

حساب قدرة الإيقاف للإلكترونات في ستة أنواع من أنسجة جسم الإنسان في مدى طاقة (20-20000 eV)

راشد عويد كاظم

حنين شاكر هادي

جامعة الكوفة /كلية التربية للبنات

Suranoaman@gmail.com

rashid.alghanimi@uokufa.edu.iq

الخلاصة:

تم في هذه الدراسة حساب قدرة الإيقاف الالكترونية للإلكترونات الساقطة على ستة أنواع من أنسجة جسم الإنسان (Muscle (skeletal), soft tissue, Lung tissue, Brain (gray/white matter), Testis, Ovary) ضمن مدى طاقة (20-20000) eV. حيث فقدان الجسيمات المشحونة طاقتها من خلال التفاعلات نتيجة اختراقها المادة يعد من الأمور في غاية الأهمية وبشكل خاص في موضوع التشخيص والمعالجات الطبية.

باعتماد أداة مطابقة المنحني Curve fitting tool وبعتماد بيانات Z. Tan and W. Liu لحساب قدرة الإيقاف الالكترونية للإلكترونات والحصول على معادلة لكل نسيج ومنها الحصول على معادلة شبه تجريبية لحساب قدرة الإيقاف الالكترونية للإلكترونات في ستة أوساط في هذا البحث.

قورنت النتائج المحسوبة من خلال المعادلة الشبه تجريبية التي تم الحصول عليها مع نتائج Z. Tan and W. Liu وبعد حساب معامل CORREL والخطأ المعياري STEYX للنتائج فأظهرت توافقاً جيداً.

الكلمات المفتاحية: قدرة إيقاف الإلكترون ، فقدان الطاقة ، المعادلة شبه التجريبية.

Stopping Power Calculations of Electron in Six Types of Human Tissue for Energies (20-20000eV)

Hanin Shaker Hadi

Rashid Owaid Kadhim

University of Kufa, College of Education for Girls

Abstract:

In this study the electron stopping power was calculated for electron interacted in six types of human tissue (Ovary, testis, Brain(gray/white matter), Lung tissue, Soft tissue, Muscle(skeletal)), in the range of energy (20-20000)eV. Losing charged particles energy through interactions due to the penetration of material is very important, especially in the subject of diagnosis and medical treatments. Adopted Curve Fitting Tool and Z. Tan and W. Liu data to the electronic stopping power was calculated for electron and getting the equation for each tissue then we can obtain semi-empirical equation to the electronic stopping power was calculated for electrons in the six mediums studied in this paper. the calculated results were compared through the semi-empirical equation obtained from the source results Z. Tan and W. Liu. After calculating the correlation coefficient CORREL and the standard error STEYX for the results of Semi-empirical equation, the obtained results show a satisfactory agreement.

Keywords: electron stopping Power; Energy loss; Semi-empirical equation.

١. مقدمة

عند مرور الجسيمات المشحونة عبر الأوساط المادية فإنها تفقد جزء من طاقتها بشكل مستمر في عدد كبير من التصادمات والجسيمات المشحونة تخترق المادة وتصطدم وتؤين الإلكترونات الذرية وتتحرك بسرعة v وبشحنة Ze وبكتلة m [1]. والطريقة التي تفقد بها الجسيمات المشحونة طاقتها عنده مرورها بالأوساط المختلفة مثل الغازات والسوائل والمواد الصلبة هي التفاعل الحاصل بين الجسيمات الساقطة وذرات هذه الأوساط، ومن الممكن تقسيم هذه التفاعلات إلى [2,3,4,5] :

1-تفاعلات الجسيمات المشحونة الثقيلة مع المادة والتي تصنف بدورها إلى مجموعتين:

i-الجسيمات المشحونة الثقيلة والتي عددها الذري ($Z_1 < 2$) مثل البروتونات.

ii-الجسيمات المشحونة الثقيلة والتي عددها الذري ($Z_1 \geq 2$) مثل جسيمات الفا وشظايا الانشطار.

2-تفاعل الجسيمات المشحونة الخفيفة (مثل الإلكترونات والبوزترونات).

3-تفاعل أشعة كاما مع المادة.

4-تفاعل النيوترونات مع المادة .

إن الكمية المهمة التي يجب إن نتطرق لها هي قدرة الإيقاف $\left(-\frac{dE}{dx}\right)$ التي تعرف بأنها مقدار الطاقة الضائعة في وحدة الطول لجسيم مشحون ساقط على مادة معينة ، أن عملية فقدان الطاقة من الجسيمات المشحونة أخذت وما زالت تأخذ اهتماما واسعا في مجالات الفيزياء الذرية والنووية كافة ومجالات العلوم الأخرى [6]، أول من وضع النظرية الخاصة لحساب قدرة الإيقاف في التصادمات بين الجسيمات المشحونة الثقيلة والإلكترونات هو بيث عام 1932/ 1930 وبور عام 1948 [3] .

إن مرور الإلكترونات خلال الأوساط المادية هي مماثلة لمرور الجسيمات المشحونة الثقيلة خلال الأوساط المادية أي أن تفاعل كولوم يكون مهيمنا ومع ذلك هناك ثلاثة اختلافات واضحة يمكن رؤيتها بسهولة [7] :

1-الإلكترونات الساقطة عادة هي جسيمات نسبية .

