \dots \dots (10)$$

$$c_1 = Ad_1 / Z^{d_2}, c_2 = d_3 Z^{d_4}, c_3 = d_5 - d_6 Z$$

$$c_4 = d_7 - d_8 Z, c_5 = d_9 = Z d_{10}, c_6 = d_{11} / Z^{d_{12}}$$

$$c_7 = d_{13} Z^{d_{14}} \dots \dots \dots (11)$$

$$\tau = 1.957 E \dots \dots \dots (12)$$

وان قيم الثابت تعرف بالجدول d_i ادناه.

جدول (١): قيم الثوابت المستعملة في معادلة التقريب التباطئي المستمر للمدى [1٥]

n	d	n	d
1	3.6	8	0.0001303
2	0.98882	9	1.02441
3	0.001191	10	0.00012986
4	0.86620	11	1.030
5	1.02501	12	0.0111
6	0.00010803	13	0.0000011
7	0.99628	14	0.959

ان معدل جهد التأين لعنصر الفسفور $I=173 \times 10^{-6} \text{ MeV}$ ، ولعنصر البوتاسيوم $I=191 \times 10^{-6} \text{ MeV}$ ولعنصر الكالسيوم $I=228 \times 10^{-6} \text{ MeV}$ وجهود التأين هذه حسبت من قبل [2] وعادة ما يتم التعبير عن المدى بوحدة السمك الكتلي mass thickness (g/cm^2) اكثر من السمك الخطي وذلك لان السمك الكتلي غير معتمد على كثافة المادة الجدول (٢) يلخص التفاعلات المحتملة للإلكترونات مع المادة .

جدول (٢): تصنيف تفاعلات الالكترن مع المادة [١٨].

التغير في		عنصر التفاعل
الوسط	الاشعاع	
التفاعلات النووية ، التفاعلات النووية ، التهييج ، التأين ، اشعاع شيرنكوف ، التفاعلات النووية	التباطئي، الامتصاص	الكترونات القشرة
التفاعلات النووية، التغيرات الكيميائية	التباطئي، الامتصاص، الاستطارة	المجال الكولومي للنواة

٣. النتائج والمناقشة (Results & Discussion)

عند دخول الالكترتون الى الوسط المادي لا يفقد طاقته الحركية فحسب واما يتغير اتجاهه ايضا وبشكل مستمر وهذا الجسم يعاني من انحرافات بزوايا كبيرة على طول مساره عند دخوله المجال النووي وذلك بسبب صغر مقدار كتلته بالمقارنة مع كتلة نواة ذرة الهدف .ان الكميتين : قدرة الايقاف الاشعاعية S_{Rad} و تقريب المدى التباطئي المستمر R_{CSDA} هي كميات متوسطة mean quantities تنتج من كم هائل من التفاعلات الفردية individual interactions للإلكترونات مع مكونات مادة الهدف والتي تتضمن فقدان الطاقة بطرق فيزيائية مختلفة مثل الاستطارة المرنة Elastic scattering والفقدان الاشعاعي للطاقة والمصحوب عادة بانبعثات فوتونات اشعة التباطئي Bremsstrahlung.

الجدول (٣) يبين المقارنة بين النتائج المحسوبة لقدرة الايقاف الاشعاعية S_{Rad} لعنصر الفسفور بموجب معادلة بيركر- سليتزر (معادلة ١) مع نتائج القدرة الايقاف الاشعاعية للكود العالم [20]Estar والملاحظ في الجدول المذكور تزايد قيم S_{Rad} بزيادة الطاقة الحركية للإلكترونات الساقطة T لكل عنصر وهذا الحالة يمكن تفسيرها على ان إلكترونات ذات الطاقات الواطئة (البطيئة) تقضي فترة زمنية اطول في تفاعلاتها مع الالكترونات المدارية لمادة الهدف وهي بذلك تمتلك اكبر احتمالية للتفاعل مع الالكترونات المدارية orbital electrons بينما نجد الالكترونات ذات الطاقة الكبيرة (السريعة) تخترق المجال الكولومي للإلكترونات المدارية دون ان تتأثر بها كثيرا وهذا يعني انها تمتلك احتمالية قليلة للتفاعل مع الالكترونات المدارية وينفس الوقت تشير الى قابليتها على اختراق حاجز الجهد الكولومي وتخضع للتفاعل النووي القوي strong nuclear force لاقتربها الى مسافة تأثير القوى النووية والبالغة 1 فيرمي من نواة عنصر ذرة الهدف وعلى اثرها تفتح قناة فقدان الطاقة الاشعاعية .

