دراسة قدرة ايقاف جسيمة الفا في ثلاث مواد مختلفة

د. رأفت عبد الحسن مسلم
وزارة التربية – المديرية العامة للمناهج

الملخص:

تفقد جسيمات الفا الطاقة عن طريق التفاعلات النووية خلال مرورها في المادة وهذا مهم جدا ومفيد جدا وخصوصا في العلاج النووي.

يهدف البحث الى دراسة تأثير جسيمات الفا في ثلاث مواد مختلفة من انسجة جسم الإنسان, النسيج الاول خلايا الجلد والنسيج الثاني الدم, اما الثالث نسيج العضلات والهيكل العظمي من خلال دراسة قدرة الايقاف هذه الانسجة لجسيمة الفا وكذلك مدى جسيمات الفا طاقتها من 1 الى 10 مليون الكترون فولت. وباستعمال برنامج SRIM-2013 الذي يعتمد صيغ بيث وزكلر تم حساب معدل الفقدان في طاقة ألفا وكذلك تحديد مدى الجسيمات في الانسجة الثلاث والتي تم جدولتها ورسمها باستعمال برنامج ماتلاب, وأظهرت النتائج وجود تأثير لجسيمات الفا متشابه على هذه الانسجة وهذا التأثير يختلف باختلاف طاقة الجسيمات الساقطة, اذ ان قدرة الايقاف تتناقص والمسافة التي تقطعها جسيمة الف خلال النسيج تزداد مع زيادة طاقة جسيمة الفا وهذا يتفق بشكل جيد مع الدراسات الاخر.

المقدمة

توجد العناصر النشطة إشعاعيا قسم في الطبيعة وقسم منها يتم انتاجها صناعياً بعمليات الانشطار التلقائي Spontaneous أو من خلال قصف النوى الثابتة والمستقرة بدقائق ذرية باستعمال معجّل accelerator ذو طاقة عاليه . تستعمل النظائر المشعة بشكل واسع في المجالات الطبية لأغراض تشخيص وعلاج عدد كبير من الامراض كما يجري استعمالها في مجالات الزراعة والصناعة لأغراض تحسين الانتاج هذا بالإضافة الى استعماله للأغراض العلمية في البحوث العلمية الصرفة والتطبيقية. ان تأثيرات الإشعاع تختلف باختلاف نوع الجسيمات الساقطة وطاقاتها ونوع المادة المعترضة وتركيبها [1]. احد هذه الاشعاعات هو الإشعاع المؤين Ionic radiation الذي له القابليه على تكوين الايونات في انسجة الجسم ويتم ذلك بإزالة بعض الالكترونات من الاغلفة الخارجية للذرات التي يصطدم بها في اثناء اختراقه للأنسجة الحية [2] في الكائنات الحية بشكل

عام والإنسان بشكل خاص [3] , ومنها الاشعاع المؤين المتكون من دقائق حاملة للشحنة الكهربائية الموجبة وتدعى هذه الدقائق بأشعة ألفا.

إن جسيمات ألفا هي جسيمات مشحونة تتفاعل مع ذرات المادة إما بتفاعلها مع الإلكترونات المدارية أو مع النوى المكونة لتلك الذرات .فجسيمات ألفا تحدث تلفاً موقعيا في المادة من خلال تأين الذرات وتهييجها على طول مسارها لدى مرورها بالمادة إن لم تكن طاقتها عالية نسبيا ويمكن لجسيمات ألفا أن تدخل في تفاعلات نووية مع نوى ذرات المادة إذا كانت طاقتها عالية نسبيا معتمدة على طاقة التفاعل ، وحاجز الطاقة (طاقة العتبة للتفاعل)، فالتفاعلات النووية التي قد تحصل في عمليات تشعيع المادة بجسيمات ألفا هي على الأغلب هي من نوع (α,γ) , (α,p) , (α,n) [4].

ان اهم المواد النسيجية التي نبحثها في هذه الدراسة هي الدم (Blood) والعضلات والهيكل العظمي (Skeletal Muscle) والجلد (Skin), واهم العناصر التي تدخل في تركيب هذه الانسجة هي الهيدروجين, الكاربون, الفسفور, الكلور, البوتاسيوم, الكبريت, النيتروجين والصوديوم (H, C, P, O, Cl, K, S, N, Na) وبنسب وزنية مختلفة لكل نسيج [5]

ولكون جسيمات الفا ذات مدى قصير وانتقال كبير للطاقة الخطية يجعلها مناسبة لاستهداف الأورام التي أثبتت صعوبة القضاء عليها باستخدام العلاج الإشعاعي ألتقليدي , من خلال استخدام نظائر باعثة لجسيمات الفا ذات انصاف اعمار قصيرة [6].