2-التشتت غالبا ما يكون بين الجسيمات المتماثلة والمتنافرة .

3-تفاعل مع نوى فعالة ، واتجاه الإلكترون يمكن أن يتغير إلى عكس اتجاهه، عندما يتصادم مع نواة ثقيلة .

أن تفاعل الإلكترونات مع المادة أكثر تعقيدا من تفاعل الجسيمات المشحونة الثقيلة مع المادة [3] وذلك لأنه :

1- إن الإلكترون الساقط والإلكترونات الموجودة داخل المادة لها الكتلة نفسها فانه سيكون هناك استطارة أكثر للإلكترون الساقط (لا يمكن معرفة أي منهما قد كان الإلكترون الساقط) ولهذا فان طول المسار خلال المادة يمكن أن يكون اكبر بكثير من الخط المستقيم أو طول المدى.

2-شحنة الجسم الساقط لا تتغير إطلاقا ولهذا فان فقدان الطاقة بواسطة التأين يكون كبيرا جدا بالنسبة للطاقات التي تصل في حدود الإلكترون فولت وهذا يسبب فجوات عند نهاية مسار الإلكترون.

٣- أن الإلكترونات ذات طاقة حركية معينة تكون سرعتها اكبر من سرعة الجسيمات الثقيلة ذات الطاقة نفسها ولهذا فان فقدان طاقة الإلكترونات بواسطة انبعاث الإشعاعات الكهرومغناطيسية يبقى مهما عند طاقات اقل بكثير من تلك التي تكون للبروتونات مثلا [2].

إذا كانت طاقة الإلكترون الذي يدخل المادة صغيرا جدا فانه سيمر من دون ان يحدث أي أثر يذكر على جزيئات المادة، اما اذا كانت طاقته اكبر من ذلك فمن المحتمل ان يعطي طاقة الى الكترونات الذرة حسب نظرية بور مما يؤدي الى تهيجها الى مستويات طاقة اعلى او يحدث تأينا [4]. نجد أن معدل فقدان طاقة الإلكترونات في المواد [7] :

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{electron}} = -\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{electronic}} + -\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{radiative}} \dots (1)$$

هناك عمليتان أساسيتان يفقد بها الإلكترون طاقته عند مروره خلال الأوساط المادية :

1- فقدان الطاقة بواسطة التصادم غير المرن مع الكترونات الذرة ولمعرفة مقدار الطاقة المفقودة في التصادم غير المرن بين الإلكترونات الساقطة والكترونات الذرة تستخدم المعادلة التي وضعها Mott عام 1949\1930 وذلك للطاقات الواطئة إما في

الإلكترون في شكل إشعاع انكباح على وحدة الطول من المسار داخل المادة تستخدم العلاقة التالية [8] :

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{rad}} = \frac{4Z(Z+1)e^4NE}{137m_e^2c^2} [\ln(183 Z^{-1/2}) + 0.125] \dots (4)$$

وهذه العلاقة تمثل قدرة الإيقاف عن طريق الإشعاع صالحة مادامت طاقة الإلكترونات كبيرة، أي ($E > m_e c^2$)، أما إذا كانت طاقة الإلكترونات صغيرة فإنه يمكن إهمال فقدان الطاقة عن طريق الإشعاع، فإن قدرة الإيقاف الكلية للإلكترونات :

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{tot}} = \left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{inel}} + \left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{rad}} \dots (5)$$

٢- الحسابات والنتائج والمناقشة

Calculations, Results and Discussion

لقد تم حساب قدرة الإيقاف للإلكترونات في بعض أنسجة جسم الإنسان في مدى الطاقة $(20-20000) \text{ keV}$ ، الإشكال (1,2,3,4,5,6) توضح قدرة الإيقاف للإلكترونات المارة خلال ستة أنواع من أنسجة جسم الإنسان وقد تم حسابها في هذه الدراسة باعتماد بيانات قدرة الإيقاف للإلكترونات في Z. Tan (2013) and W. Liu [9] وقد تم برمجتها بلغة الماتلاب Matlab كما تم إجراء مطابقة (Curve Fitting) للبيانات من المصدر [9] والحصول على معادلات شبه تجريبية مع معاملاتها لقذيفة الإلكترون في كل نسيج من أنسجة جسم الإنسان قيد الدراسة حيث هذه المعادلة تمثل قدرة إيقاف الإلكترونات في مدى الطاقة $(20-20000) \text{ eV}$ كما موضح بالجدول (1)

الطاقات العالية يجب إضافة التصحيحات النسبية كافة لمعادلة Mott [3] ويمكن الحصول على القيمة النظرية لقدرة الإيقاف للإلكترونات عندما تكون طاقتها صغيرة ($E < m_e c^2$) بالمقارنة بطاقة السكون لها وذلك من العلاقة التالية [8]:

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{inel}} = \frac{4\pi e^2}{m_e v^2} ZN \left[\ln \left(\frac{m_e v^2}{2I} \right) + 0.15 \right] \dots (2)$$

