مجلة الدراسات التربوية والعلمية - كلية التربية - الجامعة العراقية
العدد السادس والعشرون - المجلد الأول - علوم الفيزياء - أيلول 2025 م
doi.org/10.52866/esj.2025.01.26.15

حساب قدرة الإيقاف والمدى والجرع الاشعاعية لجسيمات الفا في نسيج العين

تغريد خالد حميد
قسم الفيزياء، كلية التربية، الجامعة المستنصرية، بغداد العراق

مستخلص:

في العمل الحالي تم حساب قدرة التوقف لجسيمات الفا والمدى والجرعة الفعالة والجرعة المتصة والجرعة المكافئة لنسيج العين ولمدى طاقات (0.02-90000)MeV، وتم استخدام معادلة SRIM2013 لحساب قدرة التوقف ومقارنة النتائج مع العمل الحالي واظهرت النتائج توافقً مع النتائج التجريبية.

الكلمات المفتاحية : قدرة التوقف ، نسيج العين ، جسيمات الفا.

Calculation of stopping power, range and radiation dose of alpha particles in Eye tissue

Taghreed Khalid Hameed
Department of Physics, College of Education, Al-Mustansiriyah University
taghreedkhalid@uomustansiriyah.edu.iq

Abstract:

In the present work, the stopping power of alpha particles, the range, the effective dose, the absorbed dose, and the equivalent dose to the eye tissue were calculated for the energy range (0.02 - 90000) MeV. An equation SRIM2013 was used to calculate the stopping power and the results were compared with the present work. The results showed agreement with the experimental results.

Keywords: stopping power, eye tissue, alpha particles.

المقدمة :

منذ فترة طويلة كان العلماء يدرسون كيفية تفاعل الجسيمات المشحونة مع المادة من أجل فهم قدرتها على الإيقاف وتبديد الطاقة. عندما تتحرك الجسيمات المشحونة الثقيلة عبر المادة، فإنها تفقد الطاقة بشكل أساسي من خلال التأين والإثارة الذرية. وقد تم البحث في هذا المجال على نطاق واسع. عندما تنتقل الجسيمات المشحونة عبر المادة، فإنها تميل إلى فقدان الطاقة بشكل أساسي من خلال التأين والإثارة الذرية [1]. وتُعرف قدرة الإيقاف بأنها متوسط فقدان الطاقة لكل وحدة طول في المسار (-dE/dx). وتعتمد على شحنة وسرعة المقذوف، بالإضافة الى المادة المستهدفة [2]. في هذا العمل، تم دراسة التفاعلات بين جسيمات ألفا والمادة و المتمثلة بالعين . تم دراسة قدرة الإيقاف الكتلية لجسيمات ألفا عند نطاق بين الطاقات (0.02–9000) MeV ، تكمن اهمية العمل بمعرفة مدى تأثر العين البشرية وهي من أهم أعضاء الحس في جسم الإنسان، وهي حساسة جدًا ومعرضة لأمراض مختلفة، لذا فإن الحماية والوقاية أمر ضروري للحفاظ على سلامة وصحة العين من للمؤثرات الخارجية ومن ضمنها جسيمات الفا.

برنامج SRIM: عبارة عن مجموعة من البرامج التي تحسب نطاق وتوقف الأيونات في المادة باستخدام معالجة ميكانيكية كمية لتصادمات الأيونات او الذرات كما يصف البرنامج إيقاف ونطاق الأيونات في المواد مع امكانية دمج المواد بمركبات او سبائك و بمختلف المقذوفات المتوفرة بالتفصيل الفيزياء الأساسية للبرنامج. وحتى هذا الوقت، تم إجراء تصحيحات بناءً على بيانات تجريبية جديدة. تحدث تغييرات كبيرة في برنامج SRIM كل ست سنوات تقريبًا [3].