قدرة الايقاف:Stopping Power

إن الجسيمات المشحونة تتناقص طاقتها عن طريق سلسلة من التفاعلات الكولومية مع الإلكترونات الذرية أو نوى الذرات في المادة المعترضة؛ إذ تُواجه الجسيمات المشحونة عدداً كبيراً من التصادمات مع ذرات المادة، وتكون الطاقة المفقودة في التصادم الواحد قليلة وتعرف بقدرة الإيقاف للمادة (S) (Stopping power) [7]

$$S = -\frac{dE}{dX} \quad \dots\dots\dots 1$$

حيث dE– الطاقة المفقودة خلال سمك من المادة dX

الصيغة الكلاسيكية التي تصف الفقد الخطي لطاقة الجسيمات الثقيلة المشحونة تعرف باسم (Bethe-Bloch Formula) معادلة بيث[8] وكالاتي:

$$-\frac{dE}{dX} = \frac{4\pi e^4 Z^2}{m_o\, v^2} NB \quad \dots\dots\dots 2$$

وان B تعطى بالعلاقة الاتية:

$$B = Z\left[ln\left(\frac{2m_o v^2}{I_{av}}\right) - ln\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) - \frac{v^2}{c^2}\right] \dots\dots\dots \quad 3$$

حيث:

Z= العدد الذري للجسيمة الساقطة

e= شحنة الالكترون

m_o= الكتلة السكونية للإلكترون

υ= سرعة الجسيمة المشحونة

c= سرعة الضوء

N= عدد الذرات لكل سم^3 خلال الامتصاص

I= جهد التأين للهدف

E= طاقة الجسيمة الساقطة

اما قدرة الايقاف في المركبات فيتم حسابها من المعادلة التالية [9]:

$$\frac{dE}{\mathrm{dX}} = \sum_{\mathrm{i}} \mathrm{w_i}\left(\frac{\mathrm{dE}}{\mathrm{dX}}\right)_{\mathrm{i}} \dots\dots\dots 4$$

حيث w_i = الكسر الوزني لكل عنصر في المركب

ويتم حساب قدرة الايقاف لكل عنصر من معادلة (2) ومن ثم استعمال معادلة (4) لحساب قدرة الايقاف الكلية للمركب.

مدى الجسيمات المشحونة

المسافة التي تقطعها الجسيمات المشحونة قبل وصولها إلى السكون تعرف بالمدى (R). وهو يعتمد على المادة الممتصة وكذلك نوع وطاقة الجسيمات مشحونة وتعطى بالعلاقة [10]:

$$R = \int_{E_o}^{0} \frac{1}{dE/dX} dE \quad \dots\dots\dots \quad 5$$

اما في حالة المواد المركبة فأن مدى الجسيمات المشحونة يتم حسابها من معرفة المديات في العناصر المكونة لها وتعطى بالعلاقة الاتية [11] :

$$\mathrm{R_c} = \frac{\mathrm{M_c}}{\sum_{\mathrm{i}} \mathrm{n_i}(A_{\mathrm{i}}/\mathrm{R_i})} \dots\dots\dots \quad 6$$

حيث:

R_c = مدى العنصر i

n_i = عدد ذرات العتصر i

Ai = الوزن الذري العتصر i

Mc = الوزن الجزيئي للمركب

النتائج والمناقشة

الجسيمات المشحونة تفقد الطاقة عن طريق التفاعلات النووية من خلال مسارها في المادة وهي مسألة مهمة جدا ومفيدة جدا وخصوصا في العلاج النووي. تم حساب قدرة الايقاف وكذلك المدى لجسيمة الفا في ثلاث انواع من الأنسجة من خلال العناصر المكونة لها اذ تتألف من 9 عناصر المذكورة آنفا والتي رتبت في الجدول (1) مع النسب المئوية للكتل لكل عنصر في كل نسيج [5]. وضمن مدى طاقة لجسيمة الفا الساقطة من 1–10 إلكترون فولت باعتماد صيغ بيث وزيكلر بواسطة برنامج SRIM-2013 , وتم جدولة النتائج التي حصلنا عليها في الجدول (2). وهي توضح التقارب الكبير في قدرة ايقاف ومدى جسيمة الفا في الانسجة الثلاث وهو واضح جدا في الاشكال التي رسمت من هذه البيانات.