أما إذا كانت طاقة الإلكترونات كبيرة ($E > m_e c^2$) تكون القيمة النظرية لقدرة الإيقاف هي [8]:

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{inel}} = \frac{2\pi e^2}{m_e c^2} ZN \left[\ln \left(\frac{m_e c^2}{2I} \right) + 0.15 \right] \dots (3)$$

٢-فقدان الطاقة بواسطة الإشعاع أن الإلكترونات ذات الطاقة العالية قد تصل إلى مسافة تقترب من المدار الذري k وذلك نتيجة تأثير قوة التجاذب الكولومية (F) بين الإلكترونات وبين النواة فعند اقترابه إلى هذه المسافة والذي يطلق عليها بمعامل التصادم (impact parameter) ينحرف ويصاحب هذا الانحراف انبعاث فوتونات طاقتها الكلية جزءا من طاقة الإلكترون الساقط وذلك لان النواة تحاول إيقاف الإلكترونات بواسطة القوة الكولومية لكن الإلكترون يحصل له تعجيل نتيجة المجال الكهرومغناطيسي للنواة حيث يصاحب هذا التعجيل انبعاث اشعاع يطلق عليه بأشعة التوقف (bremsstrahlung) (وهي كلمة ألمانية تعني أشعة الكبح) (braking radiation) وتخرج هذه الأشعة نتيجة الانحراف الذي يحدث في مسار الإلكترونات مما يؤدي إلى تعجيلها عندما تصادف في طريقها نوى أو إلكترونات ذرية [3] لحساب الطاقة التي يفقدها

جدول (١) يوضح المعادلات شبه التجريبية التي تمثل قدرة إيقاف الإلكترونات في بعض أنسجة جسم الإنسان .

$Fit = \frac{(P_1 E^5 + P_2 E^4 + P_3 E^3 + P_4 E^2 + P_5 E + P_6)}{(J_1 E^4 + J_2 E^3 + J_3 E^2 + J_4 E + J_5)}$	مدى الطاقة (20-20000)eV					
	اسم النسيج					
	Ovary	Testis	Brain(gray /white matter)	Lung tissue	Soft tissue	Muscle (skeletal)
	$P_1 = 0.1884$	$P_1 = 0.1873$	$P_1 = 0.1909$	$P_1 = 0.189$	$P_1 = 0.1921$	$P_1 = 0.1913$
	$P_2 = 1075$	$P_2 = 1066$	$P_2 = 1057$	$P_2 = 1069$	$P_2 = 1071$	$P_2 = 1059$
	$P_3 = -2.521 e^4$	$P_3 = -2.499 e^4$	$P_3 = -2.476 e^4$	$P_3 = -2.508 e^4$	$P_3 = -2.513 e^4$	$P_3 = -2.485 e^4$
	$P_4 = -63.02$	$P_4 = -90.17$	$P_4 = -102.7$	$P_4 = -36.14$	$P_4 = -13.73$	$P_4 = -487.8$
	$P_5 = 55.97$	$P_5 = 53.39$	$P_5 = 51.28$	$P_5 = 58.57$	$P_5 = 60.36$	$P_5 = 12.46$
	$P_6 = 4.978$	$P_6 = 4.927$	$P_6 = 5.467$	$P_6 = 5.238$	$P_6 = 5.891$	$P_6 = 2.014$
	$J_1 = 75.23$	$J_1 = 74.62$	$J_1 = 70.65$	$J_1 = 73.9$	$J_1 = 71.06$	$J_1 = 70.48$
	$J_2 = 1.214 e^4$	$J_2 = 1.208 e^4$	$J_2 = 1.18 e^4$	$J_2 = 1.212 e^4$	$J_2 = 1.201 e^4$	$J_2 = 1.2 e^4$
	$J_3 = 2486$	$J_3 = 2379$	$J_3 = 2367$	$J_3 = 2475$	$J_3 = 2565$	$J_3 = 1572$
	$J_4 = 121$	$J_4 = 115.1$	$J_4 = 115.5$	$J_4 = 120.5$	$J_4 = 125.4$	$J_4 = 74.51$
	$J_5 = 4.87$	$J_5 = 5.008$	$J_5 = 5.315$	$J_5 = 4.718$	$J_5 = 5.843$	$J_5 = 3.085$

النتيجة من المعادلة شبه التجريبية (٦) مع نتائج [9] في بعض أنسجة جسم الإنسان

Human tissue	CORREL	STEYX
Ovary	0.995275	0.102066
Testis	0.995286	0.101498
Brain(gray/white matter)	0.995222	0.103483
Lung tissue	0.995243	0.102279
Soft tissue	0.995209	0.104205
Muscle(skeletal)	0.995213	0.10331

لحساب قدرة الإيقاف للإلكترونات في الأوساط الستة المدروسة في هذا البحث تم الحصول على

المعادلة شبه التجريبية التالية: = Sempe

$$\frac{(P_1 E^5 + P_2 E^4 + P_3 E^3 + P_4 E^2 + P_5 E + P_6)}{(J_1 E^4 + J_2 E^3 + J_3 E^2 + J_4 E + J_5)} \dots (6)$$

الجدول (٣) يبين قيم الثوابت للمعادلة شبه التجريبية رقم (6) كما تم مقارنة النتائج المحسوبة لقدرة الإيقاف للإلكترونات للأوساط الستة وفقاً للمعادلة (6) مع النتائج العملية للمصدر [9] كما في الجدول (4).