حساب قدرة الايقاف: تم حساب قدرة الايقاف الكتلية لكل عنصر في نسيج العين وفقاً للمعادلة (1) [4] ولطاقات جسيمات ألفا تتراوح بين (0.02–9000) MeV.

$$-dE/dx = \frac{4\pi z^2 e^4 nZ}{m_e v^2} \ln\left(\frac{2m_e v^2}{\bar{I}}\right) \dots\dots\dots\dots (1)$$

Z: العدد الذري للهدف،

z: العدد الذري للمادة المقذوفة،

A: العدد الكتلي لمادة الهدف

(–dE/dx) : قدرة الايقاف،

me :كتلة الالكترون،

I : جهد التاين للمادة

مدى جسيمات ألفا في المادة : تتأين الجسيمات المشحونة أثناء مرورها عبر المادة وبالتالي تفقد الطاقة في مسارها في المادة حتى تصل طاقتها إلى الصفر تقريبًا. ولأن قوة كولومب لها مدى لا نهائي فإن الجسيم يتفاعل في وقت واحد مع العديد من الإلكترونات وبالتالي يفقد طاقته. وبعد اختراق المادة بمسافة معينة تعتمد على طاقة الفا يفقد كل طاقته تسمى هذه المسافة مدى جسيم ألفا. وبالتالي فإن مدى جسيم ألفا هو متوسط المسافة المقطوعة قبل أن يفقد جسيم ألفا كل طاقته الحركية الأصلية، يتم حساب مدى جسيمات ألفا للأنسجة باستخدام العلاقة التالية [4] :

$$R = \int_{E_f}^{E_0} \frac{dE}{-\frac{dE}{dx}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

حيث ان، E_0: هي الطاقة الأولية للجسيم المشحون الساقط في المادة، و E_f : هي الطاقة النهائية

للجسيم المشحون الساقط في المادة و $-\frac{dE}{dx}$: هي قدرة الايقاف الكتلية.

مدى جسيمات ألفا، والجرعة المتصة، والجرعة المكافئة، والجرعة الفعالة

1-**المدى** : يُعطى مدى الجسيمات المشحونة في الأنسجة أو المادة بالعلاقة التالية [4].:

$$R = \frac{1}{Z^2\rho}\int_0^{E_0}\frac{dE}{F(E)} \equiv \frac{1}{Z^2\rho}\emptyset(E_0) \dots\dots (3)$$

حيث ان، R: المدى لجسيمات الفا، $\emptyset(E_0)$: دالة للطاقة الابتدائية للجسيم، ρ : كثافة المادة

الجرعة المتصة : تمثل الجرعة المتصة شدة الطاقة المودعة في أي كمية صغيرة من الأنسجة الموجودة في أي مكان في جسم الكائن الحي، يتم حساب الجرعة المتصة بالعلاقة التالية [5]:

$$\text{Absorbed dose(rad)} = \frac{E}{1gram}\frac{1.6\times10^{-13}J}{1MeV}\frac{10^7 erg}{1J}\frac{1\,rad}{\frac{100erg}{gram}} \dots\dots\dots (4)$$

الجرعة المكافئة : هي كمية الجرعات المتصة في الأنسجة أو الأعضاء بسبب الإشعاع [5]:

$$H_T = \sum_R W_R \times \text{Absorbed dose} \dots\dots (5)$$

حيث ان W_R : عامل الترجيح و يساوي20 لجسيم ألفا .

الجرعة الفعالة : تُستخدم الجرعة الفعّالة لتقدير حدوث التأثيرات المتأخرة في المستقبل. فإذا تلقى جزء من الجسم مثل الرئتين جرعة إشعاعية، فإن ذلك يمثل عامل خطر للإصابة بسرطان الرئة. وإذا أُعطيت نفس الجرعة لعضو آخر، فإنها تسبب عامل خطر مختلفًا وتسمى الجرعة التي يتم قياسها بالجرعة الفعّالة، ويُشار إليها بالرمز E [6].

$$E=W_1H_1 + W_2H_2 + \cdots\dots\dots (6)$$

W1 عامل ترجيح للعضو 1 و H1 هي الجرعة المكافئة للعضو رقم 1 و H_2 للعضو رقم 2 وهكذا مع العلم ان عامل الترجيح للعين يساوي 0.12