فالشكل (1) يبين نسبة قدرة ايقاف جسيمة الفا الساقطة في الانسجة كدالة لطاقتها حيث لا يمكن التمييز بين المنحنيات الثلاث لتطابقها بشكل كبير وهذا يعني ان قدرة ايقاف جسيمة الفا في الانسجة هو نفسه تقريبا لجميع الانسجة بالرغم من الاختلاف البسيط للمكونات واختلاف النسب المئوية لكتل العناصر المكونة لها وان قدرة الايقاف تتناقص مع زيادة الطاقة الحركية لجسيمة الفا, وهذا يعني إن معدل الفقد الخطي لطاقة جسيم الفا على امتداد مساره داخل النسيج يتناسب عكسيا مع طاقته وهذا يتفق مع معادلة بيث كذلك يتفق مع الدراسات الاخرى.

اما الشكل (2) فأنه يبين العلاقة بين مدى جسيمة الفا مع الطاقات المقابلة لها فالمدى كما هو واضح يزداد مع زيادة الطاقة الحركية لجسيمة الفا.

ان تأثير اختلاف قدرة ايقاف جسيمة الفا في الانسجة يبرز بشكل واضح في الشكل (3)، حيث يتم عرض مدى جسيمات الفا داخل الانسجة مقابل قدرة الايقاف. حيث يزداد المدى مع تناقص قدرة الايقاف ويكون اكبر مدى لجسيمة الفا عند يقترب معدل الفقد الخطي لطاقة الجسيمة من الصفر كم يوضح الشكل ان سلوك جسيمة الفا هو نفسه في الانسجة الثلاث.

الاستنتاج

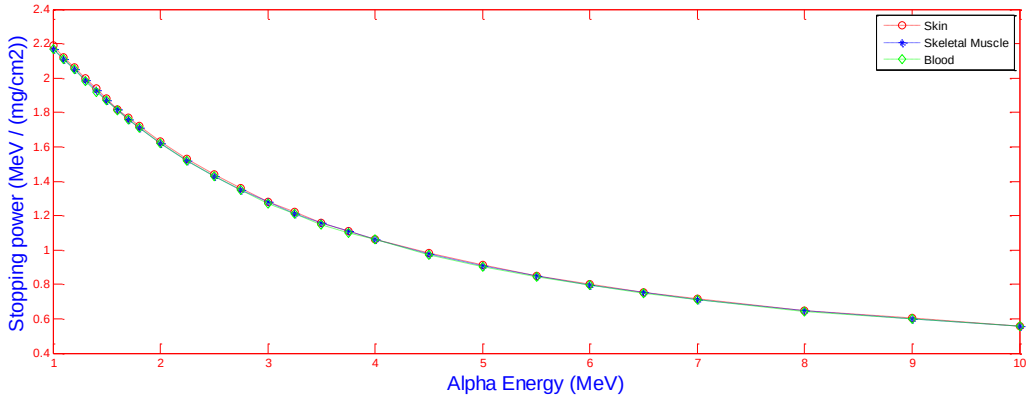
نستنتج مما سبق ان تأثير جسيمة الفا في الأنسجة المختلفة لجسم الانسان هو نفسه والاختلاف يكاد يكون صغير جدا بحيث لايعتد به بالرغم من اختلاف مكونات الانسجة من العناصر واختلاف النسب المئوية لكتل هذه العناصر وبالتالي فأن استعمال جسيمات الفا على اي نسيج سوف يكون له نفس التأثير.

جدول (1): عناصر الانسجة مع النسب المئوية للكتل [5]