كما تم حساب معامل الارتباط الخطي (معامل بيرسون) وذلك من خلال استعمال برنامج Microsoft Excel من خلال الدالة CORREL بين النتائج التجريبية للمصدر [9] ونتائج المعادلة شبه التجريبية والمستنبطة من التطابق Fitting والمتمثلة بالمعادلة (6) فأظهرت توافق جيد مع نتائج المصدر [9]. وكذلك تم حساب الخطأ المعياري من خلال البرنامج الحاسوبي Excel باستخدام Microsoft باستعمال الدالة STEYXL وكانت قيم الخطأ المعياري تتراوح بحدود (0.101000-0.104000) كما موضح بالجدول (٢) نستنتج من ذلك إن المعادلة (٦) تكون جيدة لحساب قدرة إيقاف الإلكترونات في الأنسجة قيد الدراسة بالتالي إمكانية استعمال هذه المعادلة لحساب قدرة الإيقاف للإلكترونات في الأنسجة المدروسة

الجدول (٢) يوضح معامل الارتباط CORREL والخطأ المعياري STEYX عند مقارنة قدرة إيقاف الإلكترونات

$P_5=48.67167$
$P_6=4.7525$
$J_1=72.65667$
$J_2=1.2025 e^4$
$J_3=2307.33333$
$J_4=112.00167$
$J_5=4.8065$

جدول (٣) يوضح المعاملات (الثوابت) للمعادلة شبه التجريبية (6).

$(20-20000)eV$
$P_1=0.18983$
$P_2=1066.16667$
$P_3=-2.50033 e^4$
$P_4=-132.26$

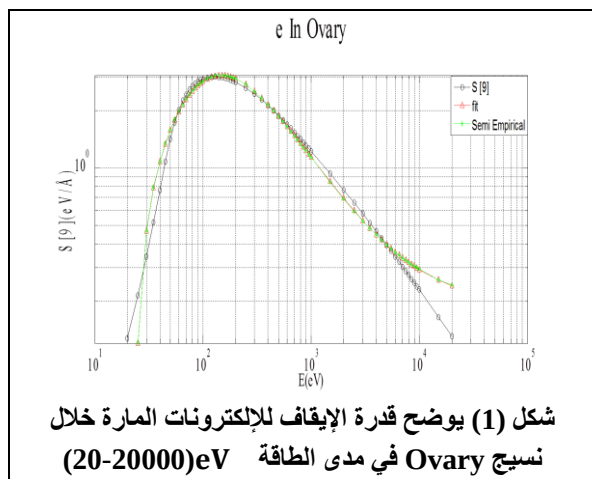
مدى الطاقة eV	$9 eV/\text{\AA}$ قدرة الإيقاف للإلكترونات من						قدرة الإيقاف للإلكترونات للمعادلة شبه التجريبية قدرة الإيقاف الالكترونية $eV/\text{\AA}$
	Ovar y	Testis	Brain(gray/w hite Matter)	Lung tissue	Soft tissue	Muscl e (skelet al)	
٢٠	0.1273	0.1271	0.1296	0.1268	0.1290	0.1280	-٠.٢٥٨٠
٢٥	0.2152	0.2149	0.2192	0.2144	0.2180	0.2163	٠.١٢١١
٣٠	0.3424	0.3409	0.3478	0.3400	0.3458	0.3431	٠.٤٧٠٨
٣٥	0.5202	0.5194	0.5300	0.5179	0.5268	0.5226	٠.٧٩٠٨
٤٠	0.7654	0.7634	0.7798	0.7621	0.7752	0.7690	١.٠٨١٦
٤٥	1.0749	1.0732	1.0946	1.0707	1.0890	1.0803	١.٣٤٤٥
٥٠	1.4161	1.4132	1.4404	1.4112	1.4355	1.4239	١.٥٨٠٨
٥٥	1.7422	1.7379	1.7701	1.7374	1.7672	1.7529	١.٧٩٢٠
٦٠	2.0241	2.0183	2.0544	2.0195	2.0542	2.0376	١.٩٨٠١
٦٥	2.2540	2.2470	2.2861	2.2499	2.2885	2.2700	٢.١٤٦٦
٧٠	2.4359	2.4278	2.4691	2.4322	2.4740	2.4539	٢.٢٩٣٤
٧٥	2.5771	2.5680	2.6110	2.5738	2.6180	2.5967	٢.٤٢٢١
٨٠	2.6850	2.6753	2.7195	2.6821	2.7281	2.7059	٢.٥٣٤٥
٨٥	2.7674	2.7571	2.8020	2.7648	2.8122	2.7893	٢.٦٣١٩
٩٠	2.8318	2.8210	2.8662	2.8294	2.8777	2.8542	٢.٧١٥٩
٩٥	2.8828	2.8715	2.9164	2.8805	2.9292	2.9053	٢.٧٨٧٨
١٠٠	2.9233	2.9114	2.9557	2.9209	2.9696	2.9454	٢.٨٤٨٨
١١٠	2.9786	2.9658	3.0078	2.9759	3.0239	2.9991	٢.٩٤٢٦
١٢٠	3.0061	2.9926	3.0320	3.0031	3.0498	3.0247	٣.٠٠٥١
١٣٠	3.0134	2.9993	3.0359	3.0100	3.0552	3.0299	٣.٠٤٢٧
١٤٠	3.0061	2.9915	3.0255	3.0023	3.0458	3.0206	٣.٠٦٠٧
١٥٠	2.9882	2.9733	3.0048	2.9841	3.0260	3.0009	٣.٠٦٣٢
١٦٠	2.9629	2.9476	2.97694	2.9584	2.9988	2.9738	٣.٠٥٣٧
١٧٠	2.9322	2.9168	2.9440	2.9276	2.9664	2.9416	٣.٠٣٤٨
١٨٠	2.8980	2.8825	2.9077	2.8931	2.9304	2.9059	٣.٠٠٨٨
١٩٠	2.8612	2.8457	2.8691	2.8562	2.8921	2.8679	٢.٩٧٧٣
٢٠٠	2.8230	2.8074	2.8292	2.8177	2.8524	2.8285	٢.٩٤١٦
٢٥٠	2.6252	2.6098	2.6253	2.6195	2.6487	2.6263	٢.٧٣٣٦
٣٠٠	2.4380	2.4233	2.4347	2.4322	2.4574	2.4366	٢.٥١٩٠
٣٥٠	2.2710	2.2569	2.2655	2.2652	2.2874	2.2679	٢.٣٢١٨
٤٠٠	2.1242	2.1107	2.1174	2.1185	2.1383	2.1200	٢.١٤٧٤
٤٥٠	1.9951	1.9823	1.9876	1.9897	2.0076	1.9904	١.٩٩٤٩
٥٠٠	1.8814	1.8691	1.8734	1.8761	1.8925	1.8761	١.٨٦١٩
٥٥٠	1.7805	1.7687	1.7722	1.7754	1.7905	1.7750	١.٧٤٥٦
٦٠٠	1.6908	1.6795	1.6825	1.6859	1.7000	1.6852	١.٦٤٣٤
٦٥٠	1.6108	1.6000	1.6028	1.6062	1.6196	1.6055	١.٥٥٣٠
٧٠٠	1.5388	1.5285	1.5313	1.5345	1.5474	1.5339	١.٤٧٢٨
٧٥٠	1.4737	1.4638	1.4666	1.4697	1.4822	1.4692	١.٤٠١٢
٨٠٠	1.4145	1.4050	1.4078	1.4107	1.4228	1.4103	١.٣٣٦٩
٨٥٠	1.3604	1.3512	1.3541	1.3568	1.3686	1.3565	١.٢٧٨٩