النتائج والمناقشة: تم حساب القدرة الايقاف الكتلية لتفاعل جسيم ألفا مع العين والمتمثلة بالتركيب الكيميائي للعين وفق الجدول (1) الذي يمثل التركيب الكيميائي للعين البشرية ولنطاق طاقة يتراوح بين (0.02-9000) MeV باستخدام برنامج SRIM2013 والجدول (1) يبين العناصر الكيميائية المكونة للعين [7]:

جدول (1) التركيب الكيميائي للعين.

H	1:0.09600
C	6:0.19500
N	7:0.05700
O	8:0.64600
Na	11:0.00100
P	15:0.0010
S	16:0.0030
Cl	17:0.0010

ومن خلال تطبيق المعادلة (1) و بتطبيق النتائج في برنامج MATLAB2016 لينتج لنا الجدول (2) الذي يمثل قدرة التوقف لجسيمات الفا في العناصر المكونة لأنسجة العين ومقارنة نتائج العمل الحالي مع النتائج المستخرجة من برنامج SRIM2013 ، ان الطاقات المستخدمة في العمل الحالي كانت متدرجة من الطاقات الواطئة ابتداءً من (0.02 MeV) لغاية الطاقات العالية نسبياً (90000 MeV) للجسيم المقذوف والمتمثل بجسيمات الفا تأثيرها على الهدف المتمثل في نسيج العين، حيث كانت النتائج كما يلي:

الشكل (1) يمثل قدرة التوقف لجسيمات الفا في التركيب الكيميائي للعين البشرية و المتمثلة

بالعناصر الكيميائية (H ,C ,M ,O ,Na ,P ,S ,Cl) حيث كانت نتائج العمل الحالي متطابقة الى حد كبير مع نتائج برنامج SRIM2013 ، مع ملاحظة ان نتائج قدرة التوقف لعنصر الهيدروجين كان مغاير لبقية العناصر حيث يختلف حسب قيمة الطاقة من الطاقات الواطئة الى الطاقات العالية وذلك لان ذرة الهيدروجين هي الأكثر مسؤولية عن فقدان الطاقة في الأنسجة البشرية، لأن الهيدروجين يحتوي على جزيئات في مسار عبور أيونات جسيمات ألفا ولديها احتمالية أكبر للتفاعل وفقدان المزيد من الطاقة، الجدول (3) يمثل حساب مدى جسيمات ألفا، والجرعة الممتصة، والجرعة المكافئة، والجرعة الفعالة لنسيج العين باستخدام المعادلات (6-3) وذلك لبيان مدى تأثير جسيمات الفا على العين خاصة للعاملين في مجال الاشعاع و المتعرض لغاو الرادون المشع والباعث لجسيمات الفا ، الشكل (2) يوضح مدى جسيمات ألفا في نسيج العين ولنطاق طاقة يتراوح بين (0.02-9000) MeV كما نلاحظ ايضاً ان العلاقة طردية بزيادة طاقة جسيمة الفا تزداد مدى او عمق جسيمة الفا في نسيج العين، الشكل (3) يوضح الجرعة الممتصة، والجرعة المكافئة، والجرعة الفعالة لنسيج العين كدالة لطاقة جسيمة الفا، كذلك يبين الشكل ان العلاقة طردية بين الجرعة الممتصة، والجرعة المكافئة، والجرعة الفعالة كدالة لطاقة جسيمة الفا .