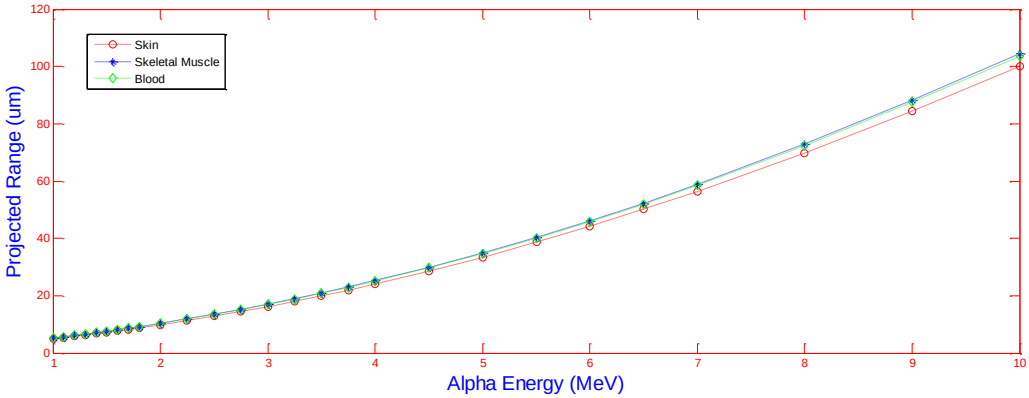
Atom Name	Mass Percent		
	Skin	Skeletal Muscle	Blood
H	10.01	10.11	10.22
C	25.03	17.13	11.02
N	4.6	3.61	3.31
O	59.46	68.16	74.66
Na	0.18	-	0.11
S	0.31	0.31	0.21
Cl	0.29	0.11	0.28
K	0.13	0.38	0.19
P	-	0.2	-

جدول(2) قدرة الايقاف والمدى لجسيمة الفا في ثلاث انسجة مختلفة المحسوبة من خلال برنامج SRIM

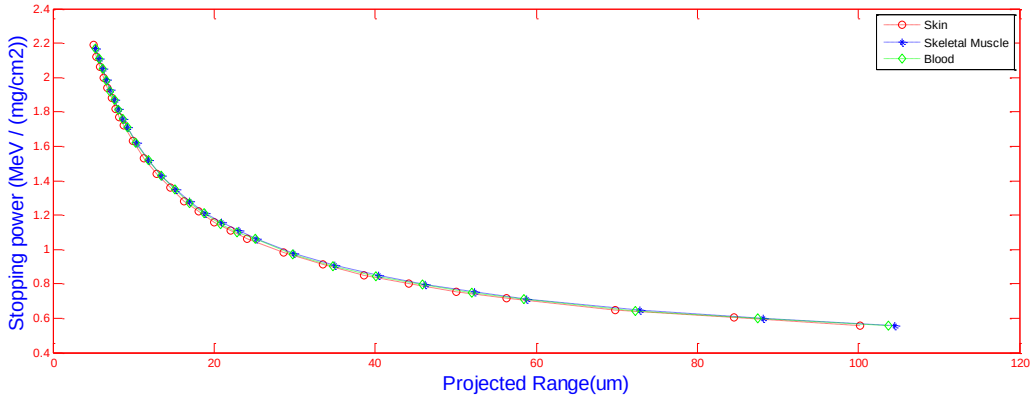
Incident energy E_α (MeV)	Stopping power MeV(mg/cm^2)			Range R_α (μm)		
	Skin	Skeletal Muscle	Blood	Skin	Skeletal Muscle	Blood
1	2.19E+00	2.17E+00	2.17E+00	5	5.26	5.26
1.1	2.12E+00	2.11E+00	2.11E+00	5.42	5.71	5.7
1.2	2.06E+00	2.05E+00	2.05E+00	5.86	6.16	6.16
1.3	2.00E+00	1.99E+00	1.98E+00	6.31	6.63	6.62
1.4	1.94E+00	1.93E+00	1.92E+00	6.78	7.12	7.11
1.5	1.88E+00	1.87E+00	1.87E+00	7.26	7.62	7.6
1.6	1.82E+00	1.82E+00	1.81E+00	7.75	8.13	8.12
1.7	1.77E+00	1.76E+00	1.76E+00	8.26	8.67	8.64
1.8	1.72E+00	1.71E+00	1.71E+00	8.78	9.21	9.19
2	1.63E+00	1.62E+00	1.62E+00	9.88	10.35	10.32
2.25	1.53E+00	1.52E+00	1.52E+00	11.33	11.87	11.82
2.5	1.44E+00	1.43E+00	1.43E+00	12.88	13.48	13.43
2.75	1.36E+00	1.35E+00	1.35E+00	14.52	15.2	15.13
3	1.28E+00	1.28E+00	1.27E+00	16.26	17.01	16.93
3.25	1.22E+00	1.21E+00	1.21E+00	18.09	18.92	18.82
3.5	1.16E+00	1.16E+00	1.15E+00	20.01	20.93	20.82
3.75	1.11E+00	1.11E+00	1.10E+00	22.02	23.03	22.91
4	1.06E+00	1.06E+00	1.06E+00	24.13	25.23	25.09
4.5	9.81E-01	9.77E-01	9.74E-01	28.62	29.91	29.74
5	9.12E-01	9.07E-01	9.05E-01	33.46	34.96	34.75
5.5	8.52E-01	8.48E-01	8.46E-01	38.66	40.38	40.14
6	8.00E-01	7.97E-01	7.95E-01	44.21	46.17	45.88
6.5	7.55E-01	7.52E-01	7.51E-01	50.11	52.32	51.98
7	7.15E-01	7.12E-01	7.11E-01	56.35	58.82	58.43
8	6.47E-01	6.45E-01	6.44E-01	69.83	72.86	72.36
9	6.03E-01	6.02E-01	6.02E-01	84.5	88.13	87.5
10	5.59E-01	5.58E-01	5.58E-01	100.2	104.55	103.7