٩٠٠	1.3107	1.3018	1.3048	1.3073	1.3188	1.3072	١.٢٢٦٣
٩٥٠	1.2649	1.2563	1.2594	1.2617	1.2730	1.2618	١.١٧٨٥
١٠٠٠	1.2226	1.2143	1.2174	1.2196	1.2306	1.2197	١.١٣٤٨
١٥٠٠	0.9363	0.9272	0.9300	0.9317	0.9406	0.9322	٠.٨٤٤٠
٢٠٠٠	0.7681	0.7627	0.7649	0.7666	0.7739	0.7670	٠.٦٨٩٥
٢٥٠٠	0.6572	0.6525	0.6542	0.6559	0.6621	0.6562	٠.٥٩٣٨
٣٠٠٠	0.5767	0.5726	0.5740	0.5756	0.5810	0.5758	٠.٥٢٨٩
٣٥٠٠	0.5154	0.5117	0.5129	0.5144	0.5192	0.5145	٠.٤٨١٩
٤٠٠٠	0.4668	0.4635	0.4645	0.4660	0.4703	0.4661	٠.٤٤٦٣
٤٥٠٠	0.4274	0.4243	0.4252	0.4266	0.4305	0.4267	٠.٤١٨٥
٥٠٠٠	0.3946	0.3918	0.3926	0.3939	0.3975	0.3939	٠.٣٩٦١
٥٥٠٠	0.3669	0.3643	0.3650	0.3663	0.3696	0.3663	٠.٣٧٧٧
٦٠٠٠	0.3432	0.3407	0.3413	0.3426	0.3457	0.3426	٠.٣٦٢٣
٦٥٠٠	0.3226	0.3202	0.3208	0.3220	0.3249	0.3220	٠.٣٤٩٢
٧٠٠٠	0.3045	0.3023	0.3028	0.3040	0.3067	0.3039	٠.٣٣٨٠
٧٥٠٠	0.2885	0.2864	0.2869	0.2880	0.2906	0.2880	٠.٣٢٨٢
٨٠٠٠	0.2743	0.2722	0.2727	0.2738	0.2762	0.2737	٠.٣١٩٧
٨٥٠٠	0.2615	0.2595	0.2600	0.2610	0.2633	0.2610	٠.٣١٢١
٩٠٠٠	0.2499	0.2480	0.2485	0.2494	0.2517	0.2494	٠.٣٠٥٤
٩٥٠٠	0.2394	0.2376	0.2380	0.2390	0.2411	0.2389	٠.٢٩٩٤
١٠٠٠٠	0.2298	0.2281	0.2285	0.2294	0.2314	0.2294	٠.٢٩٤٠
١٥٠٠٠	0.1657	0.1645	0.1647	0.1654	0.1669	0.1654	٠.٢٥٩٥
٢٠٠٠٠	0.1309	0.1299	0.1301	0.1307	0.1318	0.1307	٠.٢٤٢١