الجدول (2) قدرة التوقف لجسيمات الفا في العناصر المكونة لنسيج العين ولبرنامج SRIM2013 والعمل الحالي

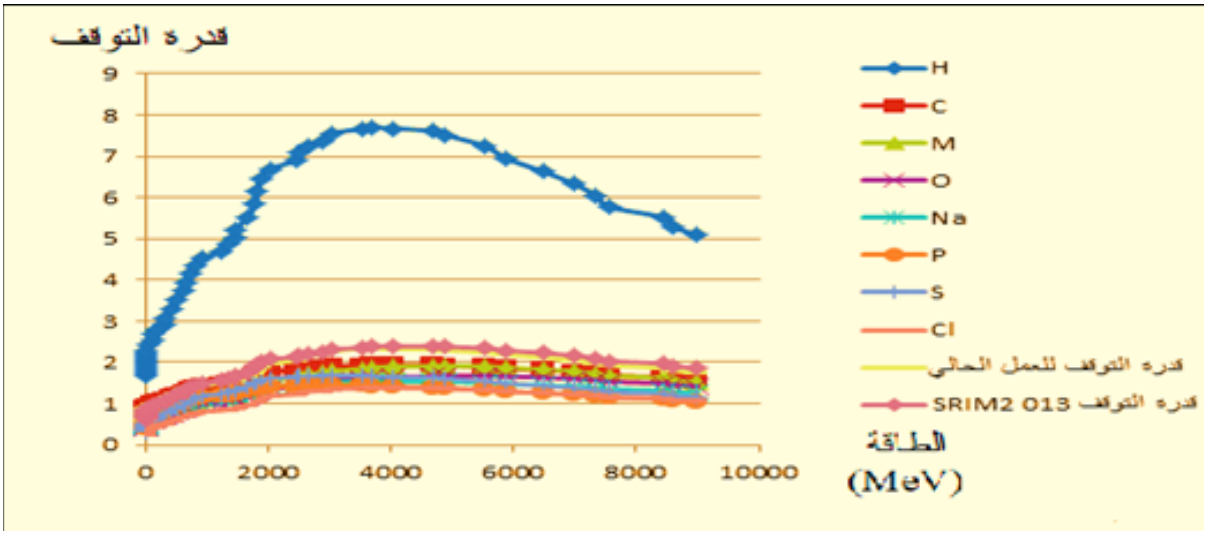
ت	الطاقة (MeV)	قدرة التوقف لجسيمات الفا في العناصر المكونة لنسيج العين $\times 3^{-10}$ $MeV/(\frac{gram}{cm^2})$								قدرة التوقف باستخدام برنامج SRIM2013 $MeV/(\frac{gram}{cm^2})$	قدرة التوقف للعمل الحالي $MeV/(\frac{gram}{cm^2})$
		H	C	M	O	Na	P	S	Cl		
1	0.02	1.6656	0.6730	0.4708	0.4091	0.4091	0.4708	0.673	1.6656	0.6315	0.6217
2	0.10	1.7464	0.7072	0.4937	0.4289	0.4289	0.4937	0.7072	1.7464	0.6626	0.6511
3	0.22	1.8261	0.7393	0.5158	0.4478	0.4478	0.5158	0.7393	1.8261	0.6925	0.6798
4	0.43	1.9050	0.7694	0.5370	0.4662	0.4662	0.537	0.7694	1.905	0.7213	0.7077
5	0.73	1.9825	0.7978	0.5574	0.4838	0.4838	0.5574	0.7978	1.9825	0.7489	0.7348
6	1.32	2.0584	0.8242	0.5771	0.5009	0.5009	0.5771	0.8242	2.0584	0.7754	0.7612
7	3.46	2.1323	0.8491	0.5962	0.5174	0.5174	0.5962	0.8491	2.1323	0.8009	0.7869
8	5.50	2.2052	0.8723	0.6147	0.5334	0.5334	0.6147	0.8723	2.2052	0.8254	0.8119
9	7.44	2.2769	0.8940	0.6326	0.5491	0.5491	0.6326	0.894	2.2769	0.8491	0.8363
10	10.40	2.4179	0.9334	0.6672	0.5791	0.5791	0.6672	0.9334	2.4179	0.8942	0.8831
11	100.00	2.5539	0.9685	0.6999	0.6076	0.6076	0.6999	0.9685	2.5539	0.9365	0.9275
12	100.60	2.6853	1.0004	0.7314	0.6350	0.635	0.7314	1.0004	2.6853	0.9765	0.9698
13	200.00	2.8137	1.0301	0.7613	0.6612	0.6612	0.7613	1.0301	2.8137	1.0149	1.0099
14	280.59	2.9391	1.0580	0.7902	0.6863	0.6863	0.7902	1.058	2.9391	1.0517	1.0481
15	313.70	3.0611	1.0849	0.8180	0.7106	0.7106	0.818	1.0849	3.0611	1.0874	1.0845
16	421.75	3.2968	1.1362	0.8708	0.7567	0.7567	0.8708	1.1362	3.2968	1.1556	1.1523
17	501.40	3.5232	1.1869	0.9203	0.8000	0.8	0.9203	1.1869	3.5232	1.2210	1.2143
18	584.45	3.7397	1.2347	0.9670	0.8408	0.8408	0.967	1.2347	3.7397	1.2830	1.2713
19	646.30	3.9471	1.2797	1.0111	0.8795	0.8795	1.0111	1.2797	3.9471	1.3419	1.3240
20	732.95	4.1471	1.3239	1.0535	0.9162	0.9162	1.0535	1.3239	4.1471	1.3986	1.3731
21	800.00	4.3407	1.3642	1.0929	0.9513	0.9513	1.0929	1.3642	4.3407	1.4524	1.4189
22	9030.05	4.5258	1.4036	1.1313	0.9847	0.9847	1.1313	1.4036	4.5258	1.5040	1.4622
23	1230.16	4.7052	1.4400	1.1687	1.0165	1.0165	1.1687	1.44	4.7052	1.5532	1.5031
24	1320.15	4.8779	1.4745	1.2032	1.0470	1.047	1.2032	1.4745	4.8779	1.6002	1.5422