جدول(3): مقارنة قدرة الايقاف الاشعاعية بوحدة $\text{MeV.cm}^2/\text{g}$ للإلكترونات في الفسفور ضمن مدى الطاقة

$$0.01\text{MeV} \leq T \leq 10\text{MeV}$$

E(MeV)	S _{Rad} Berger – Seltzer [21]	S _{Rad} Estar code [20]	Error%	E(MeV)	S _{Rad} Berger –Seltzer [21]	S _{Rad} Estar code [20]	Error %
0.01	0.0751	0.0075	0.07	0.6	0.01619	0.0162	0.08
0.02	0.00804	0.0080	0.51	0.7	0.01814	0.0181	0.24
0.03	0.00825	0.0082	0.56	0.8	0.02020	0.02020	0
0.04	0.00836	0.0084	0.47	0.9	0.02235	0.0223	0.21
0.05	0.00844	0.00841	0.51	1	0.02458	0.0246	0.1
0.06	0.00851	0.0085	0.17	2	0.05012	0.05020	0.16
0.07	0.00858	0.0086	0.2	3	0.07955	0.0797	0.19
0.08	0.00865	0.00861	0.61	4	0.11139	0.1115	0.1
0.09	0.00873	0.0087	0.29	5	0.14493	0.14490	0.02
0.1	0.0088	0.0088	0.02	6	0.17972	0.17960	0.07
0.2	0.0098	0.0098	0.04	7	0.21551	0.2153	0.1
0.3	0.01111	0.0111	0.09	8	0.252111	0.2519	0.08
0.4	0.01265	0.0126	0.36	9	0.28938	0.2891	0.1
0.5	0.01435	0.0143	0.33	10	0.32722	0.3269	0.1

ومن مقارنة قيم الطاقة الاشعاعية المفقودة للعناصر قيد الدراسة في الجداول (٤, 5, ٦) نجد انه قدرة الايقاف الاشعاعية تتزايد بزيادة العدد الذري Z للعناصر وهذه الظاهرة تفسر على انه بزيادة التأثير الكولومي (زيادة Z للمادة الهدف) حيث يزداد التعجيل المكتسب من الالكترتون ومن جهة اخرى وعلى النقيض من ذلك تتناقص فقدان الطاقة التصادمية بزيادة Z (معادلة ٧) وهذا يحدث لان المادة ذات العدد الذري الكبير تمتلك عدد الكترونات قليل لكل وحدة غرام وحسب المعادلة الاتية [22]

$$n = N_A Z \rho / A M_U \dots \dots \dots (١٣)$$

وتكون هذه الالكترونات ذات ارتباط قوي جدا.

جدول(٤): مقارنة قدرة الايقاف الاشعاعية بوحدة $\text{MeV.cm}^2/\text{g}$ إلكترونات في البوتاسيوم ضمن مدى الطاقة

$$0.01\text{MeV} \leq T \leq 10\text{MeV}$$

E(MeV)	S_{Rad} Berger – Seltzer [21]	S_{Rad} Estar code [٢٠]	Error%	E(MeV)	S_{Rad} Berger –Seltzer [21]	S_{Rad} Estar code [٢٠]	Error%
0.01	0.00926	0.00922	0.45	0.6	0.02086	0.02078	0.39
0.02	0.0102	0.01014	0.45	0.7	0.02333	0.02324	0.40
0.03	0.01057	0.01052	0.5	0.8	0.02593	0.02583	0.40
0.04	0.01079	0.01074	0.51	0.9	0.02865	0.02853	0.41
0.05	0.01095	0.0109	0.44	1	0.03146	0.03133	0.24
0.06	0.01107	0.01102	0.48	2	0.06362	0.06347	0.22
0.07	0.01118	0.01113	0.48	3	0.10052	0.1	0.24
0.08	0.0113	0.01124	0.44	4	0.14034	0.14	0.32
0.09	0.0114	0.01134	0.48	5	0.1822	0.18161	0.38
0.1	0.0115	0.01145	0.45	6	0.22556	0.2247	0.42
0.2	0.0128	0.01274	0.36	7	0.27012	0.269	0.42
0.3	0.01445	0.0144	0.40	8	0.31566	0.3144	0.40
0.4	0.01638	0.01631	0.46	9	0.362	0.3605	0.41
0.5	0.01854	0.01846	0.41	10	0.40902	0.4074	0.40