جدول (٤): يبين قدرة الإيقاف الالكترونية في ستة أنواع من أنسجة جسم الإنسان باستخدام المعادلة شبة التجريبية [9] لقدرة إيقاف الالكترونات وقدرة إيقاف الالكترونات من المصدر

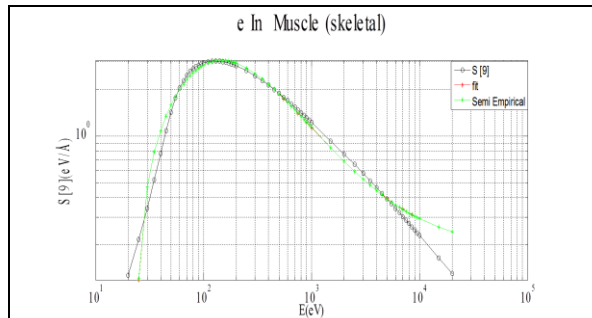
مدى الطاقة eV	$eV/\text{\AA}$ [9] قدرة الإيقاف للإلكترونات من						قدرة الإيقاف للإلكترونات للمعادلة شبة التجريبية قدرة الإيقاف الالكترونية $eV/\text{\AA}$
	Ovary	Testis	Brain(gray/white Matter)	Lung tissue	Soft tissue	Muscle (skeletal)	
٢٠	0.1273	0.1271	0.1296	0.1268	0.1290	0.1280	٠.٢٥٨٠
٢٥	0.2152	0.2149	0.2192	0.2144	0.2180	0.2163	٠.١٢١١
٣٠	0.3424	0.3409	0.3478	0.3400	0.3458	0.3431	٠.٤٧٠٨
٣٥	0.5202	0.5194	0.5300	0.5179	0.5268	0.5226	٠.٧٩٠٨
٤٠	0.7654	0.7634	0.7798	0.7621	0.7752	0.7690	١.٠٨١٦
٤٥	1.0749	1.0732	1.0946	1.0707	1.0890	1.0803	١.٣٤٤٥
٥٠	1.4161	1.4132	1.4404	1.4112	1.4355	1.4239	١.٥٨٠٨
٥٥	1.7422	1.7379	1.7701	1.7374	1.7672	1.7529	١.٧٩٢٠
٦٠	2.0241	2.0183	2.0544	2.0195	2.0542	2.0376	١.٩٨٠١
٦٥	2.2540	2.2470	2.2861	2.2499	2.2885	2.2700	٢.١٤٦٦
٧٠	2.4359	2.4278	2.4691	2.4322	2.4740	2.4539	٢.٢٩٣٤
٧٥	2.5771	2.5680	2.6110	2.5738	2.6180	2.5967	٢.٤٢٢١
٨٠	2.6850	2.6753	2.7195	2.6821	2.7281	2.7059	٢.٥٣٤٥
٨٥	2.7674	2.7571	2.8020	2.7648	2.8122	2.7893	٢.٦٣١٩
٩٠	2.8318	2.8210	2.8662	2.8294	2.8777	2.8542	٢.٧١٥٩
٩٥	2.8828	2.8715	2.9164	2.8805	2.9292	2.9053	٢.٧٨٧٨
١٠٠	2.9233	2.9114	2.9557	2.9209	2.9696	2.9454	٢.٨٤٨
١١٠	2.9786	2.9658	3.0078	2.9759	3.0239	2.9991	٢.٩٤٦٦
١٢٠	3.0061	2.9926	3.0320	3.0031	3.0498	3.0247	٣.٠٠٥١
١٣٠	3.0134	2.9993	3.0359	3.0100	3.0552	3.0299	٣.٠٤٢٧
١٤٠	3.0061	2.9915	3.0255	3.0023	3.0458	3.0206	٣.٠٦٠٧
١٥٠	2.9882	2.9733	3.0048	2.9841	3.0260	3.0009	٣.٠٦٣٢
١٦٠	2.9629	2.9476	2.97694	2.9584	2.9988	2.9738	٣.٠٥٣٧