شكل (1): علاقة قدرة الايقاف مع طاقة جسيمة الفا لثلاث انسجة مختلفة



شكل (2): علاقة مدى جسيمة الفا مع الطاقة لثلاث انسجة مختلفة



شكل (3): علاقة مدى جسيمة الفا مع قدرة الايقاف لثلاث انسجة مختلفة

المراجع

[1] Smyntyna, V.A., Kulinich, O.A., Iatsunskyi, I. R. and Marchuk, I.A., Radiat. Meas., 46 (2011) 1650.
[2] Louis , C. J. (ed) (1978) , Tumours Basic principles and Clinical aspects , Churchill Livingstone , 66 – 77 .
[3] Moeller , T. (ed) (1982) , Inorganic Chemistry , a modern introduction , john wiley & sons publishers , 17 – 19 .
[4] Zakharenkov, L.F., Kozlovskii, V.V. and Shustrov, B.A., Phys. Stat. Sol. (a), 117 (1990) 85.
[5] J.P. Biersack and J.F. Ziegler, SRIM, 1984,1989,1992,1998,2008,2013.
[6] G. Sgouros, J.C. Roeske, M.R. McDevitt, S. Palm, B.J. Allen, D.R. Fisher, A.B. Brill, H. Song, R.W. Howell, G. Akabani, W.E. Bolch, R.F. Meredith, B.W. Wessels, P.B. Zanzonico, MIRD Pamphlet No. 22 (abridged): radiobiology and dosimetry of alpha-particle emitters for targeted radionuclide therapy, J Nucl Med 51(2010) 311-328.
[7] Ligatchev, V., Rusli, E., Keng, L-V., Khuen, L.F., Rumin, Y. and Zhao, J., Technical Proceedings of the 2005 NSTI Nanotechnology Conference and Trade Show, Volume 2, Chapter 5, Surfaces and Films, (2005) pp. 381–384.
[8] G. F. Knoll, Radiation Detection and Measurement, John Wiley and Sons, Inc., New York (1979).
[9] Don Groom, (8 December 1993), Energy loss in matter by heavy particles, Particle data group notes, PDG-93-06.
[10] G. Friedlander, J.W. Kennedy, E.S. Macias and J.M. Miller, Nuclear and Radiochemistry, 3rd Ed., John Wiley & Sons Inc., New York (1981).
[11] G.F. Knoll, Radiation Detection and Measurement, John Wiley & Sons, New York (1979).

Stopping Power study of Alpha particle in three deferent material

Dr. Raafat Abdul H. Muslim

ABSTRACT

Alpha particles lose energy by nuclear interactions through travelling in matter are very important and very useful especially in nuclear therapy. This research aims to study the effect of alpha particles in three different materials of the human body's tissue, The first tissue is the skin (meaning skin cells) and the second is blood and the third tissue is muscle and skeletal. By studying the alpha stopping powers of these tissues, as well as the range of alpha particles for the energy interval 1 - 10 MeV. Using SRIM-2013 program which is based Beth and Ziegler formulas. Loss rate in the alpha energy was calculated, as well as determine the range of the particle in the three tissues, Which has been listed and Plotted using MATLAB program. The results showed the effect of alpha particles is similar on these tissues, and this effect is deferent according to the incident energy of particle, as the stopping power decreased and the distance traveled by alpha particle through the tissues are increases with energy increases of alpha particle. And this is a good agreement with other studies.