ومن ملاحظة الاشكال (5,4,3) فهي توضح مقارنة R_{CSDA} المحسوب بطريقة ثابتا وجماعته (المعادلات 9-12)

مع قيم الكود Estar [20] لعناصر الفسفور، البوتاسيوم والكالسيوم فالمدييات المبينة في الشكل (3) تتزايد مع زيادة T

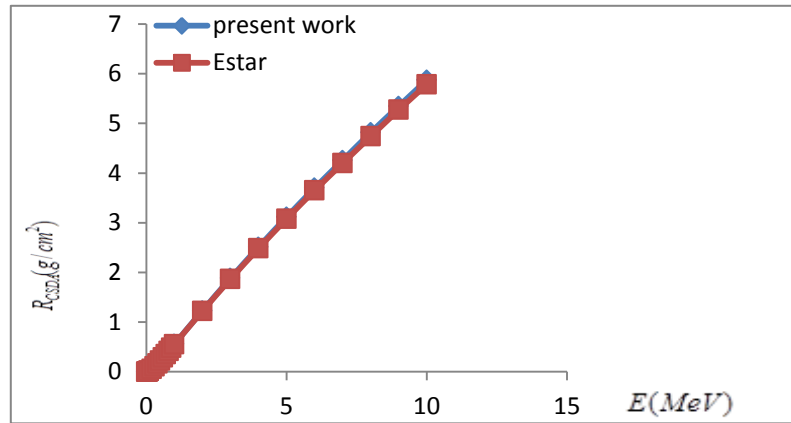
لكل عنصر وتكون متطابقة بشكل جيد مع قيم Estar ولو قارنا نتائج R_{CSDA} للعناصر الثلاثة (الفسفور، البوتاسيوم

والكاليسيوم) معا نجد تزايد تقريب المدى التباطئ المستمر ايضا بزيادة Z و يحدث انحراف بين القيم بحيث تكون قيم R_{CSDA} المحسوبة بطريقة تابنا وجماعتها اقل من قيم Estar (اقصى قيمة خطأ تم حسابها وجد انها لا يتجاوز ٣.١٤% لعنصر الكاليسيوم) والسبب قد يكمن في استعمال قيم مختلفة لمعدل جهد التأيين ا من قبل الطريقة المعتمدة في هذا البحث (معادلة ١٠) مع قيمة معدل جهد التأيين المستعملة ضمن الكود العالمي والامر المهم الواجب الاشارة اليه هي ان نسبة الخطأ اعلاه طفيفة جدا ولا تشكل خطأ في تفسير النتائج المستحصلة من استعمال طريقة تابنا وجماعته .

جدول(5): مقارنة قدرة الايقاف الاشعاعية بوحدة $\text{MeV.cm}^2/\text{g}$ إلكترونات في الكاليسيوم ضمن مدى الطاقة