١٧٠	2.9322	2.9168	2.9440	2.9276	2.9664	2.9416	٣.٠٣٤٨
١٨٠	2.8980	2.8825	2.9077	2.8931	2.9304	2.9059	٣.٠٠٨٨
١٩٠	2.8612	2.8457	2.8691	2.8562	2.8921	2.8679	٢.٩٧٧٣
٢٠٠	2.8230	2.8074	2.8292	2.8177	2.8524	2.8285	٢.٩٤١٦
٢٥٠	2.6252	2.6098	2.6253	2.6195	2.6487	2.6263	٢.٧٣٣٦
٣٠٠	2.4380	2.4233	2.4347	2.4322	2.4574	2.4366	٢.٥١٩٠
٣٥٠	2.2710	2.2569	2.2655	2.2652	2.2874	2.2679	٢.٣٢١٨
٤٠٠	2.1242	2.1107	2.1174	2.1185	2.1383	2.1200	٢.١٤٧٤
٤٥٠	1.9951	1.9823	1.9876	1.9897	2.0076	1.9904	١.٩٩٤٩
٥٠٠	1.8814	1.8691	1.8734	1.8761	1.8925	1.8761	١.٨٦١٩
٥٥٠	1.7805	1.7687	1.7722	1.7754	1.7905	1.7750	١.٧٤٥٦
٦٠٠	1.6908	1.6795	1.6825	1.6859	1.7000	1.6852	١.٦٤٣٤
٦٥٠	1.6108	1.6000	1.6028	1.6062	1.6196	1.6055	١.٥٥٣٠
٧٠٠	1.5388	1.5285	1.5313	1.5345	1.5474	1.5339	١.٤٧٢٨
٧٥٠	1.4737	1.4638	1.4666	1.4697	1.4822	1.4692	١.٤٠١٢
٨٠٠	1.4145	1.4050	1.4078	1.4107	1.4228	1.4103	١.٣٣٦٩
٨٥٠	1.3604	1.3512	1.3541	1.3568	1.3686	1.3565	١.٢٧٨٩
٩٠٠	1.3107	1.3018	1.3048	1.3073	1.3188	1.3072	١.٢٢٦٣
٩٥٠	1.2649	1.2563	1.2594	1.2617	1.2730	1.2618	١.١٧٨٥
١٠٠٠	1.2226	1.2143	1.2174	1.2196	1.2306	1.2197	١.١٣٤٨
١٥٠٠	0.9363	0.9272	0.9300	0.9317	0.9406	0.9322	٠.٨٤٤٠
٢٠٠٠	0.7681	0.7627	0.7649	0.7666	0.7739	0.7670	٠.٦٨٩٥
٢٥٠٠	0.6572	0.6525	0.6542	0.6559	0.6621	0.6562	٠.٥٩٣٨
٣٠٠٠	0.5767	0.5726	0.5740	0.5756	0.5810	0.5758	٠.٥٢٨٩
٣٥٠٠	0.5154	0.5117	0.5129	0.5144	0.5192	0.5145	٠.٤٨١٩
٤٠٠٠	0.4668	0.4635	0.4645	0.4660	0.4703	0.4661	٠.٤٤٦٣
٤٥٠٠	0.4274	0.4243	0.4252	0.4266	0.4305	0.4267	٠.٤١٨٥
٥٠٠٠	0.3946	0.3918	0.3926	0.3939	0.3975	0.3939	٠.٣٩٦١
٥٥٠٠	0.3669	0.3643	0.3650	0.3663	0.3696	0.3663	٠.٣٧٧٧
٦٠٠٠	0.3432	0.3407	0.3413	0.3426	0.3457	0.3426	٠.٣٦٢٣
٦٥٠٠	0.3226	0.3202	0.3208	0.3220	0.3249	0.3220	٠.٣٤٩٢
٧٠٠٠	0.3045	0.3023	0.3028	0.3040	0.3067	0.3039	٠.٣٣٨٠
٧٥٠٠	0.2885	0.2864	0.2869	0.2880	0.2906	0.2880	٠.٣٢٨٢
٨٠٠٠	0.2743	0.2722	0.2727	0.2738	0.2762	0.2737	٠.٣١٩٧
٨٥٠٠	0.2615	0.2595	0.2600	0.2610	0.2633	0.2610	٠.٣١٢١
٩٠٠٠	0.2499	0.2480	0.2485	0.2494	0.2517	0.2494	٠.٣٠٥٤
٩٥٠٠	0.2394	0.2376	0.2380	0.2390	0.2411	0.2389	٠.٢٩٩٤
١٠٠٠٠	0.2298	0.2281	0.2285	0.2294	0.2314	0.2294	٠.٢٩٤٠
١٥٠٠٠	0.1657	0.1645	0.1647	0.1654	0.1669	0.1654	٠.٢٥٩٥
٢٠٠٠٠	0.1309	0.1299	0.1301	0.1307	0.1318	0.1307	٠.٢٤٢١

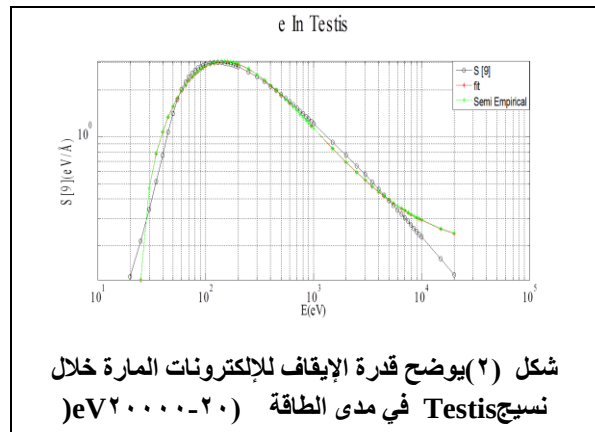


الاشكال (1,2,3,4,5,6) يبين إن قدرة الإيقاف
الالكترونية للإلكترونات في الأوساط الستة قيد الدراسة
المحسوبة وفقا للمعادلة شبه التجريبية (6) تكون متوافقة
مع النتائج المأخوذة من المصدر [9].