ت	الطاقة (MeV)	قدرة التوقف لجسيمات الفا في العناصر المكونة لنسيج العين $\times 3^{-10}$ MeV/($\frac{gram}{cm^2}$)								قدرة التوقف باستخدام برنامج SRIM2013 MeV/($\frac{gram}{cm^2}$)	قدرة التوقف للعمل الحالي MeV/($\frac{gram}{cm^2}$)
		H	C	M	O	Na	P	S	Cl		
25	1433.2	5.0438	1.5071	1.2368	1.0766	1.0766	1.2368	1.5071	5.0438	1.6454	1.5796
26	1437.25	5.2039	1.5377	1.2694	1.1052	1.1052	1.2694	1.5377	5.2039	1.6887	1.6156
27	1641.3	5.5067	1.5930	1.3307	1.1576	1.1576	1.3307	1.593	5.5067	1.7689	1.6841
28	1764.35	5.8524	1.6532	1.4000	1.2189	1.2189	1.4	1.6532	5.8524	1.8602	1.7647
29	1797.4	6.1627	1.7037	1.4645	1.2733	1.2733	1.4645	1.7037	6.1627	1.9407	1.8407
30	1866.45	6.4394	1.7482	1.5220	1.3239	1.3239	1.522	1.7482	6.4394	2.0134	1.9127
31	2012.5	6.6845	1.7847	1.5746	1.3685	1.3685	1.5746	1.7847	6.6845	2.0768	1.9805
32	2432.55	6.8979	1.8164	1.6222	1.4101	1.4101	1.6222	1.8164	6.8979	2.1334	2.0441
33	2487.6	7.0824	1.8421	1.6659	1.4468	1.4468	1.6659	1.8421	7.0824	2.1823	2.1032
34	2654.65	7.2391	1.8638	1.7047	1.4806	1.4806	1.7047	1.8638	7.2391	2.2251	2.1575
35	2859.76	7.3690	1.8825	1.7394	1.5113	1.5113	1.7394	1.8825	7.369	2.2624	2.2067
36	3024.55	7.5561	1.9081	1.7970	1.5619	1.5619	1.797	1.9081	7.5561	2.3192	2.2870
37	3523.8	7.6606	1.9238	1.8417	1.6016	1.6016	1.8417	1.9238	7.6606	2.3577	2.3342
38	3678.85	7.6943	1.9305	1.8744	1.6313	1.6313	1.8744	1.9305	7.6943	2.3801	2.3456
39	4034.9	7.6732	1.9312	1.8962	1.6531	1.6531	1.8962	1.9312	7.6732	2.3902	2.3311
40	4674.95	7.6073	1.9260	1.9080	1.6669	1.6669	1.908	1.926	7.6073	2.3891	2.3135
41	4878.32	7.5095	1.9168	1.9118	1.6757	1.6757	1.9118	1.9168	7.5095	2.3803	2.2930
42	5521.05	7.2491	1.8895	1.9015	1.6764	1.6764	1.9015	1.8895	7.2491	2.3435	2.2446
43	5865.14	6.9460	1.8543	1.8723	1.6622	1.6622	1.8723	1.8543	6.946	2.2911	2.1881
44	6464.15	6.6312	1.8141	1.8311	1.6380	1.638	1.8311	1.8141	6.6312	2.2302	2.1260
45	6983.23	6.3254	1.7719	1.7839	1.6069	1.6069	1.7839	1.7719	6.3254	2.1657	2.0608
46	7344.25	6.0358	1.7288	1.7328	1.5717	1.5717	1.7328	1.7288	6.0358	2.1005	1.9946
47	7554.34	5.7673	1.6857	1.6817	1.5346	1.5346	1.6817	1.6857	5.7673	2.0364	1.9292
48	8426.35	5.5198	1.6426	1.6305	1.4965	1.4965	1.6305	1.6426	5.5198	1.9741	1.8660
49	8586.4	5.2934	1.6005	1.5815	1.4584	1.4584	1.5815	1.6005	5.2934	1.9144	1.8058
50	9000.00	5.0851	1.5594	1.5354	1.4214	1.4214	1.5354	1.5594	5.0851	1.8576	1.7491