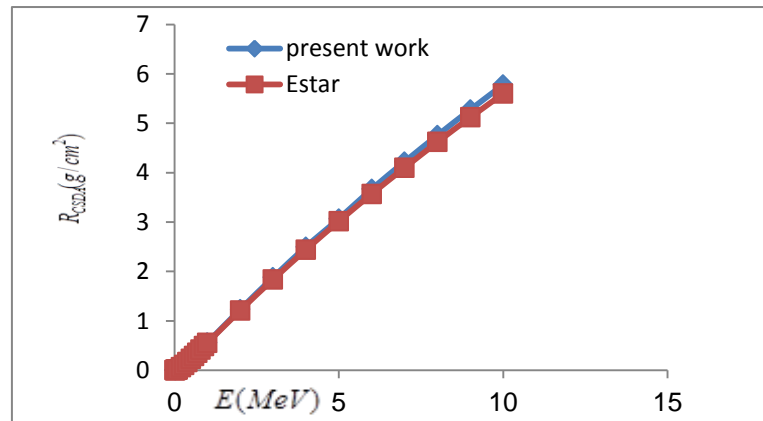
$$(\text{MeV. } 0.01 \leq T \leq 10)$$

E(MeV)	S_{Rad} Berger – Seltzer [21]	S_{Rad} Estar code [20]	Error%	E(MeV)	S_{Rad} Berger –Seltzer [21]	S_{Rad} Estar code [20]	Error%
0.01	0.00992	0.00988	0.36	0.6	0.02261	0.02253	0.35
0.02	0.01097	0.01093	0.37	0.7	0.02528	0.02519	0.34
0.03	0.01142	0.01137	0.45	0.8	0.02808	0.02798	0.36
0.04	0.01168	0.01163	0.43	0.9	0.03101	0.0309	0.38
0.05	0.01186	0.01181	0.43	1	0.03404	0.03391	0.39
0.06	0.01201	0.01195	0.47	2	0.06871	0.06858	0.18
0.07	0.01213	0.01208	0.44	3	0.10844	0.1083	0.13
0.08	0.01225	0.0122	0.43	4	0.1513	0.151	0.20
0.09	0.01237	0.01232	0.41	5	0.19633	0.1958	0.27
0.1	0.0125	0.01244	0.4	6	0.24298	0.2422	0.32
0.2	0.0139	0.01385	0.3	7	0.29091	0.29	0.31
0.3	0.0157	0.01564	0.3	8	0.33988	0.3387	0.35
0.4	0.0178	0.01771	0.39	9	0.3897	0.3883	0.36
0.5	0.0201	0.02003	0.35	10	0.44026	0.4388	0.33

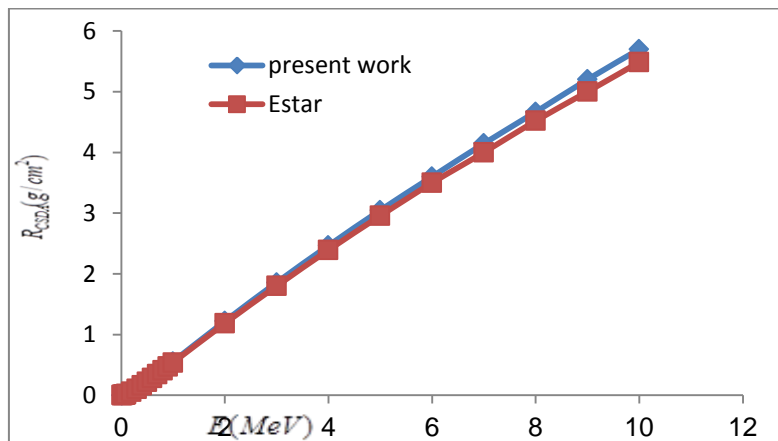


شكل (3): مقارنة لقيم تقريب المدى التباطئ المستمر R_{csda} بطريقة ثابتا وجماعته [15] والكود العالمي Estar لعنصر الفسفور P.

لعنصر الفسفور P.



شكل (4): مقارنة لقيم تقريب المدى التباطئ المستمر R_{csda} بطريقة ثابتا وجماعته [15] والكود العالمي Estar لعنصر K.



شكل (5): مقارنة لقيم تقريب المدى التباطئ المستمر R_{csda} بطريقة ثابتا وجماعته [15] والكود العالمي Estar لعنصر الكالسيوم Ca.

الكالسيوم Ca.

٤. الاستنتاجات (Conclusions)

ان فقدان الطاقة الاشعاعية لإلكترونات في العناصر هي عملية احتمالية تتناسب خطيا مع طاقة الكترون الساقط T و العدد الذري لمادة Z الهدف كما هو واضح في علاقة بيركر-سليترز بتناقص T نقل احتمالية التفاعل الاشعاع التباطئي وتزداد فقدان الطاقة التصادمية للإلكترونات ذلك لان الكترون يقضي معظم وقته في التفاعلات التصادمية مع الكترونات ذرات الهدف وبالتالي يستهلك معظم طاقته الحركية مما يمنع وصل الكترونات سريعة (ذات طاقة حركية عالية) الي المجال النووي وتبعث نسبة قليلة من اشعة التباطئي ولذلك تكون قيم S_{Rad} قليلة جدا، اما بالنسبة لتقريب المدى التباطئي المستمر R_{CSDA} المحسوب بطريقة ثابتا فأن يتناسب خطيا مع طاقة الالكرونات القاصف للمادة العدد الذري لمادة الهدف بشكل مباشر لاحظ المعادلات من ٩-١٢ و بشكل غير مباشر في المعادلة ١٠ حيث يعتمد a على Z . نتوقع زيادة في انحراف divergence قيم R_{CSDA} عن تلك المحسوبة وفق الكود Estar بزيادة مدى الطاقة مما يتطلب اضافة تحويلات modifications لمعادلة ثابتا التقريبية لضمان عدم حصول تباعد كبير في قيمها المحسوبة .