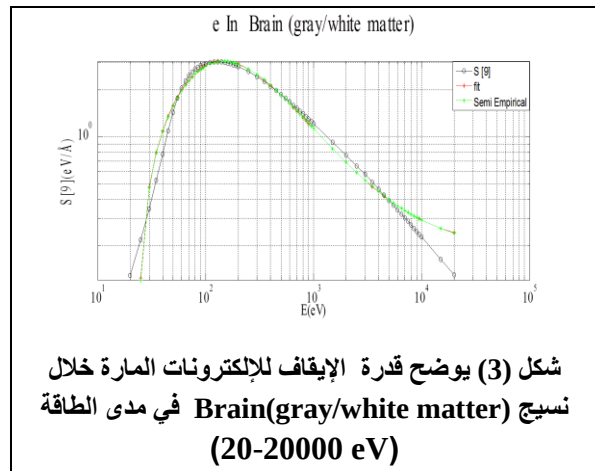
شكل (5) يوضح قدرة الإيقاف للإلكترونات المارة خلال نسيج Soft tissue في مدى الطاقة (20-20000)eV



شكل (6) يوضح قدرة الإيقاف للإلكترونات المارة خلال نسيج Muscle(skeletal) في مدى الطاقة (20-20000)eV



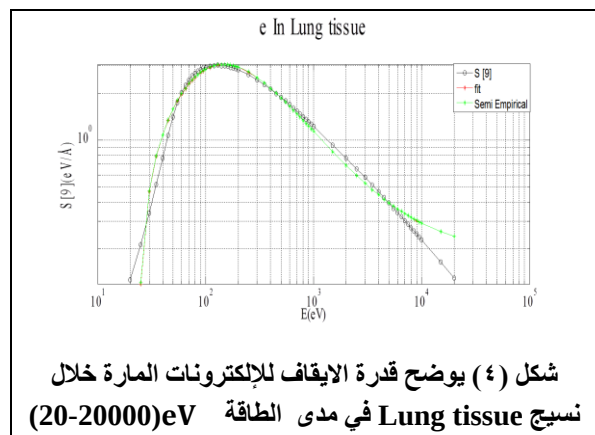
شكل (٢) يوضح قدرة الإيقاف للإلكترونات المارة خلال نسيج Testis في مدى الطاقة (20-20000)eV



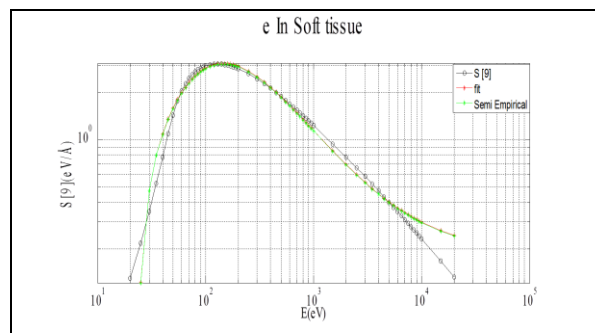
شكل (3) يوضح قدرة الإيقاف للإلكترونات المارة خلال نسيج Brain(gray/white matter) في مدى الطاقة (20-20000 eV)

٢. المصادر

- [1] W. L. Dunn and R. P. Hvgtenburg, "The interaction of radiation with matter charged particle and electron interactions ", IEEE Short Course , (2006).
- [2] W. E. Meyerhof, "Elements of Nuclear Physics ", McGraw-Hill ,New York, (1967) .
- [3] A. J. Saleh, " Introduction to Nuclear Physics", University of Basrah, (1987).
- [4] M . A. Khaleel, "Nuclear energy ", University of Mousil, (1987).



شكل (٤) يوضح قدرة الايقاف للإلكترونات المارة خلال نسيج Lung tissue في مدى الطاقة (20-20000)eV



- [5] A. Pořkus, "Absorption of alpha particles in air", Experiment, No. (9) , (2009).
- [6] A. Aziz Al Ruby, "Increase the range of stopping power of energies ($1 < E(\text{MeV/u}) \leq 0.1$) "M.Sc. Thesis ,AL-Mustansiriyah University ,(1999).
- [7] K. E. Holbert, "Charged particle ionization and range", EEE460-Handout, (2012).
- [8] M. F. Ahmad, A. M. Alesrent "The foundations of Radiation Physics" ,King Saud University,(2005).
- [9] Z. Tan, W. Liu, "Calculations of stopping power and inelastic mean free paths for 20eV-20keV electrons in 11 types of human tissue " ,Applied radiation and isotopes, (2013).