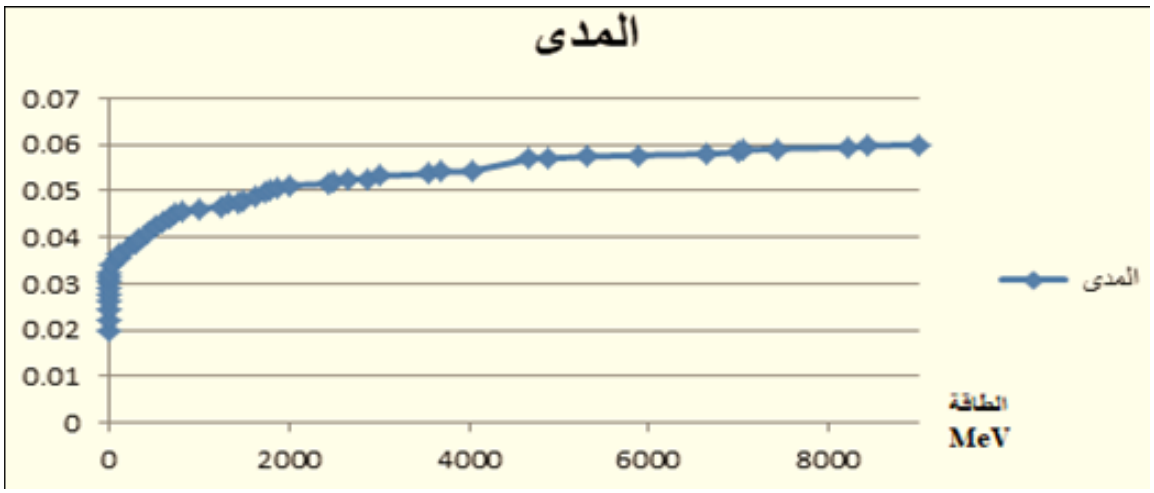
جدول (3) مدى جسيمات ألفا، والجرعة الممتصة، والجرعة المكافئة، والجرعة الفعالة لنسيج العين