المصادر (References)

- [1] Brian J. McParlan " *Nuclear Medicine Radiation Dosimetry-Advanced Theoretical Principles*" Ch.7, p.210-212 Springer-Verlag London Limited (2010).
- [2] Mustafa Cagatay Tufan and Hasan Gumus " *A study on the calculation of stopping power and CSDA range for incident positrons* " journal of nuclear material 412 p.308-314(2011).
- [3] Anshu Saxena, S.K.Rathi and A.S.Verma" *Continuous Slowing Down Approximation (CSDA) ranges of electrons for biomedical materials*" Bio. Phys. Vol.37 p. 3860-3863, (2011).
- [4] Berger M. J., Seltzer S. M. Seltzer," *Stopping powers and ranges of electrons and positrons*" (National Bureau of Standards Report, NBSIR 82-2550 A, (1982).



- [5] "Stopping powers for electrons and positrons. (International Commission on Radiation Units and Measurements ICRU" Bethesda, MD Report No. 37,(1984).
- [6] A.Jablonski , S.Tanuma and C.J. Powell " *modified predicative formula for electron stopping power*" J.Applied physics p.103, (2006).
- [7] Zhenyu Tan , Yueyuan Xia , Mingwmino . Zhao and Xiangdong Liu " *Electron stopping power and inelastic mean free path in a acids and protein over energy range 20–20keV*" Radiation Environment Biophysics, vol.45 , p.135–143 (2008).
- [8] Sabah Mahmoud A ,Rafa Abdala A. , Adwan Nayeff H. and Ahmad Mohamad A. " *Stopping Power for Tungsten $^{183}_{74}\text{W}$* " Tikrit for pure science, p.118–1162 J. (2014).
- [9] Tan, Z., Xia, Y., Zhao, M., Liu, X., Li, F., Huang, B., Ji, Y., " *Electron stopping power and mean free path in organic compounds over the energy range of 20–10000 eV* . Nucl.Instrum. Meth. B Vol. 222, p.27–43, (2004).
- [10] Gumus H., " *Simple stopping power formula for low and intermediate energy electrons*". Radiat. Phys. Chem. Vol.72, p.7–12.,(2005)
- [11] Akkerman, A., Akkerman, E., " *Characteristics of electron inelastic interactions in organic compounds and water over the energy range 20–10 000 eV* . J. Appl. Phys. Vol. 86, p.5809–5816, (1999).
- [12] Dingfelder, M., Hantke, D., Inokuti, M., Paretzke, H.G., " *Electron inelastic scattering cross sections in liquid water*". Radiat. Phys. Chem. Vol. 53, p.1–18 (1998).
- [13] Verne, J., Pimblott, M.S., Electron energy–loss distributions in solid, Dry DNA. Radiat. Res. Vol. 141, p. 208–215, (1995).

- [14] Tatjana Jevremovic “**Nuclear Principles in Engineering Second edition**”
ch.7,p.231Springer Science + Business Media, LLC (2009).
- [15] Tabata, T., Andreo, P., and Shinoda, K., Nucl. Instr. Meth. B119:p.p 463, (1996).
- [16] Günter Zschornack ” **Handbook of X-Ray Data**” Ch.2,p.93 Springer Berlin Heidelberg
(2007).
- [17] N.J.Caron “**An Introduction to the Passage of Energetic Particles through Matter**”
”Ch. 3 ,p.185–1862007 by Taylor and Francis Group, LLC,(2007).
- [18] Attila Vertes, Sandor Nagy, Zoltan Klencsar, Rezso”G.Lovas and Frank Rosch
”**Handbook of Nuclear Chemistry Second Edition**”ch.8, p.376 Springer (2011).
- [19] Ervin B. Podgorsak “**Radiation physics for Radiation Physicist’s** ”Ch.5,p.159,
Springer ,Verlag ,Germany, (2006).
- [20] ESTAR. “**Stopping power and range tables for electron**”. Data available from,
[http://physics.nist.gov/Phys Ref Data/Star/Text/ESTAR.html](http://physics.nist.gov/PhysRefData/Star/Text/ESTAR.html).
- [21] Steophen M .Seltzer and Martin J.Berger “**procedure for calculating the radiation
stopping power for electrons**”p. 1219–1226.Int .J appl.Rad,Isot Vol.33(1982).
- [22] Kenth Krane ” **Modern Physics 2nd edition** ” Ch .5 p.145 John Wiley and sons
Inc USA(1996) .

المؤلف

مصعب عماد محمد نعمان: بكالوريوس علوم في فيزياء الليزر / الجامعة التكنولوجية / قسم
العلوم التطبيقية ، طالب ماجستير في الفيزياء الذرية / جامعة تكريت / كلية العلوم.