ت	الطاقة (MeV)	المدى $(\frac{g}{cm^2})$	الجرعة الممتصة x 10^{-8} (rad)	الجرعة المكافئة x 10^{-5} (rem)	الجرعة الفعالة x 10^{-8} (rem)
1	0.02	0.0199	0.0320	0.0006	0.0768
2	0.10	0.0223	0.0360	0.0007	0.0864
3	0.2	0.0243	0.0400	0.0008	0.0960
4	0.40	0.0261	0.0440	0.0009	0.1056
5	0.70	0.0276	0.0480	0.0010	0.1152
6	1.30	0.0290	0.0520	0.0010	0.1248
7	3.45	0.0302	0.0560	0.0011	0.1344
8	5.40	0.0312	0.0600	0.0012	0.1440
9	7.45	0.0322	0.0640	0.0013	0.1536
10	10.00	0.0339	0.0720	0.0014	0.1728
11	100.00	0.0354	0.0800	0.0016	0.1920
12	100.60	0.0366	0.0880	0.0018	0.2112
13	200.35	0.0377	0.0960	0.0019	0.2304
14	280.56	0.0387	0.1040	0.0021	0.2496
15	312.70	0.0395	0.1120	0.0022	0.2688
16	419.75	0.0410	0.1280	0.0026	0.3072
17	500.80	0.0422	0.1440	0.0029	0.3456
18	586.85	0.0432	0.1600	0.0032	0.3840
19	676.90	0.0441	0.1760	0.0035	0.4224
20	722.95	0.0449	0.1920	0.0038	0.4608
21	800.00	0.0455	0.2080	0.0042	0.4992
22	1000.05	0.0461	0.2240	0.0045	0.5376
23	1230.16	0.0467	0.2400	0.0048	0.5760
24	1320.15	0.0472	0.2560	0.0051	0.6144
25	1433.2	0.0476	0.2720	0.0054	0.6528
26	1487.25	0.0480	0.2880	0.0058	0.6912
27	1611.3	0.0488	0.3200	0.0064	0.7680
28	1734.35	0.0495	0.3600	0.0072	0.8640
29	1797.4	0.0502	0.4000	0.0080	0.9600
30	1866.45	0.0507	0.4400	0.0088	1.0560
31	2012.5	0.0512	0.4800	0.0096	1.1520

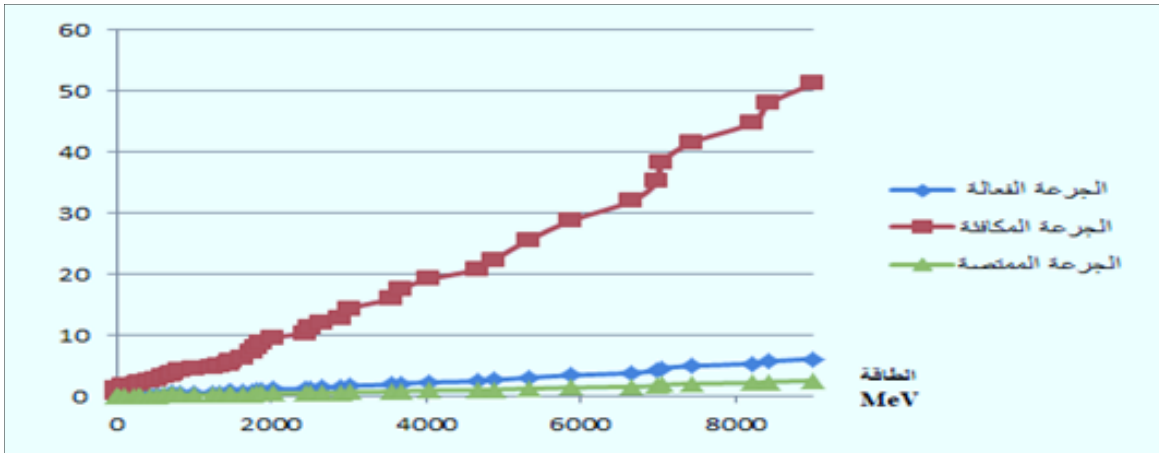
ت	الطاقة (MeV)	المدى $(\frac{g}{cm^2})$	الجرعة الممتصة x 10^{-8} (rad)	الجرعة المكافئة x 10^{-5} (rem)	الجرعة الفعالة x 10^{-8} (rem)
32	2432.55	0.0516	0.5200	0.0104	1.2480
33	2487.6	0.0520	0.5600	0.0112	1.3440
34	2654.65	0.0524	0.6000	0.0120	1.4400
35	2879.76	0.0527	0.6400	0.0128	1.5360
36	3004.55	0.0532	0.7200	0.0144	1.7280
37	3543.8	0.0537	0.8000	0.0160	1.9200
38	3678.85	0.0541	0.8800	0.0176	2.1120
39	4034.9	0.0544	0.9600	0.0192	2.3040
40	4674.95	0.0569	1.0400	0.0208	2.4960
41	4878.32	0.0570	1.1200	0.0224	2.6880
42	5321.05	0.0574	1.2800	0.0256	3.0720
43	5875.14	0.0577	1.4400	0.0288	3.4560
44	6654.15	0.0580	1.6000	0.0320	3.8400
45	6983.23	0.0584	1.7600	0.0352	4.2240
46	7054.25	0.0587	1.9200	0.0384	4.6080
47	7438.34	0.0591	2.0800	0.0416	4.9920
48	8216.35	0.0594	2.2400	0.0448	5.3760
49	8436.4	0.0597	2.4000	0.0480	5.7600
50	9000.00	0.0600	2.5600	0.0512	6.1440



شكل (1) يوضح مقارنة لقدرة التوقف بين العمل الحالي ونتائج برنامج SRIM2013 والعناصر المكونة لأنسجة العين كدالة لطاقة جسيمات الفا.



شكل (2) يوضح مدى جسيمات ألفا في نسيج العين.



شكل (3) يوضح مقارنة بين الجرعة الممتصة، والجرعة المكافئة، والجرعة الفعالة لنسيج العين.

الاستنتاجات

1. ان العلاقة طردية بين طاقة جسيم الفا و مدى او عمق الاختراق في نسيج العين.
2. تتمتع المواد ذات العدد الذري المنخفض بقوة إيقاف كتلة أكبر من المواد ذات العدد الذري العالي لأن هذه المواد تبعثر البروتون بزاوية أكبر، مما ينتج عنه طاقة منخفضة أقل.
3. بزيادة طاقة الفا تزداد الجرعة الممتصة، والجرعة المكافئة، والجرعة الفعالة لنسيج العين.
4. هناك تطابق الى حد كبير بين قدرة التوقف للعمل الحالي ونتائج برنامج SRIM2013 والعناصر المكونة لأنسجة العين كدالة لطاقة جسيمات الفا.

المصادر

1-Porter, L.E.,":Further Observations of Projectile-z Dependence in Target Parameters of Modified Bethe-Bloch Theory" International Journal of Quantum Chemistry , 95, 504-511, (2003).

2- Osman, K.T. "Stopping Powers of Alpha particles in Biological Human Body

Substances (Water, Tissue, Muscules and Bones)" International Journal of Novel Research and Development , 5, 362-398, (2020).

3- Mohan S. and Lakhwant S. ,"Electronic Stopping Power of Various Organic Compounds for Proton (0.05-10MeV): A Comparative study", Material Physics and Mechanics,12,43-57, (2011).

4- Andrius Poškus, "Energy Loss of Alpha particles in Gases", Vilnius University Faculty of Physics Department of Solid State Electronics Laboratory of Applied Nuclear Physics,(2010).

5- Radiology Info.Org for patients, Radiological Society of North America, Inc. (RSNA), (2017).

6- Arwa Alshibel and Khalda T. Osman ,"Mass Stopping Power and Range of Alpha Particles in Biological Human Body (Water and Eye Lens Tissue)" Scientific Research Journal, 11,1-18, (2024). DOI: 10.4236/oalib.1111081